



Max Wilhelm Meyer
Le forze della natura



www.liberliber.it

Questo e-book è stato realizzato anche grazie al sostegno di:



E-text

Web design, Editoria, Multimedia
(pubblica il tuo libro, o crea il tuo sito con E-text!)
www.e-text.it

QUESTO E-BOOK:

TITOLO: Le forze della natura

AUTORE: Meyer, Max Wilhelm

TRADUTTORE: Del Lungo, Carlo e Alberto

CURATORE:

NOTE:

CODICE ISBN E-BOOK: n. d.

DIRITTI D'AUTORE: no

LICENZA: questo testo è distribuito con la licenza specificata al seguente indirizzo Internet:
www.liberliber.it/online/opere/libri/licenze

COPERTINA: n. d.

TRATTO DA: Le forze della natura : quadro generale del mondo fisico-chimico / M. Wilhelm Meyer ; traduzione di Carlo e Alberto Del Lungo. - Milano : F. Vallardi, 1912 (Stab. Riuniti D'arti Grafiche). - X, 610 p., [23] carte di tav. : ill. ; 26 cm.

CODICE ISBN FONTE: n. d.

1a EDIZIONE ELETTRONICA DEL: 20 agosto 2021

INDICE DI AFFIDABILITÀ: 1

0: affidabilità bassa

1: affidabilità standard

2: affidabilità buona

3: affidabilità ottima

SOGGETTO:

SCI000000 SCIENZA / Generale

DIGITALIZZAZIONE:

Catia Righi, catia_righi@tin.it

REVISIONE:

Paolo Alberti, paoloalberti@iol.it

IMPAGINAZIONE:

Catia Righi, catia_righi@tin.it

PUBBLICAZIONE:

Catia Righi, catia_righi@tin.it

Liber Liber



Se questo libro ti è piaciuto, aiutaci a realizzarne altri.
Fai una donazione: www.liberliber.it/online/aiuta.

Scopri sul sito Internet di Liber Liber ciò che stiamo realizzando: migliaia di ebook gratuiti in edizione integrale, audiolibri, brani musicali con licenza libera, video e tanto altro: www.liberliber.it.

Indice generale

Liber Liber.....	4
PREFAZIONE DELL'AUTORE.....	11
PREFAZIONE ALL'EDIZIONE ITALIANA.....	16
INDICE DELLE MATERIE.....	18
INDICE DELLE TAVOLE.....	22
LE FORZE FISICHE.....	23
INTRODUZIONE.....	24
1. – I limiti del nostro campo.....	24
2. – Concetti fondamentali.....	38
a) Lo Spazio e la Misura.....	38
b) La misura del tempo.....	46
c) Il movimento.....	53
d) Forza e materia.....	62
e) L'Incommensurabile.....	71
3. – Funzione dei sensi nello studio della Natura.....	75
PARTE PRIMA	
I Fenomeni fisici e le loro leggi.....	117
1. – I grandi movimenti nello spazio celeste.....	117
2. – La gravità.....	132
a) Le leggi della caduta dei corpi.....	132
b) Variazione della gravità secondo la latitudine.	140
c) Il pendolo.....	143
d) Misura delle forze. Peso, massa, densità.....	163
e) Misura della forza di gravitazione e della massa	

dei corpi celesti.....	170
3. – Il movimento dei corpi solidi.....	177
4. – La meccanica dei movimenti degli atomi.....	233
5. – Le forze molecolari e gli stati di aggregazione.	253
6. – Il suono.....	293
7. – Il calore.....	336
a) Misura della temperatura.....	339
b) Le leggi dei gas.....	346
c) Calore e lavoro meccanico.....	356
d) Calorico specifico e atomico.....	362
e) Gli stati d'aggregazione e la temperatura.....	370
f) Il calore nei fenomeni chimici.....	404
g) Dilatazione dei corpi solidi.....	416
h) Conduzione ed irraggiamento.....	423
8. – La luce.....	439
a) La propagazione rettilinea della luce.....	441
b) Legge della riflessione.....	452
c) Rifrazione.....	465
d) Gli strumenti ottici.....	486
e) Dispersione cromatica.....	504
f) Teoria ondulatoria della luce.....	509
g) L'analisi spettrale.....	515
h) Le lenti acromatiche e l'occhio.....	547
i) L'occhio umano.....	554
k) La diffrazione della luce.....	582
l) Polarizzazione della luce.....	597
m) Fluorescenza, Fosforescenza, e azione chimica della luce.....	613

9. – Magnetismo ed elettricità.....	621
a) Il magnetismo.....	625
b) Il magnetismo terrestre.....	652
c) L'elettricità statica.....	666
d) La corrente elettrica.....	699
e) Elettromagnetismo.....	725
f) Le correnti di induzione.....	741
g) Elettro-ottica.....	776
h) Termoelettricità.....	786
i) Elettrolisi.....	791
10. Le nuove radiazioni.....	798
a) I raggi Catodici.....	799
b) Raggi Röntgen.....	809
c) Raggi Becquerel e radio-attività.....	821
PARTE SECONDA	
I fenomeni chimici.....	826
Introduzione.....	826
Composti inorganici.....	838
A. – Metalloidi.....	845
B. – Metalli leggeri.....	845
C. – Metalli pesanti.....	845
a) Gli ossidi.....	846
b) Solfuri.....	874
c) Cloruri.....	878
d) Composti dell'azoto.....	885
e) Il carbonio.....	901
f) Idrati e sali ossigenati.....	909
g) Metalli leggeri.....	912
h) Metalli pesanti.....	914

i) Le leghe metalliche.....	923
k) Ricapitolazione.....	926
3 – Composti organici o del carbonio.....	929
A – Corpi grassi o derivati dal Metano.....	931
a) Gli idrocarburi.....	931
b) Gli alcool.....	945
c) Acidi.....	948
d) Eteri e grassi.....	953
e) Aldeidi e chetoni.....	958
f) Idrati di Carbonio.....	961
g) Composti organici azotati.....	971
B. – Corpi aromatici.....	975
a) Idrocarburi benzoici.....	978
b) Fenoli, alcool e aldeidi benzoici.....	981
c) Acidi aromatici.....	983
d) Olî eterei.....	984
e) Composti benzoici azotati.....	986
f) Sostituzioni nell'anello centrale.....	987
g) Alcaloidi.....	989
h) Albuminoidi.....	991
i) Riassunto.....	994
4 – Cristallografia.....	1000
5. – Peso atomico e struttura molecolare.....	1012
Sistema naturale degli elementi chimici.....	1020
6. – Stato chimico e temperatura.....	1037
a) Lo stato gassoso.....	1037
b) Lo stato liquido.....	1062
c) Lo stato solido.....	1074
7. – La luce e i fenomeni chimici.....	1099

a) Influenza della luce sullo stato chimico.....	1099
b) Azione della luce sui fenomeni chimici (Foto- chimica).....	1120
8. – L'Elettricità e i fenomeni chimici.....	1130
PARTE TERZA	
I tre ordini dei fenomeni fisici.....	1150
1. – Il mondo degli atomi.....	1150
2. – Il mondo sensibile.....	1184
3. – Il mondo degli astri.....	1253

M. WILHELM MEYER

LE
Forze della Natura

QUADRO GENERALE
DEL
MONDO FISICO-CHIMICO

TRADUZIONE
DI
CARLO E ALBERTO DEL LUNGO

CON 463 INCISIONI E 23 TAVOLE IN NERO ED A COLORI

PREFAZIONE DELL'AUTORE

Quest'opera, come si comprende dal sottotitolo appostovi, non è un Trattato di Fisica e Chimica: i fenomeni che sono l'oggetto di queste due vaste scienze, qui sono piuttosto considerati nelle loro relazioni generali, dal punto di vista di quella *unità delle forze naturali* la cui conoscenza è fine supremo dell'indagine scientifica.

Perciò questo libro, in un certo senso è meno, in un altro è più, che un ordinario Trattato. Meno, poichè nell'abbondanza della materia era necessaria una scelta, affinché fra le particolarità di importanza secondaria per il nostro scopo, non si perdesse la visione del tutto nelle sue linee generali: più, perchè, in luogo di tali omesse particolarità, altro vi si trova di speciale significato e interesse per noi, in quanto ci fornisce prove e documenti per quella cercata unità delle forze fisiche. Non è dunque quest'opera una raccolta di fatti isolati e di osservazioni fra loro indipendenti, ma un tutto organico che, per essere ben compreso, deve essere accolto e studiato nel suo insieme.

Per quanto nei singoli capitoli la materia sia già presentata compendiosamente e sinteticamente, non possono questi, presi separatamente, fornire elementi per un giudizio generale, il quale deve risultare dalle relazioni fra tutte le varie parti. Ma tuttavia, anche con questa di-

sposizione poteva accadere che l'abbondanza del necessario materiale di fatti singoli facesse perdere di vista il legame che unisce e collega tutta l'opera; e perciò è stata aggiunta la terza parte, che è riepilogo e sintesi di tutto ciò che precede, e da essa devono venir fuori le linee generali del grande quadro del mondo fisico. Per i lettori già familiarizzati con le singole scienze, potrebbe dunque bastare la lettura di quest'ultima parte; tutt'al più, in qualche caso di dubbio o in qualche luogo meno comprensibile, essi dovranno prendersi la fatica di ricercare nelle parti precedenti la particolare descrizione dei fenomeni ai quali è fatta allusione.

L'autore, come astronomo, ha avuto un interesse tutto speciale a seguire e a mettere in evidenza le molte analogie di fenomeni e leggi, fra i sistemi atomici e molecolari e quelli dei grandi corpi celesti. Da questo parallelismo, che l'indagine scientifica sempre più afferma, il quadro generale non poteva che guadagnare di ampiezza e di armonia.

Il compito propostosi concedeva naturalmente campo vasto all'ipotesi. La materia e le forze ci sono ignote nella loro essenza, per quanto nel linguaggio scientifico esse assumano un'esistenza fittizia concreta, e anche definizione matematica. Si può dire che concetto fondamentale delle scienze fisico-chimiche sia l'atomo, sebbene la sua reale esistenza non possa dirsi provata. Anzi, negli ultimi tempi, da più parti si è tentata la demolizione degli atomi chimici, mentre si tende a considerare l'etere, il mezzo della luce e dell'elettricità, come un

fluido continuo. Ma se le recenti meravigliose scoperte delle nuove radiazioni hanno assai scosso le basi di molte nostre teorie, esse d'altra parte ci hanno aperti nuovi punti di vista, e illuminano di nuova luce il quadro sempre più meraviglioso del mondo fisico-chimico.

Appunto in questo critico periodo di demolizione e ricostruzione, abbiamo creduto utile ed opportuno questo tentativo di un quadro armonico e sintetico dei fenomeni fisici e chimici, col minor numero possibile di ipotesi fondamentali, se anche occorse di aggiungerne qualcuna secondaria, per lo scopo speciale che si volle conseguire. Se non che le ipotesi sono sempre presentate come tali; e l'Autore non presume davvero di avere sufficientemente provato la verosimiglianza e le buone ragioni delle teorie sue originali, il che in un'opera di carattere popolare non era neppure possibile: ma anch'esse dovevano essere esposte per non lasciare lacune nel complesso del lavoro.

A tal proposito, anche per giudicare equamente dell'opera, si abbia presente che, per il carattere elementare che le si è dovuto conservare, molte spiegazioni di fenomeni dovevano essere presentate come più semplici che non siano in realtà. Cosicchè potrebbe sembrare a taluno che questioni difficili e tuttora insolute siano qui definite e sbrigate troppo facilmente. Per esempio, la forza della gravità è in questo libro spiegata col movimento degli atomi dell'etere; mentre, in realtà, con un'analisi più profonda sorgono gravi difficoltà anche contro questa spiegazione. Ma nella cornice del quadro che abbia-

mo voluto disegnare, non c'era assolutamente posto per questa critica delle diverse opinioni e ipotesi intorno alla natura di certi fenomeni.

Noi abbiamo, finchè era possibile, seguito il sistema di descrivere dapprima i fenomeni quali essi sono o appaiono, e darne subito dopo una prima spiegazione, la più facile e la più semplice, la quale viene completata e migliorata in seguito con la conoscenza e il confronto degli altri fenomeni. Così, per esempio, chi da prima legge il capitolo della luce potrà anche credere che l'Autore si attenga alla vecchia teoria dell'emissione, fino a che i fenomeni dell'interferenza non l'obbligano ad accettare quella più perfetta delle ondulazioni. Noi crediamo che questo sistema sia didatticamente più fruttifero che la immediata presentazione di una determinata teoria. E così speriamo si vorrà giudicare benevolmente la classificazione dei composti organici, fatta secondo un sistema un po' antiquato, specialmente perchè di essi ci siamo già occupati da un nuovo punto di vista. Come nella Natura medesima, così in questa nostra opera le varie parti si svolgono e si formano gradatamente.

In questo libro non è certamente molta polvere di biblioteca, nè vi si deve cercare in compendio tutto il sapere umano relativo al soggetto; e neppure intendemmo di compilare un libro scolastico o un repertorio. Ma non di meno la esposizione dei fatti doveva essere esatta il più possibile; e per questo l'Autore non poteva far di meglio che affidarsi a guide di speciale autorità e competenza. Così, per la Fisica abbiamo seguito la *Experi-*

mentalphysik del Riecke, e per la Chimica la *Theoretische Chemie* del Nernst, specialmente rispetto alle nuove teorie: da queste due riputatissime opere sono stati presi molti dati di fatto e dati numerici; ma s'intende che abbiamo attinto anche ad altre fonti.

Tuttavia l'Autore, per essere del tutto sicuro di non cadere in errori o inesattezze di riferimento (oggi, nell'enorme abbondanza del materiale scientifico, è possibile solo agli specialisti esser padroni veramente di un certo campo di studi) ha voluto che studiosi di speciale competenza leggessero sul manoscritto i diversi capitoli. Ed è quindi debitore di molta riconoscenza ai seguenti egregi colleghi: ad Eduart Riecke, che ha letto i capitoli del calore e dell'elettricità, suggerendo notevoli miglioramenti; al prof. E. Goldstein, che ha letto il capitolo sulle nuove radiazioni, ed ha messo a disposizione il suo laboratorio per preparare le belle tavole colorate dei raggi catodici coi tubi originali Goldstein; ai proff. I. Traube e H. Landolt, per i capitoli sulla chimica teorica; al dott. Von Orth, che ha riveduto il capitolo dell'Elettricità dal punto di vista dell'Elettrotecnica; e infine al dott. R. Blochmann, che si è sobbarcato alla ingente fatica di percorrere tutto il manoscritto per purgarlo di ogni eventuale errore.

Speciale gratitudine esprime poi l'Autore alla Casa editrice, la quale, con la sua esperienza e solerzia, non ha risparmiato spese e cure affinché l'opera comparisse in bella e ricca edizione.

M. WILHELM MEYER

PREFAZIONE ALL'EDIZIONE ITALIANA

Questa traduzione italiana del libro «Die Naturkräfte» di M. W. Meyer, affidataci dalla Casa editrice F. Vallardi, ci è costata assai più tempo e fatica di quello che potessimo immaginare.

L'opera del Meyer vuole essere un quadro sintetico di tutti i fenomeni naturali, da quelli astronomici a quelli fisici e chimici, fino a quelli biologici. Esponendoli nelle loro linee generali, l'Autore intende mostrarne le relazioni, l'unità nella varietà, e fare apparire nell'armonia dell'insieme la generalità delle leggi della Natura. Un libro simile, in più modeste forme e proporzioni, fece il nostro padre Secchi, con quella sua «Unità delle forze fisiche» che ebbe a suo tempo molta importanza, e fu anche tradotta in tedesco.

Ma il Meyer ha voluto fare di più. Egli ha tentato una spiegazione generale di tutti i fenomeni naturali nella loro essenza, dando di tutti una ragione, o meglio una interpretazione meccanica, fondata sulla vecchia ipotesi atomistica. Quest'idea fornisce all'Autore continue analogie e paragoni fra il mondo astronomico e quello molecolare o atomico, e domina il libro da capo a fondo.

A noi, nella semplice qualità di traduttori, non spetta giudicare tali teorie e il valore del libro, così nella parte espositiva, come nella dottrinale. Noi non dovevamo es-

sere che interpreti dell'Autore, presentando il suo libro al pubblico italiano; e questo abbiamo fatto.

L'edizione italiana che per tipi e incisioni si presenta nello stesso ricco aspetto di quella tedesca, si avvantaggia su questa per qualche correzione o per alcune note e aggiunte relative specialmente a studî e scoperte recenti.

C. e A. DEL LUNGO

INDICE DELLE MATERIE

1. – *I limiti del nostro campo*
2. – *Concetti fondamentali*
 - a) Lo Spazio e la Misura
 - b) La misura del tempo
 - c) Il movimento
 - d) Forza e materia
 - e) L'Incommensurabile
3. – *Funzione dei sensi nello studio della Natura*

PARTE PRIMA

I FENOMENI FISICI E LE LORO LEGGI

1. – *I grandi movimenti nello spazio celeste*
2. – *La gravità*
 - a) Le leggi della caduta dei corpi
 - b) Variazione della gravità secondo la latitudine
 - c) Il pendolo
 - d) Misura delle forze. Peso, massa, densità
 - e) Misura della forza di gravitazione e della massa dei corpi celesti
3. – *Il movimento dei corpi solidi*
4. – *La meccanica dei movimenti degli atomi*
5. – *Le forze molecolari e gli stati di aggregazione*
6. – *Il suono*
7. – *Il calore*

- a) Misura della temperatura
 - b) Leggi dei gas
 - c) Calore e lavoro meccanico
 - d) Calorico specifico e atomico
 - e) Gli stati d'aggregazione e la temperatura
 - f) Il calore nei fenomeni chimici
 - g) Dilatazione dei corpi solidi
 - h) Conduzione ed irraggiamento
8. – *La luce*
- a) La propagazione rettilinea della luce
 - b) Legge della riflessione
 - c) Rifrazione
 - d) Gli strumenti ottici
 - e) Dispersione cromatica
 - f) Teoria ondulatoria della luce
 - g) L'analisi spettrale
 - h) Le lenti acromatiche e l'occhio
 - i) L'occhio umano
9. – *Magnetismo ed elettricità*
- a) Il magnetismo
 - b) Il magnetismo terrestre
 - c) L'elettricità statica
 - d) La corrente elettrica
 - e) Elettromagnetismo
 - f) Le correnti di induzione
 - g) Elettro-ottica
 - h) Termoelettricità
 - i) Elettrolisi
10. – *Le nuove radiazioni*

- a) I raggi Catodici
- b) Raggi Röntgen
- e) Raggi Becquerel e radio-attività

PARTE SECONDA I FENOMENI CHIMICI

Introduzione

Composti organici

- A. – Metalloidi
- B. – Metalli leggeri
- C. – Metalli pesanti
 - a) Gli ossidi
 - b) Solfuri
 - e) Cloruri
 - d) Composti dell'azoto
 - e) Il carbonio
 - f) Idrati e sali ossigenati
 - g) Metalli leggeri
 - h) Metalli pesanti
 - i) Le leghe metalliche
 - k) Ricapitolazione
- 3. – Composti organici o del carbonio
 - A. – Corpi grassi o derivati dal Metano
 - a) Gli idrocarburi
 - b) Gli alcool
 - c) Acidi
 - d) Eteri e grassi
 - e) Aldeidi e chetoni
 - f) Idrati di carbonio

- g) Composti organici azotati
- B. – Corpi aromatici
 - a) Idrocarburi benzoici
 - b) Fenoli, alcool e aldeidi benzoici
 - e) Acidi aromatici
 - d) Oli eterei
 - e) Composti benzoici azotati
 - f) Sostituzioni nell'anello centrale
 - g) Alcaloidi
 - h) Albuminoidi
 - i) Riassunto
- 4. – *Cristallografia*
- 5. – *Peso atomico e struttura molecolare*
Sistema naturale degli elementi chimici
- 6. – *Stato chimico e temperatura*
 - a) Lo stato gassoso
 - b) Lo stato liquido
 - c). Lo stato solido
- 7. – *La luce e i fenomeni chimici*
 - a) Influenza della luce sullo stato chimico
 - b) Azione della luce sui fenomeni chimici (Fotochimica)
- 8. – *L'Elettricità e i fenomeni chimici*

PARTE TERZA

I TRE ORDINI DEI FENOMENI FISICI

- 1. – *Il mondo degli atomi*
- 2. – *Il mondo sensibile*
- 3. – *Il mondo degli astri*

INDICE DELLE TAVOLE

Tricromia
Montagne lunari
Riflettore di Postdam
Dispersione dei colori nei prismi e nelle lenti
Spettro calorifico solare
Spettro degli elementi
Immagini stereoscopiche
Fluorescenza
Animali luminosi
Cascata del Niagara
Stazione telefonica
Stazione elettrica
Ferrovie elettriche 1 e 2
Scariche nei gas rarefatti
Radiografie
Pietre preziose
Grossi diamanti
Cava diamantifera
Flora carbonifera
Radiolari
Comete
Forma della silice

LE FORZE FISICHE

INTRODUZIONE

1. – I limiti del nostro campo.

Tutti i movimenti, tutti i cambiamenti di stato, che avvengono intorno a noi, così nei corpi viventi come in quelli privi di vita, dobbiamo rappresentarci siccome l'effetto di forze che agiscono sopra di essi o dall'interno o dall'esterno. E poichè nessun corpo, neppure per un solo istante, rimane invariato, così lo stato attuale dell'universo, il suo passato e il futuro, insomma il campo intero del nostro sapere dovrebbe essere considerato come un prodotto delle forze naturali, e quindi esser trattato in questo libro.

Ma la limitata potenza della nostra mente ci mette nell'impossibilità di considerare e descrivere come un tutto tanti fenomeni così complessi e fra loro intrecciati. È necessario dividerli in diverse categorie e studiarli separatamente; e solo dopo tale lavoro di analisi, potremo tentare di ricomporre l'organismo dell'Universo, per comprenderlo nella sua unità così come ci apparisce.

Dobbiamo bensì aver sempre presente, che questa decomposizione delle forze e dei fenomeni naturali è opera nostra, artificiosa, fatta solo per ragioni pratiche di

studio e di metodo, e prima di sapere se i fenomeni apparentemente diversi, e come tali separati, lo siano in realtà. Non possiamo, per esempio, dimostrare subito da principio, che la gravità, la luce, il calore, l'elettricità, la forza nervosa, il lavoro mentale, siano di natura diversa: e se tratteremo di queste forze separatamente, non dovremo dimenticarci, dopo che avremo un poco approfondita la conoscenza di questi fenomeni, di considerarli di nuovo nelle loro relazioni.

In questo lavoro noi dovremo dunque sezionare vivente e palpitante il corpo della natura, e studiarne separatamente i pezzi amputati; e se ci rimarrà molto di oscuro nella qualità e azioni dei singoli membri, non dovremo meravigliarcene. Nella stessa maniera, non intenderemo, o solo al più potremo intuire, a che servono i muscoli dell'orecchio, se insieme non considerassimo i profondi e nascosti organi dell'udito. Dobbiamo quindi sperare che lo studio comparato dei fenomeni naturali nelle loro correlazioni, per quanto nell'odierno stato delle nostre conoscenze non sia possibile che molto limitatamente, ci abbia da fornire spiegazioni sempre più chiare e complete.

Se non che, nell'apparecchiarci a limitare il campo delle nostre investigazioni, faremo bene a non tracciare questi limiti troppo recisamente, perchè potrebbe darsi, e innanzi non potremmo saperlo, che con una di queste rigide divisioni, così predilette alla scienza, si venissero a separare cose organicamente e necessariamente connesse, perdendosi nelle parti staccate traccie e segni che

sarebbero invece apparsi manifestamente nel tutto.

Una linea di divisione che, almeno apparentemente, spartisce l'intera natura in due ben distinti campi è data dal cosiddetto principio della vita. Noi vediamo in natura corpi che sono in sè privi di movimento, i quali, cioè, non si muovono nè presentano cambiamenti quando siano sottratti alle azioni esterne: essi, costituiscono la materia inorganica o inanimata. Di fronte a questi vi sono gli esseri viventi, i quali, almeno all'apparenza, da se stessi si muovono e hanno in sè la capacità di trasformarsi. Nell'ordinario senso della parola, per forze naturali si han da intendere quelle che agiscono nel mondo inorganico, sulla materia inanimata.

Ma bisogna subito dire che una esatta distinzione fra corpi viventi, secondo il concetto comune sopra indicato, non è assolutamente possibile. I movimenti dei corpi celesti che sembrano avvenire senza alcuna azione esterna, potrebbero indurre anche noi a credere ad un'anima del mondo, come già pensarono alcuni filosofi prima della riforma dell'astronomia. Il fatto che questi movimenti avvengono secondo leggi fisse e invariabili, non è una prova contro la possibilità di una vita, poichè pure nella vita osserviamo movimenti ritmici regolari, come le pulsazioni del cuore. D'altra parte si potrebbe anche ammettere che i movimenti irregolari caratteristici della vitalità, avvengono colà con straordinaria lentezza cosicchè ci sfuggono, come ad un piccolo parassita che non possiede la milionesima parte della vitalità del suo ospite probabilmente sfuggono i movimenti volontari di

questo. E le azioni cosmiche a distanza, senza materia interposta, a cui ancora oggi molti filosofi credono, potrebbero pure essere avvicinate alle azioni a distanza del nostro spirito. Dall'altro lato troviamo forme organiche specialmente vegetali, in cui non si possono riconoscere, o solo con specialissime osservazioni, i caratteri della vita. Un chicco di frumento, sottratto ad influenze esterne, non mostra il più piccolo indizio di movimento vitale. Si può conservare per molti anni sotto il mercurio escludendolo da ogni possibilità di ricambio materiale, il che vale come segno principale della vita; eppure rimane vivo, e germoglia appena si trova nelle condizioni necessarie.

Noi portiamo questi esempi facili a moltiplicarsi, solo per mostrare la difficoltà di tracciare una netta linea di divisione, che altri forse potrebbe aspettare, fra il mondo vivente e quello non vivente. Pur nei più complicati organismi viventi, incontriamo fenomeni che assolutamente dipendono dalle stesse forze che agiscono sulla natura inorganica: cosicchè vi ha un certo numero di scienziati, che credono potersi un giorno spiegare tutti i fenomeni vitali, fino al pensiero umano, per via delle semplici forze materiali.

Per limitare dunque il nostro campo, non ci resta altro che stabilire di lasciare da parte subito i fenomeni degli organismi viventi; specialmente perchè essi appaiono i più complicati, ed è senza dubbio il miglior metodo quello di cominciare dal più semplice.

I fenomeni del mondo inorganico si possono ancora

dividere in due gruppi: quelli che avvengono fuori della Terra, e quelli che avvengono su di essa, intorno a noi, fra le nostre mani. La ragione della divisione è qui puramente estrinseca, ma necessaria per delimitare la nostra scienza. La scienza dei fenomeni della materia si è fin ab antico chiamata **Fisica**, e la scienza dei corpi celesti e dei loro movimenti ne fu considerata come una parte. Ma questa parte, cioè l'**Astronomia**, si è dovuta, per ragioni, diciamo, economiche, separare; e per queste ragioni medesime ci limiteremo anche noi allo studio dei fenomeni terrestri, facendo solo un cenno della costruzione generale dell'universo, per iscoprirvi importanti prove delle leggi trovate, che ne dimostrano la generalità.

La Fisica, nei confini che ad essa oggi assegnamo, può fortunatamente fare a meno dell'Astronomia, mentre l'inverso non si può dire. Se si vogliono studiare i fenomeni celesti occorre confrontarli coi fenomeni terrestri misurabili e ricondurli alle leggi della Fisica, la quale è dunque scienza fondamentale. Dicendo che la Fisica, il cui campo d'investigazione è limitato alla Terra, può fare a meno dell'Astronomia, non vogliamo però dimenticare che il fisico non può fare esperienza da cui sia esclusa l'azione dei corpi celesti, specialmente del potentissimo Sole. Ma queste azioni si dimostrano così costanti, e in così eguale maniera influiscono sui fenomeni, che quasi sempre se ne eliminano gli effetti del risultato finale, come eguali quantità aggiunte ai due membri di un'eguaglianza. Invero una così perfetta

compensazione non sempre avviene, anzi a tutto rigore non avviene mai; perchè nulla vi ha di perfettamente costante o immutabile, e quanto più squisiti diventano i nostri metodi di misura, già mirabilmente perfezionati, tanto più spesso occorre al fisico di tener conto degli influssi cosmici extraterrestri, o piuttosto delle loro variazioni, durante i suoi esperimenti. Anche qui di bel nuovo non è possibile una netta divisione del soggetto.

Dalla Fisica propriamente detta si è ormai separata, ma in direzione che può dirsi opposta a quella dell'Astronomia, la **Chimica**. Tirar subito la linea di divisione fra queste due discipline, è anche più difficile che nel caso precedente. I fenomeni chimici si differenziano da quelli fisici principalmente perchè si producono solo nel contatto immediato dei corpi considerati, e perchè portano cambiamenti materiali durevoli dei medesimi; ma i due gruppi di fenomeni sono in se stessi naturalmente indivisibili. Molti fenomeni fisici sono causa di fenomeni chimici: così la luce determina le decomposizioni chimiche in cui è fondata la fotografia. Tutte le reazioni chimiche sono anzi assolutamente dipendenti dalle condizioni fisiche in cui si producono, specialmente dalla temperatura. Per tale stretta parentela dovremo in questo libro trattare insieme Fisica e Chimica come incastrate l'una nell'altra.

Ma alla Fisica pura tocca indubbiamente la precedenza, come a quella scienza che studia le azioni visibili e misurabili entro dimensioni a noi accessibili, cioè nei fenomeni più facilmente atti ad essere percepiti e verifi-

cati con la vista, che da principio deve essere l'unica nostra guida.

I fenomeni fisici ci circondano da ogni parte e sempre. Ai primi passi che noi facciamo nel mondo, noi dobbiamo imparare a far i conti con la gravità, che appunto questi primi passi ci rende così difficili. In ogni nostro atto ci troviamo di fronte a questa forza, anzi legati ad essa da vincoli infrangibili: si può dire che essa è la forza che meno di tutte le altre sappiamo dominare ed obbligare al nostro servizio. Se si aumenta la pressione colla quale un corpo per via del proprio peso preme sulla propria base, si genera un riscaldamento, e il calore dell'interno della Terra dipende in gran parte da questo effetto. Ma, il fenomeno del calore possiamo ben più facilmente produrlo col processo chimico che è la combustione, e non occorre qui ricordare quanto comune nell'economia della vita è tale applicazione. Aumentando il calore di un corpo, esso può diventare incandescente e di per sé luminoso: e la luce che esso genera si propaga dattorno in tutte le direzioni. Quale imperfetta cognizione dell'universo sarebbe la nostra, se questo meravigliosissimo fra tutti i fenomeni naturali non fosse, per via di un senso e di un organo prezioso, l'intermediario fra noi e i corpi esterni, da quelli che ci toccano fino alle estreme nebulose!

Le più sublimi bellezze di cui possiamo godere ci sono rivelate dalla Luce, dal Sole, sua prima naturale sorgente, che illumina tutte le regioni della Terra dal

polo all'equatore, nella splendida pompa della sua scala di colori. E gli scintillanti raggi siderali che rompono la tenebra notturna del firmamento danno le ali ai più elevati pensieri di cui sia capace la mente umana.

Come la Luce è intermediaria fra noi e le ultime profondità dell'universo, così invece porta a noi la conoscenza di fenomeni relativamente molto vicini il Suono, cui

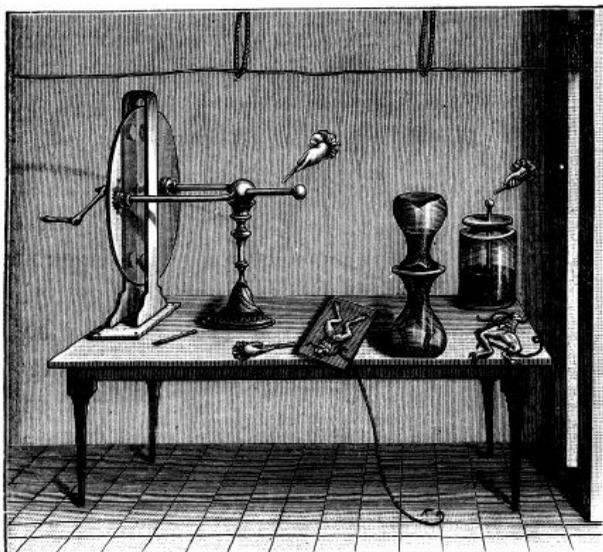


Fig. 1 – Prima esperienza di Galvani
(Disegno originale).

tocca il grande ufficio della comunicazione del pensiero tra spirito e spirito, e che con la dolcezza delle note musicali può estasiarci non

meno della luce co' suoi colori.

A questi primi e più appariscenti fenomeni fisici, cui abbiamo rapidissimamente e senz'ordine accennato, seguono in altro diverso amplissimo campo, quelli dell'Elettricità e del Magnetismo, i quali visibilmente si producono solo in circostanze particolari. Si conoscevano già da molto tempo alcuni fatti di questo genere: tuttavia

l'elettricità fu riconosciuta come una particolare forza naturale solo dopo le celebri esperienze del GALVANI sulle rane. Oggi, ognuno sa quali importanti e straordinari servizi essa ci rende, e come essa, che si tenne celata tanto tempo, è divenuta collaboratrice docilissima, potentissima, in quasi tutte le industrie umane. L'Elettricità può a noi rivelarsi solo per mezzo di altre forze naturali: non immediatamente: per esempio, nella scintilla elettrica essa si manifesta come luce e come suono, e produce effetti e sensazioni di calore, o anche un'eccitazione nervosa come scossa elettrica: finalmente, può essa determinare cambiamenti di natura chimica. In forma di Magnetismo, può l'elettricità produrre una forza d'attrazione più forte della gravità, e in tal modo rendersi osservabile.

Più che in tutti gli altri soggetti della Fisica, in quello dell'Elettricità occorre di verificare che le forze anche le più diverse all'appa-

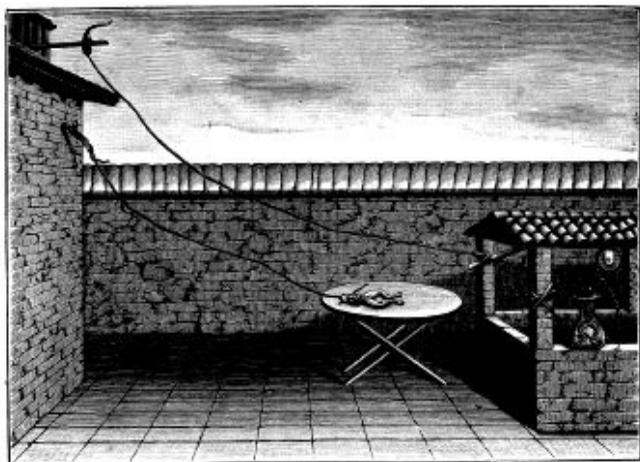


Fig. 2 – Seconda esperienza di Galvani
(Disegno originale).

renza, si trasformano vicendevolmente l'una nell'altra:

poichè dall'Elettricità si genera, luce, calore, suono, forza d'attrazione, azione chimica. Cosicchè è lecito fin da principio congetturare, che tutte queste manifestazioni di effetti diversi siano effetto di una causa unica e generale. Ma in nessun caso la trasformazione delle forze è così sorprendente come fra elettricità e azione chimica. Per la combinazione di certe sostanze si genera nella Pila voltaica la corrente elettrica che dura quanto l'azione chimica. La forza che si svolge nella trasformazione dello zinco in solfato di zinco, la quale si compie invisibilmente fra le minime particelle del metallo e dell'acido solforico che lo circonda, può, comunquesiasi, distante dal luogo del fenomeno, guidata da un filo metallico, generare luce, calore, attrazione magnetica, e trasmettere un telegramma. I movimenti delle infime particelle nei fenomeni chimici posson determinare, dunque, in opportune circostanze visibilissimi movimenti di grossi corpi; e noi possiamo anche invertire il processo, mettendo in movimento, ad esempio, il circuito interno di una macchina dinamo-elettrica, e con ciò generare una corrente elettrica capace di agire sulle particelle del sale di zinco poco fa formatesi e costringerle a separarsi di nuovo invisibilmente in zinco metallico e acido. E su tale processo è fondata la galvano-plastica. Tutti questi fenomeni ci fanno vedere, come il campo comune alla Fisica e alla Chimica è straordinariamente esteso e non se ne possono facilmente segnare i confini.

Il criterio distintivo, comunemente adottato, che i cambiamenti chimici sono in opposizione a quelli fisici,

stabili e durevoli, non può applicarsi sempre con tutta esattezza: infatti molti composti chimici sono di nuovo separabili, per azioni fisiche o chimiche anzi può dirsi in conclusione che è solo questione di condizioni più o meno facili. Quando si scioglie lo zucchero nell'acqua, si può dire che nelle due sostanze avviene un cambiamento che sembra stabile: e per ottenere di nuovo dall'acqua indolcita zucchero ed acqua separatamente, bisogna fare evaporare la soluzione per mezzo del calore. Eppure lo specialista afferma che il disciogliersi dello zucchero nell'acqua non è un fenomeno chimico, ma solo una unione fisica. Noi vedremo più tardi che si tratta in fondo di differenze di grado, di una unione più fine o più grossolana delle sostanze: donde la maggiore o minore difficoltà di separarle di nuovo, disciogliendo le maglie del tessuto della materia.

Vi è invero un gran numero di processi chimici, nei quali non si riesce a ricondurre gli elementi al loro stato primitivo. Egli è molto facile far assodare un uovo, ma è assolutamente impossibile di riportare l'albume coagulato allo stato liquido naturale. Per tutti i composti detti «organici» era questa, fino a non molto tempo addietro, la regola: che essi si potessero bene decomporre, ma non di nuovo ricomporre. Su questa base si poteva una volta tirare la linea di divisione tra la chimica *organica* e la *inorganica*: ma oggi una tale divisione è diventata molto più difficile.

La Chimica inorganica si occupa delle combinazioni dei corpi, così come ce le fornisce direttamente la natura

non vivente: e i composti di questo genere si possono sempre separare o ricomporli, o, come suol dirsi, ad ogni analisi corrisponde una possibile sintesi.

Le sostanze di cui si occupa la chimica organica sono parimente formate di materia morta; ma esse si generano negli organismi, o solamente per loro mezzo. Noi possiamo il più delle volte decomporre, abbastanza facilmente, queste sostanze negli elementi costitutivi tolti alla natura morta; cioè possiamo riconoscere questi elementi quantitativamente e qualitativamente: ma tuttavia solo in pochi casi, che però negli ultimi tempi sono andati crescendo di numero, siamo in condizioni da potere ricombinare questi elementi in modo da ottenere la sostanza identica.

Si deve fare assoluta distinzione fra materia *organica* e materia *organizzata*. Le materie organizzate hanno struttura cellulare, e sono sede di fenomeni vitali; così l'amido, l'albumina, il sangue: la materia organica è per lo più prodotto di secrezione degli organi viventi: come le essenze dei fiori, le gomme, l'orina, il sudore. Mentre parecchie di quest'ultime sostanze oggi si sa artificialmente riprodurle, ciò non è assolutamente possibile per le sostanze organizzate.

E qui si apre, col mistero della vita, il grande abisso fra il mondo inorganico e il mondo vivente. Si conosce perfettamente la composizione dell'albumine dell'uovo, si è persino riusciti recentissimamente a formare chimicamente una sostanza analoga; ma l'albumine vivente, cioè il protoplasma, sebbene non vi sia traccia di organi de-

terminati, si muove contro la legge della gravità, assorbe e assimila materia esterna, onde ingrossa e si suddivide per una serie di reazioni chimiche ben diverse da quelle ordinarie. Queste azioni cessano, dal momento in cui l'informe massa cellulare muore: il che può avvenire per le più piccole influenze esterne; e interrotto una volta il ciclo dei fenomeni vitali, non può in alcun modo ricominciare. Di tutte le leggi di natura, nessuna, pur troppo, è più di questa conosciuta come sicura e assoluta, che cioè, si può bene uccidere ma non più richiamare i morti alla vita!

I composti organici sono, in generale, assai più complessi che quelli inorganici. Si potrebbe perciò credere che la sintesi dei corpi organizzati non sia ancora possibile, perchè la Chimica è sempre troppo giovane, da poterci dire se sono solamente difficoltà tecniche o sostanziali quelle che ci impediscono questa sintesi, e se sarà mai possibile di fare un *uomo nel crogiuolo* secondo la ricetta del discepolo di Faust. Ma anche se non si vuole all'attività vitale attribuire alcuna proprietà diversa da quelle che derivano dalle forze inorganiche, tuttavia il tentativo di dar vita alla materia morta è destinato, con tutta probabilità, a fallire sempre, perchè noi non possiamo formare il *crogiuolo* a ciò necessario.

La materia organizzata si genera esclusivamente nelle delicate cellule degli stessi organismi: e abbiamo ragione di supporre che queste reazioni vitali succedano nella materia in condizioni diverse da quelle dei fenomeni fisici e chimici ordinari. Come i grandi movimenti rotato-

ri dei corpi solamente son possibili nel libero spazio celeste, e molti fenomeni fisici invece solo dentro dimensioni che sono alla nostra portata, e le reazioni della chimica inorganica solamente a contatto più intimo, così forse deve la materia agire per vie più sottili e in più immediata vicinanza nei fenomeni vitali quando si producono le materie organizzate, e la potenza umana è incapace a formare tali infinitesimi crogiuoli. Noi produciamo, per esempio, acido solforico con quella tale disposizione che si ha nella fabbrica a ciò destinata, e che è costruita di materiali inorganici. Per la produzione dell'albumina, invece, sembra essere assolutamente necessaria come fabbrica una cellula vivente. Resta la questione, la quale forse rimarrà eternamente indecisa, se un edificio di materia morta che corrisponda esattamente ad un organismo vivente, e provveduto del necessario materiale nutritivo, sarebbe capace di elaborare questo, cioè di cominciare a vivere. Noi non lo sappiamo, e nessuno sarà così temerario da credere, che la nostra tecnica possa mai arrivare ad imitare in tutti i suoi organi il corpo di un essere vivente, al quale scopo sarebbe prima di tutto necessaria la formazione dei materiali organici costituenti gli organi stessi.

Possiamo qui in principio lasciare da parte questi difficilissimi problemi, sui quali avremo da tornare al termine del nostro lavoro. Basti qui l'aver indicato quanto sottile sia la linea di divisione fra la natura morta e quella vivente, fra i fenomeni della Fisica e della Chimica e quelli della Fisiologia.

Tuttavia sarebbe affrettato e pericoloso procedere nello studio delle scienze naturali con tale principio assoluto. Insieme coi fenomeni del movimento e dei cambiamenti della materia e con quelli della vitalità, vi son anche quelli che noi chiamiamo senso, intelligenza, pensiero, e che, finora, almeno, non ci è possibile considerare solo come movimenti materiali. Noi dobbiamo per ora considerare l'intelligenza umana come una forza speciale, legata invero come altre forze alla materia, ma soggetta a condizioni essenzialmente diverse. Ma secondo ogni apparenza i fenomeni della vita sono strettamente connessi con la *sensibilità*, che manca alla natura inorganica. Qui, forse, è possibile tirare una netta linea di divisione, più che in altra parte.

Segnati così all'ingrosso i limiti del campo che dobbiamo percorrere, andiamo avanti.

2. – Concetti fondamentali.

a) Lo Spazio e la Misura.

Dalle precedenti generali considerazioni risulta, che lo spazio in cui i fenomeni naturali avvengono, o in altre parole la loro dimensione, influisce essenzialmente sulla maniera del loro manifestarsi. La forza di attrazione universale si presenta negli spazi celesti in maniera diversa che negli strettissimi tubi detti capillari. Perciò diventa

necessario acquistare notizie più che è possibile esatte, sull'estensione dello spazio in cui avvengono i fenomeni. Ma importanza anche maggiore acquista per noi tale conoscenza, se vogliamo misurare i movimenti e riconoscere da essi la natura e la grandezza delle forze che li producono. Insieme con quel dello spazio, si presenta subito alla mente come concetto fondamentale quello del tempo, nel quale pure i fenomeni si compiono. I filosofi naturalisti di tutti i tempi hanno cercato di dare definizioni di queste due idee prime, avvolgendosi spesso in un giro di pensieri e di parole, che qui sarebbe inutile e inopportuno seguire. Noi dobbiamo imporci come principio, di partire assolutamente dall'apparenze e di credere a queste come a realtà fino a che altre realtà non ci portino a modificare le nostre idee.

Siamo tuttavia disposti fin da principio a riconoscere che l'apparenza può ingannare, e che effettivamente in molti casi ha condotto all'errore sulle cose più semplici. Perciò in seguito ci occorrerà frequentemente di correggere e perfezionare le nostre ipotesi, quanto più si allargherà il campo dei fenomeni esaminati: e seguendo questo metodo, procederemo sempre più sicuramente che non partendo da astrazioni le quali non possono in alcun modo essere confermate da prove di fatto. Specialmente dovremo guardarci dall'ammettere incondizionatamente le conclusioni della pura Matematica, le cui astrazioni hanno sempre assoluto valore nel mondo del pensiero, mentre nel mondo fisico dei fatti non è mai possibile che siano soddisfatte le condizioni ideali sulle quali son

costruite le formule. C'è sempre qualche cosa in più, come il residuo nella storta del chimico, come l'errore personale nelle più sottili osservazioni dell'astronomo; e in queste piccole differenze rimangono spesso nascoste le più importanti questioni sopra l'essenza delle forze naturali. Così oggi è ancora da decidere se la gravitazione esige un certo tempo per propagarsi da un corpo all'altro, perchè tale verificaione rimane dentro ai limiti dei nostri errori di osservazione.

Il concetto stesso dello spazio, senza pensare a corpi che in esso si trovino e dei quali noi possiamo misurare le dimensioni, è già una di quelle astrazioni, che vorremmo evitare: è un concetto da considerare per noi come privo di senso, come una lettera dell'alfabeto presa a sè, la quale solo in unione con altre può esprimere un pensiero. Noi diremo invece che ogni corpo occupa spazio, ed ha una lunghezza, una larghezza ed un'altezza, ossia tre dimensioni. La supposta quarta dimensione dei geometri non ci riguarda, poichè noi non possiamo nè vederla, nè toccarla, nè sentirla e quindi neppure pensarla.

A noi è necessario «misurare» con la maggiore esattezza queste tre dimensioni di un corpo. Misurare significa confrontare una grandezza con un'altra grandezza invariabile, che è l'unità di misura. L'invariabilità di questa unità è dunque una condizione indispensabile. Si potrebbe certamente misurare relativamente due corpi confrontandoli fra loro, determinando così di quanto l'uno è più grande dell'altro; ma ciò non sarà più possibile,

se durante il confronto uno dei due corpi può aver sofferto qualche cambiamento: sarebbe pure impossibile di confrontare i vari stati di un corpo di variabile grandezza.

Qui ci incontriamo subito con una grande difficoltà. Infatti, sappiamo per prova che non esiste un solo corpo che si mantenga perpetuamente invariato; bensì crediamo di conoscere le leggi di questi cambiamenti di grandezza: ma così dicendo è evidente che ci aggiriamo in un circolo vizioso: infatti, per misurare queste variazioni di grandezza noi dovremo possedere, già prima, la misura costante, che invece vogliamo procurarci per mezzo di queste ricerche. Se, per esempio, per risolvere in qualche modo il problema ammettiamo che un corpo celeste come la nostra Terra conservi inalterata la sua grandezza e forma, almeno per tutti i tempi umanamente misurabili, e in rapporto a questo corpo determiniamo la *misura fondamentale*, ossia quella lunghezza che chiameremo metro, veniamo non solo ad accettare per vero un fatto non verificabile, ma con questo escludiamo anche la possibilità di decidere mai un problema dei più importanti, cioè se la forma e le dimensioni della Terra siano soggette a variazioni.

Poniamo il caso che la lunghezza di un meridiano terrestre sia misurata per mezzo di un'unità di misura costruita con una materia sperimentata come la meno variabile, e che da questa unità sia ricavata poi la 40 milionesima parte del meridiano come *metro*. Questa operazione sia ripetuta dopo un certo numero di anni con la

stessa unità di misura, e si trovi che il meridiano contiene ora più unità di prima: resterà da risolvere il problema, se in questo tempo la Terra sia diventata più grande, ovvero l'unità di misura più piccola. Se contemporaneamente, per mezzo di osservazioni astronomiche, si fosse trovato che la velocità di caduta della Luna verso la Terra è cresciuta, il che si può fare per mezzo di misure di tempi e di angoli indipendenti da quel primo tipo di misura, allora diverrebbe più probabile, dopo le conoscenze acquistate sopra i movimenti degli altri corpi celesti, che la Terra fosse cresciuta di massa, ossia anche di grandezza, e che l'unità di misura adoperata fosse rimasta costante.

Tuttavia rimane una terza possibilità, che cioè la Terra non sia divenuta più grossa ma sia cresciuta la sua forza d'attrazione. Con questo si verrebbe a contraddire una legge considerata come una delle più sicure: ma per esserne certi, occorrerebbe essere certissimi dell'invariabilità della nostra unità di misura: mentre nel caso supposto non potremmo avere una tale assoluta certezza.

Poichè tutte le cognizioni nostre sopra i fenomeni naturali dipendono in primo luogo dalla possibilità di misure esatte, sembrerebbe subito dimostrato che non saremo mai in grado di acquistare alcuna sicura conoscenza. Nel senso matematico, assoluto, questa è proprio la verità: e qualche naturalista, filosofo, potrebbe anche oggi, come Faust, esclamare sconfortato: «Ahime! che non potremo mai saper nulla!» E fin da questi primi passi

del nostro cammino, ci si fa innanzi questa dura sentenza che ogni nostra conoscenza è contenuta entro limiti di relatività imposti dalle nostre limitate forze.

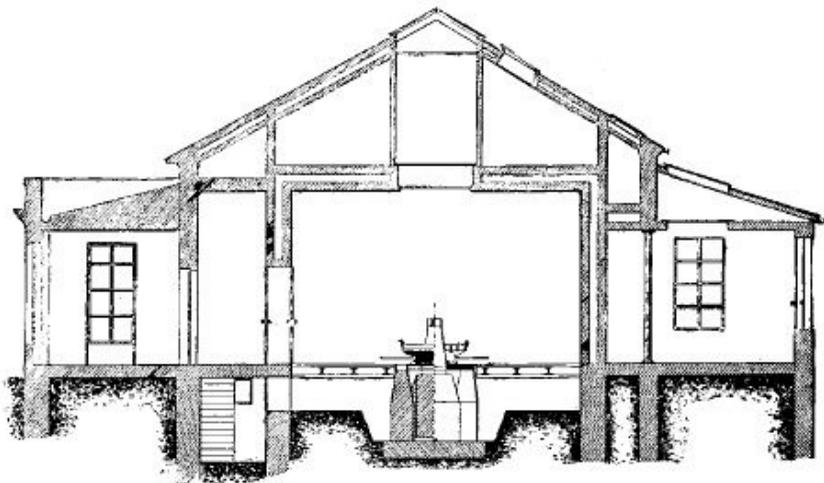


Fig. 3 – Sala a temperatura costante nell’Ufficio internazionale di Pesi e Misure.

Ciò premesso, diciam subito che si può coi cosiddetti «metodi d’approssimazione», a poco per volta, avvicinarci moltissimo, secondo ogni probabilità, alla verità umanamente accessibile. Ad esempio, per la misurazione delle lunghezze si può fabbricare un campione di misura di tale sostanza, che le sue dimensioni, secondo tutte le apparenze, siano soggette solo a piccolissime oscillazioni. Per mezzo di questo campione metrico si determinano le leggi che regolano le variazioni di grandezza dei corpi. Queste leggi sono solo prossime alla verità, perchè la misura adoperata non offre garanzia assoluta di invariabilità. Ma con l’aiuto di queste leggi approssi-

mative si stabiliscono i possibili cambiamenti dell'unità di misura durante gli esperimenti, e ripetendoli si può dunque arrivare a leggi più esatte, e così di seguito fino a che i risultati delle esperienze non cambino più. Noi dobbiamo tener presente che tutto il nostro sapere, di qualunque specie sia, è stato acquistato per mezzo di tali metodi di approssimazione, anche se questo sapere è compreso nelle cosiddette astrazioni, come quelle della pura matematica. Anche questa infatti ha bisogno di premesse indimostrabili o assiomi, che derivano solo dall'esperienza. E poichè tutte le conclusioni che si possono trarre da queste premesse, nella loro applicazione alla realtà non incontrano alcuna contraddizione in milioni di forme e casi, si può dunque affermare, con molti milioni di probabilità contro uno, che questi fondamenti della pura matematica sono veri. Se per esempio si stabilisce la legge che due parallele devono, sia pure all'infinito, incontrarsi, ne risulta come logica conseguenza che i corpi non possiedono tre ma quattro dimensioni, delle quali la quarta sfugge ai nostri sensi; per quanto interessante tale ordine di idee è inutile per lo studio della natura reale perchè rimane fuor d'ogni possibilità di verifica coi nostri sensi e coi metodi fisici di osservazione e misura.

Avendo dalle cose fin qui esposte riconosciuto che la misura è il fondamento di tutte le nostre conoscenze, e che un'alterazione non accertabile dell'unità fondamentale adoperata può far vacillare l'intero nostro edificio scientifico, si comprende bene che il campione di questa

unità sia conservato con gelosa cura come il più prezioso tesoro della scienza. Il campione prototipo del metro, composto di una lega di platino e iridio viene conservato in un sotterraneo dell'ufficio internazionale delle misure, presso Parigi, ed è posto dentro una cassa forte, al sicuro dal fuoco, la quale può essere aperta solamente alla presenza di due membri della apposita Commissione internazionale. Questo metro non è più considerato come una determinata frazione del meridiano terrestre, ma serve di per se stesso come fondamento di tutte le misure scientifiche. Coll'aiuto di questo gli scienziati futuri potranno un giorno stabilire se le leggi di natura, sulle quali è basato l'ordinamento di tutto l'universo, rappresentano realmente l'eterno immutabile nell'eterna mutabilità degli avvenimenti naturali, come noi oggi vediamo.

Le misure necessarie allo studio dei diversi fenomeni naturali non sono, ben s'intende, soltanto misure di lunghezza. Occorrono invece svariatissime unità di misura, della cui qualità è meglio parlare con maggiori particolari quando volta a volta se ne presenterà l'occasione. Ma in tutti i casi però ci incontriamo nelle stesse difficoltà pratiche, come per la determinazione della prima unità fondamentale. Tutte le misure che si trovano in uso per le ricerche scientifiche sono oggi da riferirsi collettivamente al campione di misura di Parigi, al «metro internazionale» destinato secondo le parole della Convenzione *a tutti i tempi, a tutti i popoli*.

b) La misura del tempo.

Una speciale considerazione merita la misura del tempo. Per determinare la grandezza di un movimento o di una qualsiasi manifestazione di forza, questa misura del tempo è sempre necessaria insieme con quella della lunghezza. Se, ad esempio, vogliamo misurare la forza di attrazione che si esercita fra due corpi, dobbiamo innanzi tutto misurare le distanze fra di essi, e poi il tratto percorso in un certo tempo dal corpo che acquista movimento verso quello che è causa del movimento.

Come inutilmente tortureremmo il cervello per intendere l'essenza dello spazio, così parimente per quella del tempo. Basta a noi di sapere per esperienza, che esiste una successione nei fenomeni. Se tra il compiersi di un dato fenomeno e quello di un altro non succede, per quanto possiamo provare, alcun altro avvenimento dal quale si possa misurare il cosiddetto intervallo di tempo tra quei due primi, allora diciamo che tra essi non è corso alcun tempo. Così soltanto l'incessante succedersi degli avvenimenti naturali ci dà il concetto del tempo, e può fornircene una misura.

Come unità si può naturalmente scegliere l'intervallo che passa tra due avvenimenti qualsiasi. Si prese il **giorno** come unità; e si definì l'intervallo tra due successive posizioni del Sole alla sua massima altezza sull'orizzonte, rispetto ad un medesimo punto della Terra. Per antica esperienza questi intervalli sembravano mantenersi perfettamente uguali tra loro, cosicchè si poteva comparare

e misurare con queste il lasso di tempo interposto tra gli altri avvenimenti. Ma dove si aveva questa prova? Si poteva solo ottenerla occupando questo spazio di tempo con un certo numero di altri avvenimenti che si potessero considerare uguali tra loro in durata, ricorrendo al principio fondamentale che uguali cause producono uguali effetti. Da questa necessità sorse l'invenzione del misuratore del tempo, l'**orologio**.

I più antichi e più semplici di questi strumenti, e pur tuttavia, relativamente molto esatti, furono gli orologi cinesi ad acqua. Si misurava quanta acqua nel corso di un giorno limitato dalle determinazioni astronomiche, usciva da un recipiente in cui il livello del liquido era mantenuto sempre alla medesima altezza. In sostanza, dunque, la misura del tempo era riportata ad una misura di lunghezza, per mezzo della quale solo si può determinare in volume la quantità dell'acqua uscita. Inoltre si doveva anche supporre che la forza di gravità, che produce l'efflusso dell'acqua, rimanesse sempre la stessa, ma sopra uguali supposizioni sono basati, anche oggi, i metodi più perfetti della misura del tempo. Si può infatti, coll'unica ipotesi che uguali cause producono uguali effetti, ammettere che un'asta di invariabile lunghezza, sospesa ad un punto senza attrito e posta in oscillazione, ossia un **pendolo**, deve compiere oscillazioni eguali in tempi eguali, dato che la forza di gravità rimanga invariabile; ma non può mai considerarsi invariabile la lunghezza dell'asta, che deve essere misurata per mezzo dell'unità di lunghezza e la possibile incertezza di que-

sta misurazione si trasmette quindi alla determinazione del tempo. Vedremo più tardi quante cure esigano la costruzione e la conservazione del pendolo, per potere sfuggire, quanto è possibile, a tutte le cause di errore o, almeno, poter giungere a limitarle. Per questo il pendolo è divenuto il più squisito degli strumenti misuratori, ma le sue indicazioni rimangono però sempre subordinate dalla invariabilità della forza di gravità.

Dopo che i misuratori del tempo ebbero acquistato una certa perfezione, si osservò che per le successive posizioni del Sole al suo più alto punto quegli indicatori non davano sempre la medesima indicazione. Sorse allora la questione se era falso l'orologio umano o quello celeste, ovvero se la forza di gravità fosse o no costante. Sul principio la questione rimase indecisa, e si dovette ricorrere a meccanismi di altro genere, ossia ad altri misuratori del tempo, il cui funzionamento ricevesse molto meno, e certo in modo affatto diverso, l'influenza della gravità; gli orologi a molla. Si fecero inoltre esperimenti diretti sulla gravità; e ci si poté persuadere, che se la gravità può essere variabile, tuttavia non può esserlo in sì alta misura da produrre le differenze osservate nella misura del giorno solare, definito come abbiamo detto. Con questo fu stabilito che è l'orologio celeste, e non il nostro, che va male; e l'acquisto di questa cognizione ha un notevolissimo valore, in quanto ci dimostra che noi possiamo contare più sopra i nostri strumenti che sulla gran macchina celeste, perchè gli apparecchi che abbiamo nelle nostre mani siamo in grado di poterli in vario

modo verificare. Per la stessa ragione è oggi dimostrato che molto meglio il metro-campione di Parigi può nel corso dei tempi mantenere costante la sua lunghezza, o per lo meno permetterci di verificarne le alterazioni, di quello che non possa dirsi per gli eventuali cambiamenti della forma e grandezza della Terra.

Un'unità di tempo, assai meno variabile del giorno solare, ci è fornita dalla durata di una esatta rotazione della Terra intorno al proprio asse, che si chiama *giorno sidereo*, ed è determinato da due successivi passaggi di una stella per un piano meridiano fisso, supponendo che in questo tempo la stella non abbia cambiato di posizione nello spazio. Ma, per la generale variabilità osservata in tutte le cose dell'universo, non ci deve far meraviglia di imparare che anche la stella fissa muta di posto, benchè lentamente, nel cielo. Non ci resta quindi altro che ripetere le osservazioni con un numero di stelle poste in diversissime direzioni dell'universo, ammettendo che i movimenti di queste stelle non possono essere concordi, e che perciò tutti gli errori causati dal movimento proprio di ciascuna di esse vengano a compensarsi calcolando un valore medio.

La lunghezza, così determinata, del giorno sidereo è divenuta il fondamento del nostro sistema di misura del tempo; sebbene poi, per ragioni di comodità rispetto agli usi della vita comune, si sia adottato come unità di tempo il cosiddetto **giorno solare medio**, il quale del resto sta in un semplice rapporto numerico col precedente.

Ma finchè noi poniamo questa misura naturale come

base assoluta per le nostre misurazioni del tempo, non abbiamo alcun mezzo di poter verificare se la durata di un giro di rotazione della Terra intorno al proprio asse, ossia la lunghezza di un giorno astronomico, sia soggetto a temporanee o permanenti alterazioni. Molti fatti astronomici farebbero credere che la rotazione di tutti i pianeti si acceleri gradualmente, e che quindi la durata del giorno sidereo vada continuamente, benchè con estrema lentezza, abbreviandosi. Per cui tutte le nostre misure del tempo verrebbero a contenere un errore costante, da moltiplicarsi per il tempo stesso. Tale errore sparisce completamente in tutti gli intervalli di tempo presi in considerazione per i fenomeni fisici e chimici, ma tuttavia esso può divenire notevole in un intervallo di migliaia d'anni, a cui spesso occorre riferirsi per l'indicazione di certi fenomeni astronomici. Se le forze naturali che producono questi movimenti celesti, e in particolar modo la gravità, sono costanti o almeno non variano progressivamente col tempo in maniera avvertibile da noi, potremmo dall'osservazione di tali movimenti dedurre la variabilità delle nostre unità di tempo, ma solamente in base a quella supposizione, la cui giustezza deve pure essere dimostrata. Si comprende da queste considerazioni critiche sulla misura fondamentale del tempo, che sarebbe molto desiderabile anche per questo, se noi potessimo renderla in un certo senso indipendente da qualsiasi altra grandezza naturale, come già è stato fatto per l'unità di lunghezza. Sarebbe di capitale importanza, per tutte le misure di tempo che si devono conti-

nuare per secoli, il poter costruire un apparecchio, «un orologio normale», che potesse indicare invariabilmente una misura di tempo convenzionale. Certamente un simile apparecchio sarebbe molto più difficile a costruire, che non il campione della unità di lunghezza. Qualche cosa di simile potrebbe ottenersi nel seguente modo: scegliere da tutti gli osservatori, distribuiti possibilmente in giro intorno alla Terra, quegli orologi a pendolo e a molla che hanno mostrato di avere un funzionamento quasi impeccabile; confrontare questi strumenti, valendosi dei soliti metodi, col cielo; e in tal modo determinare il cosiddetto «errore dell'orologio». Di poi fare l'inverso; considerare questa differenza, non come un errore degli orologi, ma come un difetto delle nostre supposizioni sopra l'invariabilità della lunghezza del giorno, o della gravità che agisce su tutti gli orologi della Terra in maniera uguale, oppure diversa, ma però valutabile. Questa poi si potrà trovare, supponendo che gli errori meccanici individuali degli orologi, distribuiti intorno alla Terra, avvengono senza regolarità, fino a che non intervengono le azioni delle forze naturali variabili che cerchiamo.

La media delle indicazioni di un gran numero di orologi viene evidentemente ad essere esente da questi errori meccanici, poichè questi errori hanno ugual probabilità di essere, in più o in meno, e nel risultato finale si eliminano. Insomma, in poche parole, dobbiamo aver maggiore fiducia nelle indicazioni medie di questi misuratori del tempo frutto dell'arte umana, che nella costan-

za dei moti celesti. Differenze costanti, o regolarmente variabili, fra le indicazioni fornite dalle due parti potrebbero con tutta probabilità essere attribuite a variazioni delle naturali misure di tempo fin qui adoperate.

Siamo entrati in queste particolarità, perchè esse chiariscono un metodo di analisi, che è d'importanza capitale per la scoperta di qualunque verità, e specialmente poi nel campo delle scienze fisiche. Fondamento di questo metodo è la cosiddetta «legge dei grandi numeri». Questa legge dice, che la testimonianza risultante da un gran numero di testimoni, i quali non è possibile siano stati soggetti ad eguali influenze, ha sempre molta più probabilità di verità della testimonianza di un solo, per quanta importanza gli si possa attribuire. Ogni individuo di una grande collettività può ingannarsi e ingannare: ma il complesso di tutte le testimonianze, se sono moltissime e se si adoperano bene, corrisponde sempre a quel vero che umanamente si può pretendere di conoscere. Quanto maggiore poi è il numero delle testimonianze, tanto più verosimile diviene per noi la verità del risultato ottenuto. Nel caso discusso di sopra circa la verificazione dell'unità di misura del tempo, noi sappiamo bene quali imperfette creazioni dell'industria umana siano i nostri orologi, e con quale meravigliosa regolarità procedano invece i movimenti celesti; ma dall'altra parte una casuale correlazione tra tutti gli orologi del mondo, che potrebbe spiegare una uguale deviazione di essi, non può attribuirsi che all'intervento di forze naturali. La loro testimonianza dovrebbe subito cedere di fronte

alla pluralità sopraffacente: ed in questo caso sarebbero proprio le forze naturali chiamate al banco degli accusati sotto l'imputazione di variabilità. È una cosa strana, e sembra un paradosso, che la nostra imperfezione umana, per la quale i nostri strumenti sono soggetti ad errori assolutamente insindacabili, è appunto quella che ci rende possibile una sicura verifica delle universali leggi di Natura. Tutte le nostre osservazioni sono errate: ma quante più ne facciamo, e perciò quanto maggiore è il numero degli errori, piccoli errori s'intende, tanto più sicuro sarà il risultato delle nostre ricerche; perchè la probabilità che gli errori positivi e quelli negativi si compensino, diviene tanto maggiore quanto maggiore è il loro numero.

c) Il movimento.

Per mezzo delle misure di lunghezza e di tempo, si determinano i cambiamenti ed i movimenti dei corpi, dovuti alle forze naturali. Particolarmente importante è la misura del movimento, poichè il cambiamento di posizione di un corpo, prodotto dalle forze esterne che su di esso agiscono, permette evidentemente nella maniera più facile la misura e comparazione di queste forze.

Noi dobbiamo prima di tutto accordarci bene su ciò che intendiamo col concetto di moto. Anch'esso non è così facile a definire come alla prima sembrerebbe, e la poca chiarezza su questo punto ha già prodotto una deplorevole confusione. Non si può definire semplicemen-

te il moto come un cambiamento di posizione di un punto, misurato in lunghezza durante un determinato intervallo di tempo. Questa è invero la definizione più comunemente data, benchè essa sia un'astrazione che in pratica non può trovare alcuna applicazione. Per poter veramente misurare questo spostamento di un punto, occorrerebbe poter fissare assolutamente il posto dal quale si inizia il suo movimento in modo da potere, dopo compiuto il movimento, determinare la distanza tra il punto di partenza e quello di arrivo. Ma noi non abbiamo alcun mezzo di fissare un punto dello spazio, nè di fermare un corpo anche solo per una piccolissima frazione di tempo, in modo che esso, in senso assoluto, non abbia proprio movimento alcuno. Inoltre non conosciamo neppure un punto in tutto l'universo che rimanga in quiete per un tempo anche brevissimo. Fino a che queste condizioni persisteranno, e ciò sarà per l'eternità, noi non potremo dunque studiare il **movimento assoluto**. E per farci un concetto del **movimento relativo** che è il solo accessibile alla nostra investigazione, dobbiamo prima di tutto immaginarci un sistema composto di due punti che si trovano, per quanto a noi risulta, in quiete l'uno rispetto all'altro, cioè non cambiano la loro reciproca distanza. Poi faremo muovere uno di questi punti, e ne misureremo il movimento, riferendosi all'altro punto immobile ed alla posizione iniziale di partenza. Per la determinazione di un movimento occorre dunque considerare sempre tre punti: quello iniziale e quello finale del movimento, ed un terzo «**punto d'origine**» rispetto al

quale si determinano le distanze e quindi la posizione degli altri due. Questa origine può anche coincidere con uno degli altri due punti, ma ciò non cambia la nostra definizione.

Per studiare l'effetto di una forza dal moto da essa prodotto, si deve non solo determinare la grandezza di questo, ma anche la direzione. Si vuol, per esempio, sapere se la forza attira o respinge il corpo: oppure, nel caso che essa produca un movimento obliquo, di quanto questo è inclinato sopra una direzione che si suppone fissa. Oltre al punto fisso d'origine entra dunque in considerazione un altro elemento determinativo, cioè l'asse fisso a cui riferire le direzioni. Se per esempio, un corpo si muove in linea retta da a verso b (Fig. 4) se ne troverà la velocità media dividendo la lunghezza della linea ab per il tempo impiegato a percorrerla. Questa lunghezza si può misurare, se si può fissare il punto di partenza del movimento riferendoci all'origine fissa o .

A questo scopo serve la linea oa che in questo caso si chiama il **vettore** del punto a , e che indichiamo con r_1 . In modo analogo tiriamo r_2 per il punto b . Se questi due *vettori* e l'angolo w da essi formato sono conosciuti, è noto che si può col calcolo trovare la lunghezza della linea ab del triangolo oab . Ma quell'angolo w si può conoscere solo alla condizione che le due direzioni r_1 ed r_2 possano confrontarsi con una linea ox che ammettiamo esser fissa, cioè non prender parte a quel movimento. Potremo ammettere che la misura degli angoli, che qui occorre insieme con quella di lunghezza, sia assolu-

ta, in quanto la loro unità di misura è assoluta e non soggetta a variazioni ed a diverse interpretazioni. Le incertezze nelle nostre misure angolari possono dunque derivare solo da errori nella scala graduata degli strumenti adottati, o da spostamenti non accertabili dell'asse fisso che corrisponde alla direzione *zero*.

I movimenti che si possono così misurare, riferendoli ad un punto fisso e ad un asse fisso, sono di diversa specie. Il più semplice è il moto **rettilineo uniforme**; quando il corpo percorre la più breve linea tra il punto di partenza e quello di arrivo, e quando, in tutto il cammino, il quoziente dello spazio percorso, per il tempo impiegato ha un valore costante.

Chiamando s il tratto percorso nel tempo t , la condizione di questo movimento, e la sua legge, è espressa dall'uguaglianza $s : t = \text{costante}$: questa grandezza costante misura **la velocità**.

Noi avremo completamente risolti tutti i problemi delle nostre ricerche, se saremo in grado di poter sempre determinare le leggi dei movimenti di tutti i corpi: perchè, come vedremo in seguito, anche certi

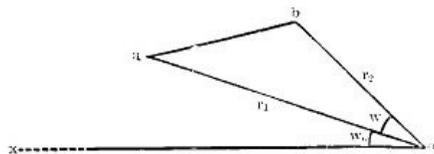


Fig. 4. – Diagramma del movimento.

fenomeni e cambiamenti che subito non appaiono come movimenti, per esempio, i fenomeni calorifici e la luce, sono invece da considerare come tali.

Nella più semplice ipotesi che tutti i movimenti dei

corpi siano rettilinei ed uniformi, basterebbe per ciascuno di essi determinare cinque costanti, come si può facilmente provare, per definirli completamente in ogni istante e comprender così tutti i fenomeni di Natura nella loro essenza. Ma in realtà le cose non procedono così semplicemente. Per lo più, i movimenti naturali sono variabili, sia per rispetto alla velocità, come alla direzione. Nel caso che questi cambiamenti di velocità e di direzione siano subordinati ad una legge, si aggiungono a quei cinque elementi altri elementi determinativi che ci possono presentare come quantità costanti. Trovare questi elementi è appunto il compito delle scienze fisiche; e quindi, dentro il campo dei fenomeni di cui sopra abbiamo fissato i limiti, compito nostro particolare in questo lavoro.

Tutti questi elementi determinanti, son sempre, ricordiamolo, da intendersi in senso relativo, perchè, per esempio, i piani o gli assi fissi scelti arbitrariamente nei varî casi, non sono mai veramente fissi, poichè in nessun caso, come si dimostra, si trovano in stato di quiete assoluta. Supponendo, per esempio, di fare in un laboratorio delle ricerche sul movimento di caduta di un corpo, come piano di riferimento può servire la tavola sulla quale abbiamo disposto l'esperienza. Ma sappiamo perfettamente che questa tavola possiede il movimento della Terra, e in 24 ore descrive un cerchio intorno ad un certo punto dell'asse terrestre. Tuttavia si può trascurare assolutamente questo movimento, finchè rimane soddisfatta la condizione che tutti i corpi relativi all'esperien-

za, durante questa mantengono uguale posizione rispetto alla superficie terrestre. Ciò non è veramente a tutto rigore, anzi si può dire che la posizione del corpo cadente cambia rispetto alla Terra. In un esperimento di piccole proporzioni tale spostamento è impercettibile addirittura ai nostri metodi di misurazione, ma potremmo invece osservarlo eseguendo l'esperimento da un'alta torre o in un pozzo profondo: allora vedremmo che il corpo cadente devia dalla direzione verticale nel verso della rotazione terrestre. Volendo determinare gli elementi di questo fenomeno, occorrerà dunque scegliere un piano di base che sia indipendente dalla rotazione terrestre: potremo per esempio prendere il piano dell'equatore e, per direzione fissa, la linea retta che va dal centro della Terra ad una stella fissa. Ma se le osservazioni già fatte in rapporto ad un primo piano di base vogliamo poi riferirle ad un secondo piano, è necessario determinare gli elementi della nuova posizione del secondo rispetto al primo, il che è reso possibile dalle osservazioni astronomiche. Si dice allora che le osservazioni sono *ridotte* o *trasportate* da un *sistema di coordinate* ad un altro.

Si è inoltre dimostrato che tutti i corpi celesti esercitano ugualmente attrazione gli uni sugli altri, e questo si manifesta ai nostri occhi soprattutto, col fenomeno della marea. Perciò non vi è alcun dubbio che una palla che cade da una torre sente nel suo movimento l'influenza del Sole, della Luna e di tutti gli altri corpi celesti. Per poter misurare anche questa influenza noi dobbiamo spostare ancora il nostro sistema di coordinate, renden-

dolo indipendente dal movimento della Terra intorno al Sole.

Noi prenderemo allora come piano fondamentale quello che passa per l'orbita terrestre ed il centro del Sole, e per asse fisso la linea che va da questo ad una stella fissa. I movimenti della nostra tavola di esperimento rispetto a questo nuovo sistema di coordinate vengono ora ad essere assai complicati: ma tuttavia siamo in grado di potercisi orientare e da signoreggiarli coi nostri calcoli; così arriviamo agli estremi movimenti sopra i quali possiamo ancora in qualche modo fornire indicazioni. Ma gli astronomi hanno pure riconosciuto per mezzo di osservazioni più ampie, che il Sole con tutti i corpi celesti che tiene intorno a sè avvinti colla sua attrazione, possiede un fortissimo movimento progressivo la cui grandezza e direzione non possiamo conoscere che in modo affatto approssimativo. Questo movimento avviene relativamente agli altri corpi celesti del firmamento, dei quali il maggior numero noi abbiamo potuto conoscere solamente da pochi secoli per mezzo del cannocchiale. La necessità di dare al sistema delle coordinate fisse una sempre maggiore estensione ed indipendenza dai movimenti relativamente vicini, progredisce ognora più allo sviluppo dalle nostre cognizioni dei fenomeni naturali. Per quanto si è spinta l'investigazione negli spazi celesti, si è sempre trovato che un sistema di mondi le cui singole parti di per sè sembrano essere in stato di quiete, si trovano invece in movimento se si osservano rispetto al sistema maggiore a cui appartengo-

no. Perciò è probabilissimo che la totalità dei corpi celesti noti a noi oggi o in un qualunque periodo della nostra scienza, in rapporto all'universo che resta al di fuori delle nostre cognizioni, abbia un comune movimento. Se dunque consideriamo il luogo occupato in un dato istante da un corpo, non sappiamo però indicare neppure approssimativamente quale sia rispetto a questo primo luogo la posizione e la distanza del corpo dopo un certo intervallo di tempo. Per contrapposto a questa incertezza, possiamo però dire, che due parti di questo corpo, che siano in stato di quiete reciproca, sono state in questo caso spostate dalla loro primitiva posizione di una quantità uguale benchè sconosciuta, e questo è per noi l'essenziale. La grandezza sconosciuta diventa per noi senza importanza e può essere esclusa dalle nostre considerazioni.

Poichè dunque la vera grandezza e direzione di un movimento non possono conoscersi, alcuni filosofi naturalisti giungono sino a dubitare della esistenza del movimento assoluto. Questa pare a noi una evidente contraddizione: perchè se per movimento assoluto si intende qualche cosa che in sostanza è soprattutto un movimento, la dimostrazione di un movimento relativo presuppone sempre anche la preesistenza di un movimento reale.

Diversa è la questione quando si domandi se non può esservi alcuna via o mezzo di apprendere qualche cosa circa un movimento, senza avere una direzione fissa verso un punto esterno al corpo mobile. In questo caso noi potremmo sempre acquistar conoscenza di movi-

menti di ordine superiore a quelli riconoscibili per mezzo della osservazione diretta, ed avvicinarci alla conoscenza del movimento assoluto. Possiamo darne un esempio. Un pallone si libra in mezzo a una nuvola in maniera che non si può fissare alcun punto esterno per determinare il suo movimento. Se il pallone gira intorno a se stesso, non avremo veramente alcun mezzo geometrico per riconoscere questa rotazione; ma tuttavia, osservando che per effetto della forza centrifuga gli oggetti posti nella navicella tendono ad allontanarsi dal centro di questa, potremmo convincerci di questo movimento rotatorio, anzi potremmo anche determinarne numericamente la velocità. In posizione simile a quella degli aeronauti di tale pallone ci troviamo pure noi collocati nell'interno di questo universo stellato fin dove arriva la nostra vista, mentre al di là del visibile possono trovarsi ancora regioni tanto più estese, quanto più lo è la Terra in confronto al nostro pallone. Ma da questo paragone si vede che per stabilire il movimento del pallone ci siamo valsi di cognizioni acquistate dal mondo esterno al pallone stesso. Se invece questo non fosse stato possibile, noi spiegheremmo certamente quella tendenza centrifuga dei corpi collocati nella navicella, che per noi rappresenterebbe l'intero mondo conosciuto, come una proprietà appartenente a tutta quanta la materia, come una generale forza repulsiva che agisse in senso diverso della gravità.

d) Forza e materia.

Un tale movimento ci apparisce come l'effetto di una forza che sembra irradiarsi da un centro in tutte le direzioni con una certa legge. Ma non si faccia confusione e non si creda che così venga a definirsi in qualche modo la forza centrifuga, la cui causa è appunto il movimento. Si tratta piuttosto di mostrare che, dentro i limiti di esperienza relativi al nostro esempio, una forza agisce direttamente fuori della materia e, in apparenza almeno, senza l'intervento di alcun altro agente, mentre questa forza solo coll'estendersi delle nostre cognizioni la potremo ricondurre ad un determinato stato di movimento di tutta la materia, senza essere affatto insita nella materia medesima.

Queste considerazioni ci portano a domandarci quali proprietà si devano attribuire alla materia. È questa una questione che è stata trattata con grande sottigliezza dai filosofi, come quella dello spazio e del tempo. Noi che vogliamo attenerci quanto è possibile al campo dei fatti d'osservazione, non dobbiamo considerare la materia in sé che come un simbolo necessario a rappresentarci i fenomeni naturali, un simbolo a cui non corrisponde alcun concetto completo e preciso, e che quindi non si può comprendere se non connesso cogli altri simboli nei quali, a causa della nostra insufficienza, abbiamo dovuto suddividere cose e fenomeni. Noi conosciamo la materia solo per mezzo delle sue azioni esterne le quali chiamiamo **forze**. Una sostanza priva di azione sarebbe per noi

come non esistente; ed una forza che emani dal nulla è pure in antitesi colle nostre semplicissime ipotesi fondamentali, senza dire che non è mai stata osservata. I due fenomeni adunque sono assolutamente indivisibili, anzi non si può opporre alcuna fondata obiezione a coloro che sostengono che forza e materia siano una sola e medesima cosa. Infatti, anche l'unica proprietà che potrebbe rimanere ancora alla materia, quando si potesse scindere da tutte quelle forme di fenomeni fin qui riconosciute come forze naturali, cioè «l'estensione», è pure da definirsi come una forza, se si ammette che alla superficie di un corpo assolutamente duro agisce una forza, contrapposta e maggiore di qualunque altra che agisca sul detto corpo dall'esterno come pressione. Anche questa per noi è una sottigliezza che non ci possiamo trattenere a discutere essendo nel caso nostro inutile. Il concetto di materia è una necessaria astrazione per il nostro linguaggio usuale, alla quale non si può attribuire nel mondo dei fenomeni realtà maggiore che al movimento. Noi possiamo parlare del movimento di un punto, ma invero sono i corpi che si muovono, e senza la presenza dei corpi non potrebbe esservi alcun movimento.

La materia è dunque per noi una concezione del pensiero senza una definizione corrispondente alla realtà, un'astrazione, come il «*punto geometrico*» che pure trova tante utili applicazioni nei nostri ragionamenti. Essa è per noi un «*quid*» o se si vuole anche un «*niente*» che occupa spazio, e che non possiede altra proprietà eccetto

quella che nel posto occupato da essa non può contemporaneamente trovarsi alcun'altra cosa.

Un'altra questione di diversa natura e importanza è quella, se la materia che apparisce a noi come veicolo delle forze naturali, riempia effettivamente lo spazio, come sembra in apparenza. Tale questione oggi fondamentale nelle teorie fisiche moderne, divideva 30 o 40 anni fa, a tempo del geniale FECHNER (Fig. 5), i fisici e i filosofi naturalisti in due campi, quello dei «dinamici» e quello degli «atomisti». I dinamici avevano in ogni caso l'apparenza dalla loro. Se un pezzo di piombo cede sotto uno scalpello picchiato col martello e si lascia penetrare, si può dire che la forza con cui occupa spazio, o in altre parole la durezza del piombo, è minore di quella del ferro, al quale perciò sotto una sufficiente pressione cede il suo posto. Gli atomisti al contrario sostengono che tutti i corpi constano di piccolissime particelle o «atomi» tra loro separati, i quali, fin che i corpi non siano in stato di assoluta durezza (quindi in tutti gli stati conosciuti da noi), lasciano fra loro intervalli vuoti. Questi atomi, sotto l'azione delle forze naturali acquistano movimenti reciproci come i corpi celesti, e dalle qualità di questi movimenti sono spiegati i diversi stati e i fenomeni della materia. Oggi sono pochi i fisici che dubitino ancora della composizione atomica dei corpi, tuttavia noi faremo bene a non abbandonare la vecchia teoria dei dinamici, che è quella a cui porta l'apparenza, o almeno a concedere a questa uguale attendibilità come all'altra, per poi, dietro al responso dei fatti, venire a teorie che al

primo aspetto sembrano assai poco verosimili.

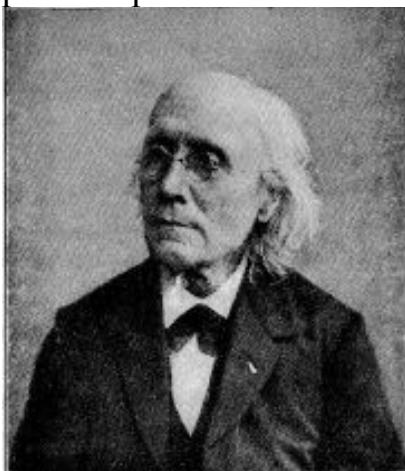


Fig. 5. – G. Teodoro Fechner (1801-87).

Ma per quanto piccole siano le parti in cui mentalmente si può suddividere la materia, queste parti devono sempre teoricamente rimanere misurabili, se misurabili devono essere i loro effetti. Il concetto astratto della materia si può perciò formare in modo più completo sulla teoria atomistica che su quella dinamica. Per questa, infatti, non vi è alcun

corpo che occupi completamente spazio, che sia cioè assolutamente duro, ma si può sempre ulteriormente suddividere. Il concetto di materia diventa in certo modo simile a quello di un fluido. Gli atomisti, al contrario, ammettono che le ultime particelle di materia, gli atomi, non siano più divisibili per effetto delle forze naturali conosciute, ma che, essendo assolutamente duri, riempiono lo spazio in modo completo ed assoluto. Essi non avrebbero altra proprietà che quella di muoversi per effetto della diretta trasmissione degli urti di altri atomi, e di produrre con questi movimenti i fenomeni naturali. Quale di queste due teorie si avvicini di più al vero può essere dimostrato solo con l'analisi di molti fenomeni: quella teoria che riesca a spiegare con meno ipotesi e con le più semplici, un maggior numero di fenomeni,

avrà per sè le maggiori probabilità.

Molto bene è stato rappresentato il contrasto fra queste due teorie da FECHNER nella sua «Atomistica».

«Un bosco appare da lontano come una massa uniforme. Supponiamo di vederlo senza sapere che cosa è, e si cerchi dalla natura dei fenomeni osservati di riconoscerne la costituzione e le qualità. Il complesso dei tronchi e delle foglie si manifesta con fenomeni molto appariscenti, come il colore, l'ondeggiamento al vento, il rumore, ecc.; ma per l'esplicazione di questi fenomeni è quasi lo stesso considerare il bosco come un tutto continuo, oppure no; o piuttosto, poichè veramente esso appare come un tutto, l'ipotesi che sia proprio tale, presenta certamente un vantaggio. Supponiamo anche che si abbia un'indicazione dei tronchi dalla disposizione striata delle loro linee, che si vedano degli animali entrare nel bosco e sparire, questo non sarebbe ancora differente da quel che si osserva in un cristallo con linee di sfaldatura o vedendo dei corpi sparire sciogliendosi in un liquido. Non siamo dunque ancora costretti a credere che questa apparenza di divisione corrisponda poi, in un esame fatto più da vicino, ad una reale divisione, e che quegli animali passino attraverso al bosco invece di esserne assorbiti addirittura. Non siamo dunque punto costretti a diffidare dell'apparenza, la quale a primo aspetto ci fa sembrare tanto il bosco quanto il metallo ed il liquido, come materia continua; ed il fisico sopra tutti si dovrebbe guardare da ciò. Ma il fisico potrebbe, servendosi dei suoi mezzi speciali di osservazione, arrivare a

distinguere il tremolio delle varie foglie prodotto dal vento, e poi gli ondeggiamenti dei tronchi; ed allora, per spiegarsi tutto ciò, sarebbe costretto a supporre che la massa verde delle foglie, apparentemente unita e continua, sia composta di tante singole particelle tremolanti, e la massa legnosa composta di tanti tronchi separati. Questo sottile esame potrebbe dare un risultato logico e sicuro, ma tuttavia non essere alla portata di tutti; e a molti, che non occupandosi di simili studi non potrebbero forse nemmeno tener dietro a tali investigazioni, sembrerebbe certo più semplice, e naturale, attenersi all'immediata apparenza che pure basta così bene a dare una spiegazione dei fatti. Lo stesso ragionamento all'incirca, può farsi circa la teoria atomica della materia».

Come già abbiamo detto, la filosofia atomica spiega ogni forza come un effetto di movimento degli atomi. Il dinamismo, al contrario, assegna a ciascuna sostanza forze di diversa specie ed in diversa misura, le quali agiscono fino a che è possibile sopra tutte le altre sostanze. La natura della forza è dunque sostanzialmente diversa nelle due teorie: per i dinamici la forza si irradia dal corpo agente a quello che ne subisce l'effetto, attraverso lo spazio vuoto e senza intervento di alcun mezzo interposto, come anche oggi in mancanza di migliori cognizioni, si suol ammettere della gravità, e come prima si ammetteva dell'Elettricità, del magnetismo, della luce, del calore ed anche del suono, secondo antiche teorie non ancora sottoposte alla prova dell'esperienza. Per conseguenza la forza viene in certo qual modo generata conti-

nuamente nel corpo ad ogni istante; così la Terra, dopo che ha attirato una pietra, deve seguitare continuamente ad esercitare su di essa la propria attrazione con forza non diminuita; ed un corpo caldo manterrebbe perpetuamente il suo calore se un'altra forza, che nel concetto dinamico sarebbe il freddo, non agisse su di esso in senso contrario. Ma sebbene questa teoria abbia dalla sua, come dicemmo, l'apparenza, pur tuttavia essa deve cedere ad un'altra più semplice, più comprensibile, più chiara. Noi infatti ci possiamo molto difficilmente immaginare che una manifestazione di forza sia inesauribile e che agisca attraverso lo spazio vuoto senza l'intervento di alcun mezzo. La teoria degli atomisti, invece, è sotto tutti i rapporti più semplice. Essa presuppone che gli atomi siano stati in movimento fino dall'origine, come vediamo infatti tutti i corpi, fin dove può giungere la cognizione umana, essere in moto; inoltre si suppone che nel posto dove si trova uno di questi atomi indivisibili, non può trovarsene un secondo: e che questo dunque deve spostarsi se s'incontra con un altro che abbia velocità maggiore. Lasciando da parte certi particolari, si può prevedere che così si formeranno aggruppamenti diversi i quali produrranno movimenti negli altri gruppi con cui si incontreranno. In questo modo possono essere spiegati un poco per volta tutti i fenomeni naturali. Abbiamo allora una serie alternata di cause ed effetti, fino ad un'ultima causa, che potrà sempre essere cercata più lontana ma finalmente dovrà pure coincidere in un primitivo movimento di parti. Per rendere poi questa sup-

posizione la più semplice immaginabile, si dovrebbe poi ammettere che questo originario movimento di tutte le parti dell'universo accessibili alle nostre cognizioni, fosse rettilineo ed uniforme. Se poi ci torna comodo, possiamo anche supporre, circa a questo movimento, che esso sia stato comunicato al mondo a noi conosciuto da un'altra parte dell'universo al di sopra delle nostre nozioni, presso a poco come noi possiamo comunicarlo ad un corpo nelle esperienze di laboratorio. Avremo così spinto ancora un poco più lontano la primissima causa del movimento.

Si comprende peraltro che non si potrebbe lasciarsi trascinare dalla seducente semplicità dell'ipotesi atomistica, se questa non fosse in grado di spiegare almeno altrettanti fenomeni, quanti ne spiega l'ipotesi dinamica col principio dell'azione a distanza. Non possiamo insomma dare qui alcuna decisiva definizione sulla natura della forza, il che si potrà forse tentare dopo tutte le speciali considerazioni che avremo occasione di fare in questa opera. Dobbiamo qui limitarci a dire, come le azioni delle forze naturali si possono dividere in due specie che appaiono molto diverse; cioè, in quelle che in apparenza, o realmente, agiscono a distanza e in quelle che agiscono solo mediante l'apparente o reale contatto di parti materiali.

Poichè per alcune azioni a distanza, come per la luce, risultò subito chiaramente anche per i dinamici, che essa era trasmessa da qualche cosa che doveva trovarsi tra il corpo luminoso e quello illuminato, sorse allora il con-

cetto delle sostanze imponderabili, ossia senza peso. L'introduzione di questo concetto, quasi sparito nella Fisica moderna, deve considerarsi assolutamente infelice. Una materia invisibile ed imponderabile è per noi altrettanto incomprensibile quanto quell'azione a distanza ch'essa dovrebbe spiegare. Si sarebbe dunque sostituita una cosa, incomprensibile ad un'altra. Oggi si crede che quell'elemento che fa da mezzo conducente, ossia il cosiddetto «etere cosmico» consti di finissime particelle, ancora più piccole degli atomi ordinari, le quali sono invisibili ed imponderabili solo praticamente, ossia rispetto ai nostri manchevoli mezzi di investigazione, e non quindi in senso assoluto.

Guardiamoci frattanto di non cadere qui in un circolo vizioso. Se l'etere è il conduttore della luce, ossia se l'azione luminosa si trasmette fra le particelle d'etere fino a che giunge alla nostra retina, tali particelle fino a che esercitano una simile azione, restano, a rigor di termini, invisibili, perchè manca ogni altra causa che possa far loro acquistare una diretta luminosità. Per la stessa ragione queste particelle possono non aver peso finchè agiscono come mezzo di trasmissione della forza di gravità. Si deve dunque, più precisamente, dire che gli atomi dell'etere sarebbero ponderabili e visibili, se essi si trovassero in stato di quiete, ed altre particelle d'etere si assumessero le parti di trasmettere queste loro azioni.

Dunque, per la teoria atomica l'imponderabilità e la completa trasparenza dell'etere non costituiscono alcuna difficoltà; mentre invece nella teoria dinamica, secondo

la quale l'etere è un tutto unito, interposto tra i corpi che di per sè, fra di loro, esercitano azioni scambievoli, dovrebbe farsi per questo etere una eccezione che è indimostrabile ed incomprendibile.

e) L'Incommensurabile.

Quello che abbiamo detto circa agli imponderabili ci conduce ad esaminare il concetto dell'«infinito» che si suole spesso usare nelle ricerche naturali in due sensi, cioè «infinitamente grande» ed «infinitamente piccolo». Per esempio si potrebbero indicare gli imponderabili come sostanze infinitamente leggere. A questo proposito si sono detti tanti e tanti errori che ci preme di essere ben chiari fin dal principio.

Conformandoci ancora alla nostra regola di non prendere in considerazione alcuna cosa che non possa essere da noi verificata, non vogliamo intraprendere un esame dell'infinito assoluto in ambedue i sensi. Noi non possiamo immaginarci, invero, nè l'infinitamente grande, nè l'infinitamente piccolo. Ma tuttavia siamo costretti, nella teoria atomica, come in altre teorie fisico-matematiche, a parlarne spesso; anzi oggi non si può addirittura fare a meno di servirsi di questi concetti. Si intende senz'altro che, se le particelle dell'etere si devono considerare come infinitamente piccole e se tuttavia esse trasmettendo la forza di gravità possono mettere in movimento un corpo di grandezza misurabile, come una pietra, è necessario; o che esse siano in numero sterminato,

o che altrimenti la potenza colla quale le piccole parti della pietra sono sospinte sia smisuratamente grande, se il numero delle particelle eteree che agiscono rimane finito e determinato.

La matematica insegna che questo concetto dell'infinitamente grande e infinitamente piccolo può, colle debite cautele, essere introdotto nelle nostre considerazioni e nei nostri calcoli. Un ramo importantissimo dell'analisi matematica, senza il cui aiuto ci sarebbe estremamente difficile, se non impossibile, dominare col calcolo tanti dei fenomeni che in seguito ci interesseranno, cioè il «calcolo infinitesimale», riposa sull'introduzione di quello che in linguaggio matematico si chiama «infinitesimo», cioè infinitamente piccolo. La matematica pura, che generalmente si vale solo di astrazioni può anche adoperarne il concetto dell'infinito, per il quale si serve del segno ∞ : nelle considerazioni di ordine fisico però sarebbe sempre meglio «usare in questo senso il concetto e la parola immensurabile». Se il matematico è autorizzato a servirsi del concetto del «nulla» assoluto, o dello «zero», può anche usare il numero ∞ , poichè qualunque numero finito diviso per zero dà ∞ . Per comprendere bene questo si suole rendere sempre più piccolo il denominatore di una frazione qualunque. Prendiamo, ad esempio: $2 : 3 = \frac{2}{3}$; $2 : 2 = 1$; $2 : 1 = 2$; $2 : \frac{1}{2} = 4$; $2 : \frac{1}{1000000} = 2000000$; $2 : 0 = \infty$.

Se moltiplicheremo ora i due membri di quest'ultima eguaglianza per 0, avremo: $0 \times 2 : 0 = 0 \times \infty$; ossia $2 = 0 \times \infty$. Un numero finito risulta dunque dall'unione del-

l'infinitamente grande coll'infinitamente piccolo, e ciò corrisponde anche a considerazioni geometriche. Un punto geometrico non ha dimensioni, non si può misurare, è un «niente». Ma con una serie di punti il geometro immagina composta una linea, ossia una figura che ha dimensioni. Per formare una linea di lunghezza finita, per es. di 2 cm., devono essere allineati una quantità infinita di punti, perchè se il numero di questo fosse limitato, per quanto grande, si potrebbe sempre determinare l'estensione di ciascun punto, ed un punto esteso sarebbe in contraddizione con la sua definizione. Per cui una quantità infinita di infinitamente piccoli nel senso matematico genera una grandezza finita.

Ma il fisico non va tant'oltre nelle sue astrazioni. I suoi atomi non sono punti, poichè devono occupare un certo volume che oggi, in base a certe supposizioni, sarebbe anche misurabile, e su questo ritorneremo. Se la curva descritta da una pietra lanciata risulta dall'azione dell'impulso iniziale combinata coll'attrazione terrestre, e se questa a sua volta è l'effetto di una infinita quantità di urti di atomi eterei sulla pietra ad intervalli di tempo infinitamente piccoli, allora si potrà dire che veramente la pietra non descrive una curva regolare (che nel caso citato è una parabola) come la pensa e la costruisce il matematico, ma una linea spezzata composta da un'infinita quantità di rette il cui involuppo rappresenta la curva matematica. Perciò non vi è alcun dubbio (sebbene la nostra scienza non si sia ancora chiaramente pronunziata a questo proposito) che il calcolo infinitesimale, esco-

gitato con tanta acutezza di pensiero, e che il fisico nelle più sottili ricerche teoriche considera come l'esatta rappresentazione del vero stato delle cose, tuttavia in fatto può solo dare rappresentazioni approssimative della realtà, e valori medi di questa, se si ammette la teoria atomica fino alle sue ultime conseguenze.

In tutt'altro modo stanno le cose secondo la teoria dinamica. In questa l'etere è un mezzo continuo che agisce con perfetta continuità d'azione, proprio come il matematico ammette nelle sue ricerche teoriche sull'azione delle forze. La teoria quindi conserva in certo qual modo le vecchie ipotesi, nè può, per ora, per ragioni pratiche, abbandonarle. Ma un giorno forse si giungerà a persuaderci che per mezzo di *somme aritmetiche* ci si avvicina più alla verità che col sistema degli «integrali», dall'analisi infinitesimale con tanta sicurezza ora a quelle sostituito. Il fisico deve rimanere essenzialmente pratico, pur riconoscendo il grande aiuto che gli offrono le teorie, matematiche specialmente per poter giungere a concezioni vaste e generali.

Da queste osservazioni dobbiamo imparare che i cosiddetti metodi d'approssimazione dei quali per lo più ci serviamo nelle ricerche fisiche, e che generalmente sono considerati come espedienti necessari, indicano realmente la via per raggiungere la verità assoluta: almeno finchè ammettiamo che dietro quegli atomi di grandezza finita, il cui numero nel campo delle nostre osservazioni deve essere infinito, non si nasconde ancora un altro infinito affatto inaccessibile a noi. E così noi osiamo dare

una strana ma inconfutabile sentenza: che appunto la più perfetta teoria non può essere che un'approssimazione alla verità. Questo non significa niente di più di ciò che abbiamo dichiarato già fin dal principio e che particolarmente poi risulterà in tutti i casi, cioè, che l'uso incondizionato di qualunque genere di astrazioni è in pratica dannoso.

Restano così fissati i criteri e le norme a cui ci dovremo attenere, per cercare le invariabili leggi di natura in mezzo al labirinto dei fenomeni cosmici.

3. – Funzione dei sensi nello studio della Natura.

Prima di cominciare lo studio particolareggiato dei fenomeni naturali ci occorre conoscer bene i mezzi coi quali possiamo acquistar cognizione di essi, per assicurarci che il giudizio dei nostri sensi sia positivo ed attendibile.

Ogni nostra conoscenza deve passare attraverso ai nostri sensi, unico mezzo di comunicazione tra il mondo esterno ed il nostro spirito, che riceve e coordina le impressioni. Ma i sensi nostri sono tutti più o meno imperfetti, ed aggiungono sempre qualche cosa del loro proprio carattere nelle loro comunicazioni. L'esperienza quotidiana ci insegna che i nostri sensi vanno spesso soggetti a grossolani inganni: ma questa esperienza stessa ci addita pure, a nostra disposizione, mezzi positivi per riparare a questi errori. Dobbiamo dunque studiare

questi nostri mezzi di conoscenza e di verificaione, avanti di cominciare l'esame delle cause esterne che producono le nostre impressioni sensorie. Anche qui occorre procedere con espedienti e con metodo di approssimazione; perchè, per esempio, non potremo comprendere bene la struttura e il funzionamento dell'occhio se prima non abbiamo acquistato qualche notizia sulla natura della luce; ma d'altra parte per poter conoscere a fondo la natura della luce, ci occorre pure sapere come si forma in noi l'impressione della luce stessa.

La Fisiologia ci insegna in modo indubbio che gli organi esterni dei sensi, come la pelle sensibile al tatto, la bocca, l'orecchio, il naso, l'occhio, sono soltanto i trasmissori delle nostre sensazioni di vista, udito, ecc., e non son essi che sentono, vedono, ecc. Ci dimostra, per esempio, che dall'occhio parte un fascio nervoso che conduce al cervello, e che noi diventiamo ciechi se vien tagliato questo fascio nervoso, sebbene l'occhio continui come prima a proiettare immagini del mondo esterno nella retina inalterata. Viceversa noi riceviamo una sensazione luminosa se in qualche modo eccitiamo uno di questi nervi della vista senza che agisca la luce nell'occhio. Basta a persuadercene questo semplice esperimento. Si metta in bocca una striscia di zinco ed il manico di un cucchiaino d'argento, tenendoli separati: quindi si portino a contatto le loro estremità esterne. Allora, tenendo gli occhi chiusi, si avrà ad ogni contatto l'impressione di una debole scintilla o di chiarore. Per mezzo di quel contatto si forma una debolissima corrente

elettrica, ma tuttavia sempre molto più forte di quelle ordinarie agenti sui nervi: essa si comunica alle parti della bocca e di lì si diffonde ai nervi della vista producendo così quell'apparente illuminazione di tutto il campo visuale. Ma non occorre neppure l'eccitazione elettrica: basta qualunque pressione sui nervi visivi per ottenere questo effetto, e lo sa bene chi riceva un colpo in un occhio. Lo stesso può dirsi a proposito di tutti gli altri organi dei sensi.

Il centro d'attività della nostra coscienza è dunque il cervello e propriamente, come si può dimostrare, il rivestimento grigio che circonda i complessi avvolgimenti della materia bianca cerebrale; mentre quest'ultima consiste in fibre nervose di straordinaria finezza che, riunite in fasci, da una parte fanno capo agli organi dei sensi, e dall'altra ai nervi motori i quali, o per effetto della diretta eccitazione dei sensi o mossi dalla nostra volontà, provocano le manifestazioni vitali del nostro organismo. Quali particolari funzioni siano poi da iscriversi alle singole parti di questa «sostanza grigia» non è ancora ben conosciuto.

Questi organi che sono la sede profonda e misteriosa della nostra attività mentale, son così chiusi e avviluppati nell'interno del nostro corpo, che è più difficile poter fare delle osservazioni su queste incarnazioni del nostro *io*, che non sui mondi situati nelle estreme regioni dell'universo. Noi possiamo solo azzardare delle ipotesi; ma intanto, per lo sviluppo delle nostre teorie sull'unità dei fenomeni naturali, è della massima importanza

dare uno sguardo al meccanismo delle impressioni nel nostro apparato ricevitore centrale.

La sostanza grigia, organo terminale dell'apparato ricevitore, è formata da un grandissimo numero di piccole cellule e non mostra in alcun punto diversità nella sua struttura. Ma tuttavia non vi è alcun dubbio che alle diverse parti di questa materia grigia sono assegnate e localizzate determinate impressioni sensitive: che noi, insomma con certe parti di questa corteccia cerebrale vediamo, con altre udiamo, e così via. Se queste parti dell'involuppo cerebrale si ammalano o deperiscono, ne seguono alterazioni ben riconosciute nelle funzioni dei sensi, come risulta dalle autopsie. Certamente oggi non si devono più intendere queste «localizzazioni» dell'attività cerebrale come le intendeva la vecchia «Frenologia» secondo la quale le diverse proprietà dello spirito erano riunite in zone determinate del cervello. La costruzione del cervello è delicatissima e complessa. I grandi fasci nervosi che partono dagli organi sensitivi esterni si ramificano a guisa di alberi e vanno a terminare in differenti punti della corteccia cerebrale. Le fibre e le ramificazioni nervose dei diversi organi esterni si intrecciano complessamente tra loro ed aggruppano le loro cellule terminali, come si può averne un'idea dalla fig. 4.

Ne consegue che, per malattia localizzata di parte del cervello, può solo interrompersi parzialmente la funzione di un organo sensorio: e pare dipendente da ciò una importantissima proprietà del nostro spirito che acquista

idea più completa di un fenomeno, quando esso agisce contemporaneamente sopra più d'uno dei nostri sensi. Le eccitazioni che fanno capo a regioni vicine della corteccia cerebrale, come per esempio quelle che partono insieme dall'occhio e dall'orecchio, si riuniscono insieme e, in certo nodo, hanno influenza le une sulle altre.

La uniformità assoluta nella costituzione delle cellule cerebrali ci induce a fare delle strane riflessioni. Dopo che noi, dal profondo esame del regno della natura, abbiamo acquistato ognor più la persuasione di una completa unità nelle forze prime che nel succedersi dei fenomeni si ramificano infinitamente, ci imbattiamo poi in questa nostra scatola cerebrale misteriosamente chiusa: nella quale tutte le nostre idee e cognizioni raccolte formano di nuovo come un'immagine concentrata di tutto il mondo, quasi fosse qui il termine dell'infinita catena di fatti e fenomeni che dall'altra estremità si protende nel gran mondo della materia.

L'intero mondo della nostra conoscenza consiste dunque, in ultima analisi, nel funzionamento di queste ultime cellule nervose. La corteccia cerebrale è come una specie di tastiera composta di milioni di tasti uguali, e par che solo l'unione dei tasti in diversi accordi di simultanee impressioni sensitive produca in noi le intuizioni e gli apprezzamenti donde nascono le idee. L'immagine del mondo come noi lo comprendiamo, si forma dunque nel nostro cervello a modo di un finissimo mosaico i cui singoli elementi sono completamente separati; anche il mondo del nostro spirito si suddivide in ato-

mi come la materia.

Questi elementi della corteccia cerebrale possono essere stimolati tanto dall'esterno, per effetto dell'eccitamento degli organi dei sensi, quanto pure dall'interno per l'azione misteriosa della nostra volontà e della nostra immaginazione. All'esterno l'eccitazione nervosa è

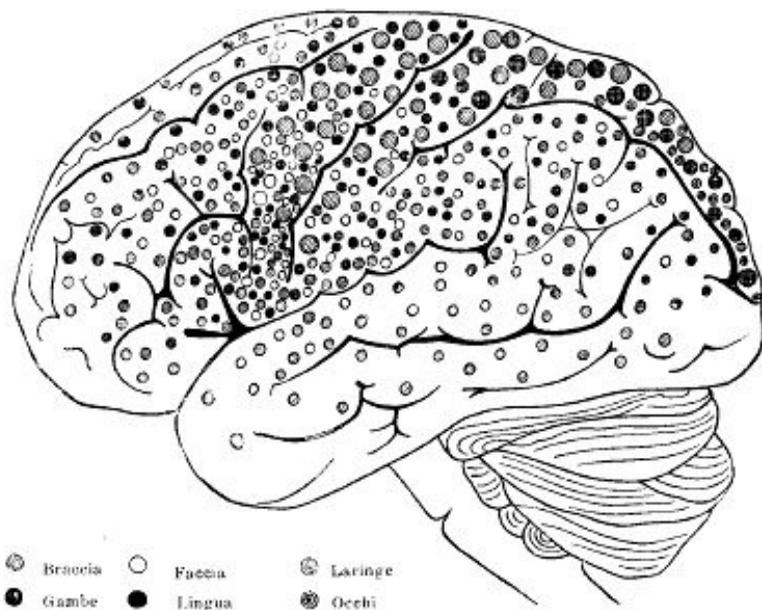


Fig. 6. – Distribuzione dei fasci nervosi nel cervello umano.

prodotta da azioni meccaniche, da quelle più grossolane fino a quelle estremamente delicate. Noi percepiamo le azioni meccaniche dei corpi fino ad una determinata misura sulla nostra pelle come pressione al tatto; movimenti più fini della materia si avvertono poi successivamente come suono, calore, luce. Oggi infatti è abbastan-

za sicuro che il fenomeno della visione non si compie nel nostro occhio per un processo chimico come nella camera fotografica, ma per l'azione meccanica diretta delle onde eteree sulla delicatissima retina; sebbene certamente il color porpora, ancora inesplicato, della retina vivente, che sparisce rapidamente sotto l'azione della luce, debba avere una certa parte in questo processo.

Le azioni meccaniche alle estremità esterne del sistema nervoso si convertono parte in lavoro chimico, parte in eccitazione elettrica, la quale si propaga per le ramificazioni e trasmette l'eccitazione fino alle cellule terminali nella corteccia cerebrale. La nostra percezione degli oggetti e fatti del mondo esterno è dunque trasmessa per mezzo di fasci di nervi che vanno dall'esterno all'interno.

Ora, poichè noi possiamo con la fantasia rappresentarci di nuovo i vari eccitamenti nervosi già ricevuti e riprodurli a volontà, benchè più debolmente in condizioni normali, ma pari al vero nell'eccitazione patologica, dobbiamo perciò ammettere che la nostra volontà è capace di provocare correnti nervose in direzione inversa per via di originaria eccitazione delle cellule cerebrali. Questa attività in due direzioni, troverebbe un riscontro nel sistema dei nervi motori la cui costruzione, per quanto il confronto è possibile, concorda pienamente con quella dei nervi sensori. I cosiddetti «movimenti riflessi» che noi facciamo involontariamente dietro un'eccitazione dei nervi, avvengono in modo che la corrente nervosa generata dall'eccitamento esterno, giunge solo a

certi centri posti fuori della corteccia cerebrale, per lo più al midollo spinale; e ramificatasi subito, è trasmessa novamente verso l'esterno ai muscoli i quali compiono movimenti spesso anche complicati, provocati dunque da un'eccitazione esterna senza che questa si sia trasmessa alla nostra coscienza. Da questi centri di movimenti posti nel midollo spinale salgono bensì dei fasci nervosi fino alla nostra corteccia cerebrale; ma è a noi possibile, fino ad un certo grado dell'eccitazione nervosa esterna, di interrompere volontariamente la comunicazione coll'organo centrale della nostra coscienza. E poichè l'effetto di una eccitazione esterna sui centri motori corrisponde sempre ad una certa forza meccanica che, senza una uguale reazione, si comunicherebbe pei nervi al centro della coscienza, ed essendo d'altra parte questa reazione prodotta dalla nostra libera volontà, noi possiamo almeno teoricamente misurare questa forza di volontà con misura meccanica, per esempio, come forza di pressione o di trazione in chilogrammi. Ma, in pratica, per la piccolissima intensità delle correnti nervose dimostrate sperimentalmente la prima volta da DUBOIS-REYMOND, si oppongono, oggi ancora, invincibili difficoltà a questa misurazione della forza generantesi dal nostro cervello per mezzo della volontà.

Ma si può intendere che la corrente nervosa della «memoria» agente dall'interno all'esterno, possa divenire così forte che la «inversione» avvenga in modo completo: e che, ad esempio, i bottoncelli e coni della retina siano da essa posti novamente in movimento vibratorio

corrispondente proprio a quello comunicato dalle vibrazioni della luce: la memoria allora riprodurrebbe sulla retina un'immagine visibile di un oggetto. Varrebbe la pena di fare in questo argomento delle ricerche sperimentali. Pare, inoltre, che la retina, per l'eccitazione nervosa, divenga di per sè luminosa, come mostrano gli occhi di molti animali, che rilucono nella notte, e tal fenomeno è stato osservato anche nell'uomo.

Così, sempre occupandoci di stabilire i limiti del nostro campo di ricerche, siamo passati dalle gravi questioni fondamentali ad esaminare un po' da vicino i nostri mezzi di percezione, ed abbiamo messo in chiaro, che tutto ciò che sappiamo del mondo esterno e di quello interno a noi, non si può apprendere se non mediante cambiamenti di stato di parti del nostro corpo, dal quale, si sa bene, non possiamo in alcun modo separarci. A questo proposito anzi, si possono citare profonde ed ingegnose osservazioni filosofiche, per cui si può arrivare ad immaginarsi, che gli oggetti esterni i quali a noi si rivelano per mezzo degli organi dei sensi e del nostro sistema nervoso, siano sostanzialmente affatto diversi da quel che ci appaiono. Abbiamo visto infatti, che ciò che noi chiamiamo mondo reale esterno non differisce da quello irrealmente interno, se non in questo: che nel primo caso, l'eccitamento che produce in noi la rappresentazione di una cosa, comincia nei cosiddetti organi sensitivi esterni e va a terminare in quelli interni; nel secondo caso, invece, avviene il contrario.

Ma non sapendo niente delle cose e conoscendo solo

le impressioni dei nostri sensi, non abbiamo ragione alcuna di ammettere, che sostanzialmente le eccitazioni provenienti dall'esterno abbiano una diversa origine di quelle provenienti dall'interno: o in altre parole, non abbiamo in realtà alcun mezzo per dimostrare che il cosiddetto mondo esterno non è un mondo immaginario come quello nostro interno; di modo che essi si distinguerebbero solo per la diversa intensità delle impressioni suscitate. Il mondo esterno dà impressioni più forti, quello interno più deboli e come di sogno.

Ma bisogna dire che qui, come in molti casi, si tratta solo di elucubrazioni filosofiche e di giuoco di parole. Se il mondo veramente fosse solo nella nostra immaginazione e volontà, e non esistesse dunque alcuna sostanziale distinzione fra mondo interno e mondo esterno, è evidente che ciò che noi chiamiamo mondo si ridurrebbe all'individuo che raccoglie in sè tutte le impressioni. Questo individuo sarebbe dunque il mondo stesso, il quale, immaginario o reale, agirebbe su di sè coi diversi particolari effetti che noi chiamiamo cose, corpi, altri individui, esterni a quel singolo individuo; e sarebbero questi particolari effetti o fenomeni che ci interesserebbero, e che occorre quindi studiare. Così, come movendoci in un circolo, si ritorna di nuovo al nostro punto di partenza; cioè, al nostro proposito di considerare come reali le cose delle quali un sufficiente numero di percezioni dei nostri sensi ci fa concorde testimonianza.

Perchè questa testimonianza non sia uniforme e unilaterale, e ad evitare possibilmente i gravi errori che una

medesima influenza potrebbe produrre sopra una intera serie di analoghe percezioni, sono concessi all'uomo sensi di diversa specie, coll'aiuto dei quali egli può percepire i fenomeni sotto diversi aspetti. Vogliamo ora esaminare, fino a quel punto questi diversi sensi ci servano per lo studio della Natura, e quanto possiamo ad essi fidarci.

Si sono *ab antico* attribuiti all'uomo cinque sensi: tatto, odorato, gusto, udito e vista. Per ciascun di essi v'ha un organo speciale ricevitore; e questi organi, tranne nelle parti terminali connesse con la corteccia cerebrale, sono costituiti molto diversamente. Ma questa differenza è solo negli apparati ricevitori esterni, come l'occhio, l'orecchio, ecc.: mentre le estremità delle fibre nervose, donde si parte l'eccitamento che si propaga verso l'interno, sono per tutti i sensi, se non affatto uguali, pur tuttavia somigliantissime.

Sono, dunque, proprio gli apparati ricevitori esterni, cioè l'occhio, l'orecchio, ecc., che determinano le varie impressioni dei sensi da noi percepite come luce suono, ecc. L'occhio accoglie e concentra i raggi luminosi, ed i coni e i bastoncelli della retina per la loro grandezza e disposizione, sono atti ad essere eccitati solo dalle vibrazioni luminose dell'etere. Altre cause fisiche esterne agiscono su gli altri organi dei sensi: ma poi la trasmissione dell'eccitamento agli organi interni, ossia alle cellule della corteccia cerebrale, avviene in modo uguale per tutti.

Sembra dunque che la nostra mente distingua tra loro

i fenomeni naturali di diversa specie, solo perchè le eccitazioni, di per sè uguali, provengono da organi esterni diversi, e per ciascuno di questi ultimi fan capo a determinati punti della corteccia cerebrale.

La varietà delle impressioni che forniscono poi lavoro al nostro intelletto, dipende dunque solo dalla costruzione e disposizione dei nostri organi sensori esterni. La maggior parte dei fenomeni naturali, come vedremo più tardi, consistono in vibrazioni della materia o dell'etere; e la rapidità di queste vibrazioni deve rimanere entro certi limiti, perchè l'occhio possa percepirle come luce, l'orecchio come suono, e così via: vibrazioni più rapide producono sulla nostra pelle la sensazione del calore. Tutte queste vibrazioni si possono determinare con assoluta sicurezza, come vedremo in seguito; e ci resulterà, che tra le vibrazioni dell'aria, che per noi producono il fenomeno del suono, e quelle calorifiche, e tra queste e quelle luminose, vi è grande differenza di rapidità; e che vi sono poi vibrazioni più rapide ancora di quelle luminose, le quali non producono alcuna impressione sui nostri sensi. È cosa già di per sè presumibile, e si può poi dimostrare sperimentalmente, che esistono pure vibrazioni di velocità intermedia che verrebbero ad essere comprese in questi intervalli, fra le varie specie di vibrazioni avvertite da noi; tali vibrazioni possiamo in certe circostanze renderle riconoscibili, facendo con artifici aumentare o diminuire la loro rapidità, fino al grado necessario perchè entrino nel dominio dei nostri sensi.

Ora è certo, che i fenomeni naturali risultano da una

ininterrotta serie di stati di movimento della materia, mentre noi, per le limitate e non continue nostre facoltà sensitive, non possiamo immediatamente percepirne se non una parte. Quindi è solamente la ragione della discontinuità dei nostri sensi e delle loro qualità specifiche, che ci ha fatto dividere questa non interrotta e graduata serie di movimenti in gruppi in apparenza nettamente divisi, che chiamiamo luce, calore, suono, ecc. Soltanto per effetto delle particolari disposizioni dei nostri organi di sensi, queste azioni sembrano a noi sostanzialmente diverse tra loro, mentre si tratta di forme di movimento analoghe e che solo vanno crescendo di velocità. Adunque, la divisione dell'energia naturale nelle note forme di luce, calore, suono, ecc., è una condizione impostaci dalle qualità speciali dei nostri sensi; e per conseguenza nel nostro compito di studiare a fondo l'unità di origine dei fenomeni naturali, noi ci troviamo come un artista che ascolti le armonie di un'opera musicale eseguita sopra uno strumento incompleto, il quale possiede solo una serie di note bassissime, una di note medie, ed una di altissime; a quell'artista sarà di grande difficoltà riconoscere ed aggiungere mentalmente le note per lui mancanti, ed apprezzare nella sua completa unità l'opera d'arte.

Se noi avessimo organi sensibili anche a queste vibrazioni intermedie, il quadro della Natura senza dubbio ci si presenterebbe notevolmente più completo; presso a poco e nelle stesse proporzioni, come ad un cieco che acquistasse la vista apparirebbe il mondo molto diverso

e più completo che non gli appariva prima.

Molti fenomeni, la cui connessione col complesso dei fatti naturali è ancora per noi un enigma, rientrerebbero facilmente nella legge e nell'ordine, e l'intero quadro della Natura, apparirebbe essenzialmente diverso. Tuttavia, noi non possiamo giungere al punto, come hanno fatto alcuni filosofi, da credere che le nostre presenti cognizioni e le nostre teorie scientifiche, dopo le conquiste che un nuovo senso ci permettesse, sarebbero da buttar via, e che la nostra scienza altro non sia se non un prodotto dei nostri sensi, anche non ponendo in dubbio l'esistenza di un mondo esterno. Il paragone del cieco può ancora essere molto istruttivo a questo proposito.

Supponiamo che egli sappia sonare il pianoforte: il numero e le distanze dei tasti, la grandezza e la forma dello

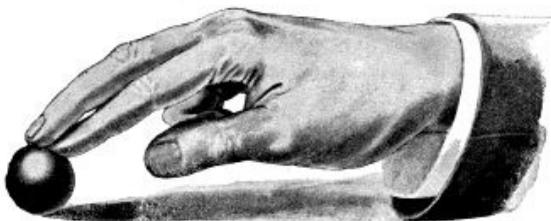


Fig. 7. – L'errore del tatto.

strumento sono a lui così perfettamente conosciute, che egli potrebbe anche indicarle, s'intende in rilievo, con tutta esattezza. Egli conosce l'effetto delle note battendo i diversi tasti. Se improvvisamente egli acquistasse la vista e vedesse davanti a sè il pianoforte, non potrebbe mai, senza tastarlo e adoperarlo, arrivare da sè a riconoscere che quello è il suo amato strumento. Anche se egli ascolterà le ben conosciute note, non potrà mai pensare ch'esse provengano da quell'oggetto che si vede dinan-

zi, poichè ancora non si è formata in lui la facoltà di orientamento e riconoscimento per mezzo della vista. Se si condurrà al piano, sonerà male fino a che si servirà della sua vista; insomma, egli darà a vedere di essersi fatto del mondo visibile esterno, un concetto del tutto diverso da quello che corrisponde alla verità. Si sono fatti esperimenti di questo genere sopra ciechi nati operati felicemente; i quali, dopo acquistata la vista, hanno continuato anche per dei mesi a zoppicare ed urtare qua e là quando usavano del nuovo senso, mentre invece si movevano con tutta sicurezza come prima, negli ambienti a loro conosciuti, appena chiudevano gli occhi. Ma il supposto cieco risanato riceverebbe dal suono del pianoforte la solita ben nota impressione, che gli farebbe subito riconoscere il suo strumento, confrontando la sensazione del tatto con quella nuova della vista. Quest'ultima operazione di confronto corrisponde precisamente al metodo scientifico nello studio della Natura.

Le leggi naturali, che sono il risultato di confronti e di rapporti, col perfezionarsi dei nostri mezzi di percezione possono non già essere contraddette ma solo esser accresciute e completate. La comparazione, che porta alla misura, condurrà sempre a conoscenze maggiori.

I varii sensi concorrono quindi in diversa misura alla formazione della nostra interna imagine dell'universo, ma la parola stessa dice che l'occhio ha in questo la parte maggiore: la vista è infatti il senso con cui possono essere compiute le più esatte misurazioni. Ma di tutti i sensi, è ora per noi importante esaminare come e quanto

possano servirci come strumenti di studio, ed in quali specie di errori possiamo incorrere col loro uso.

Di tutti i cosiddetti cinque sensi, il tatto è certamente il più incerto. Per il tatto non esiste alcuno speciale organo ricevitore, e si considera come tale tutta la pelle nella quale, su tutta la superficie del nostro corpo, sono distribuite, non però uniformemente, le estremità dei nervi trasmettitori dell'eccitazione tattile. Queste terminazioni nervose si trovano più frequenti alle estremità delle dita, mentre sono rade sul dorso, sulle anche, ecc., perciò noi riconosciamo la forma e la grandezza degli oggetti più facilmente servendoci delle dita, che con qualunque altra parte del corpo. Ma la sicurezza del senso del tatto anche nella punta delle dita è sempre notevolmente minore di quella del senso della vista, sebbene pure il tatto possa servire ai ciechi per l'apprezzamento delle dimensioni. Inoltre il tatto è soggetto a grossolani inganni. Ce ne possiamo facilmente persuadere toccando qualcuno sul dorso con la testa di un ago, e facendogli dire il posto in cui ha avvertito il contatto: i due punti raramente combineranno, e molto spesso disteranno tra loro di parecchi centimetri; talvolta, anche il punto indicato si trova dalla parte opposta rispetto alla colonna vertebrale. Perfino le punte delle dita dan luogo qualche volta a sbagli grossolani. Se, per esempio, si accavalla il dito medio sopra all'indice, in modo da invertire l'ordine delle due falangi esterne, portando quella del medio più vicina al pollice, e poi si tocca una pallina facendola scorrere tra queste due estremità, si avrà allora l'impres-

sione di due palline poste alla distanza che passa normalmente tra le estremità di due dita contigue (Fig. 7). Riuscendo a sovrapporre l'anulare all'indice, si ha pure la stessa sensazione, solo che sembra che le palline si trovino alla distanza di tre dita. Ma, per quanto l'illusione sia perfetta, tuttavia non potrebbe certamente ingannare per molto tempo un cieco, abituato com'è all'apprezzamento e all'analisi sottile delle più diverse impressioni del tatto, che son per lui le più importanti. Ma le impressioni del tatto rimangono sempre troppo incerte, da avere una parte importante nelle ricerche naturali.

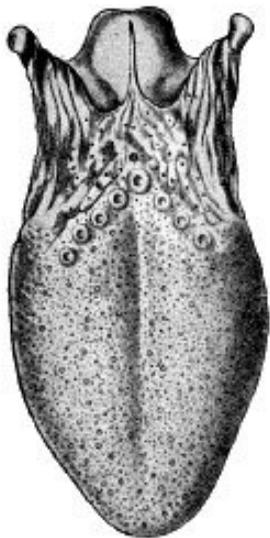


Fig. 8. – L'organo del gusto.

È vero che una grande ed importantissima classe di fenomeni, quelli del calore, solo per via del tatto può giungere alla nostra coscienza; ma se noi fossimo guidati solamente dal tatto nello studio del calore, le nostre cognizioni su questa grande energia naturale sarebbero affatto imperfette. Basti pensare solo all'incertezza con cui, servendoci del semplice contatto, si può giudicare della temperatura. Se in due recipienti si pone dell'acqua alla stessa temperatura, e nell'uno si tuffa un dito soltanto, nell'altro l'intera mano, l'acqua sembra in quest'ultimo più fredda che nel primo. Inoltre, secondo lo stato

della nostra circolazione del sangue, un medesimo corpo ci appare a volte caldo, a volte freddo. Infine, questo pur incerto apprezzamento della temperatura non ci è possibile che dentro ristrettissimi limiti. Già a temperature di poco superiori a quella del sangue ci scottiamo; e la stessa impressione, conseguenza di una distruzione del tessuto organico, la abbiamo toccando corpi molto freddi. Il tatto insomma è assolutamente inservibile per la misura della temperatura: ma essendosi scoperto che l'azione del calore produce la dilatazione dei corpi, si è utilizzata questa proprietà nei termometri, che permettono all'occhio di leggere la temperatura sopra una scala. Così tale misurazione viene effettuata per mezzo di un senso più fine ed esatto.

Il tatto ci ha per primo rivelato la presenza di una forza naturale che fa sempre sentire il suo effetto: la gravità. Un oggetto che noi prendiamo in mano preme su questa in modo, che i nostri muscoli devono esercitare una forza di resistenza per mantenere alta la mano. Questa pressione della gravità ci permette di valutare i pesi, con una precisione che per piccoli valori è relativamente grande. Se si tengono tre fogli di carta in una mano, togliendone uno si avverte subito la diminuzione di peso, sebbene sia forse appena d'un grammo. In certi casi, può servire anche il confronto del peso di un oggetto sopra una mano, con quello di un altro sopra l'altra mano. Ma queste impressioni tattili divengono però affatto malsicure per grossi pesi.

Si può qui dare una regola che vale ugualmente per

tutte le altre impressioni sensitive: la **legge psico-fisica di Weber e Fechner**; secondo la quale l'impressione di un eccitamento nervoso è tanto maggiore, quanto maggiore è il suo rapporto all'eccitamento della stessa qualità che si avvertiva prima. Per i nostri sensi, dunque, entra in considerazione, a danno delle nostre misurazioni scientifiche, non il suo valore assoluto, ma quello relativo. Nell'esempio citato dei tre fogli di carta, la variazione dell'impressione tattile è uguale a $\frac{1}{3}$ della precedente fondamentale: se invece si avessero in mano 50 fogli di carta, togliendone uno non si avvertirebbe quella piccolissima differenza di pressione. Per chi porti un peso d'un quintale sulle spalle, è indifferente aggiungerci un chilogrammo o una piuma. Lo stesso accade per gli altri sensi. Se un ambiente è illuminato da due candele, noi avvertiremo subito un aumento di luce se ne venga accesa un'altra, ma non più quando già fosse illuminato da cento candele.

Volendo dunque comparare tra loro i pesi con la maggior possibile esattezza, noi dobbiamo astrarre assolutamente dall'impressione del tatto, e novamente ricorrere ad un altro senso per avere una testimonianza indiretta ma più facile e sicura. Dopo aver riconosciuto che il peso di un corpo è l'effetto d'una forza di trazione che tende ad avvicinare tutti i corpi al centro terrestre, utilizziamo questa forza a muovere il giogo della bilancia, e dallo spostamento dell'ago congiunto col giogo vediamo l'uguaglianza o la differenza dei pesi. Di nuovo, dunque, il finissimo senso della vista si sostituisce a

quello del tatto.

Non molto diversa da quella del tatto è la funzione del gusto e dell'odorato: essi ci danno impressioni tattili speciali, l'uno per i liquidi, l'altro per i gas.

La lingua ed il palato possiedono le **papille gustatorie** (Figg. 8 e 9), recipienti microscopici dove i liquidi da esaminare sono assorbiti e là certamente sottoposti ad un'analisi chimica.

Questa può talvolta essere di una finezza straordinaria, tanto da superare i più sottili mezzi di ricerca del chimico. È invero sorprendente come piccolissime quantità di sostanze possono essere rivelate da questa analisi fisiologica chimica, mentre che nelle storte del laboratorio sparirebbero affatto. Ma tali analisi si possono solo fare su sostanze che siano solubili nell'acqua o nella saliva; tutte le altre sono «senza sapore»; perciò il chimico deve, quanto è possibile, fondare i suoi metodi di ricerca, sui cambiamenti visibili delle sostanze, ossia cambiamenti di colore, di volume, di peso, dello stato d'aggregazione, ecc.

In modo del tutto analogo a quelli del gusto son disposti gli organi dell'odorato: organi così fini da poter reagire al contatto delle minime particelle materiali, come sono le molecole dei gas mentre per il gusto oc-

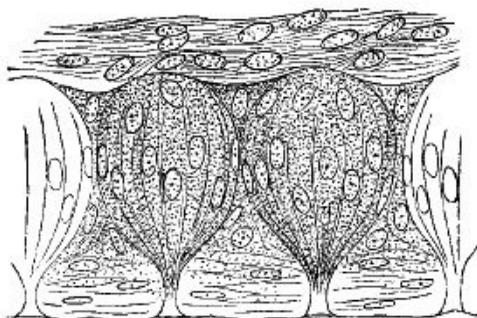


Fig. 9. – Papille gustatorie (coniglio).

corre materia in stato liquido. Ed ancor più che per il gusto, è meravigliosa la finezza di percezione dell'olfatto, che può avvertire in un miscuglio gassoso quantità addirittura infinitesime di sostanza odorosa. Non vi è dubbio che questo senso potrebbe fornire ottimi servigi per l'analisi esatta, se fosse stato fin qui più esercitato, e specialmente se il linguaggio fosse più ricco e più progredito in fatto di termini esatti corrispondenti alle varie qualità e gradazioni delle impressioni dell'olfatto, mentre per nessun senso le lingue sono come per questo povere di vocaboli. Si è fatta la supposizione che la specie umana nei primordii del suo sviluppo con la quasi continua dimora in chiuse caverne, abbia perduto molto della primitiva acutezza del senso dell'olfatto, il quale, come è noto, è molto più sviluppato negli animali che in noi, e per molti di essi anzi costituisce un mezzo di apprezzamento più sicuro anche della vista. Se un cane incontra il suo padrone, dopo essere stato molto tempo diviso da lui, la vista gli dà soltanto un sospetto che quello sia il suo padrone, ma ne sarà subito sicuro appena avrà potuto annusarlo, e darà allora sfogo alla sua contentezza.

Pur tuttavia, il concludere dalla povertà della lingua la relativa imperfezione di questo nostro senso, può sembrare cosa troppo azzardata. L'intelligenza umana può solo con molta lentezza dalle cose osservate ricavare idee astratte, e solo dopo molto lavoro di pensiero può sentire la necessità di trovare le parole atte ad esprimerlo. Così le lingue antiche appaiono più povere delle moderne anche rispetto al senso della vista e alla

distinzione dei colori, mentre tuttavia le pitture pompeiane mostrano chiaramente che gli artisti di allora comprendevano con altrettanta finezza dei moderni tutte quelle sfumature di colori per l'indicazione delle quali essi erano solo in grado di fare comparazioni concrete, come noi oggi per molte tra le impressioni dell'olfatto e del gusto più nettamente distinte.

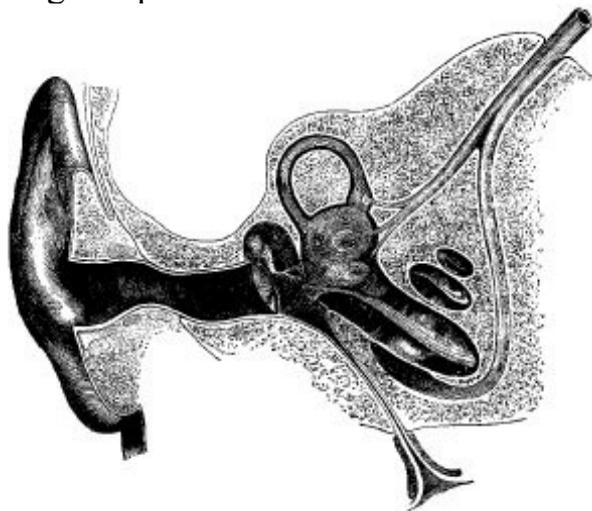


Fig. 10. – L'orecchio umano.

Ma per quanto in avvenire questi due sensi possano essere perfezionati dall'esercizio, non potranno mai superare in semplicità e sicurezza i metodi di comparazione che ci permette la vi-

sta. I tre sensi che abbiamo fin qui trattati potranno solo apportare elementi di prova di grado subordinato, ai risultati ottenuti con altre vie di investigazione.

Diversa è invece la cosa per l'udito. Le vibrazioni dell'aria percepite per mezzo di questo senso non possono con alcun altro senso nè con alcun artificio di trasformazione essere meglio avvertite e studiate. I filamenti nervosi terminanti nel cosiddetto «organo del Corti», si trasformano in laminette di elasticità vitrea atte a vibrare; l'orecchio possiede così parecchie migliaia di diapason, ciascuno dei quali è accordato con una singola nota e si mette in vibrazione solamente per la risonanza con essa, generando la corrente nervosa che trasmette l'eccitamento al cervello. Certamente anche coll'orecchio non si possono fare che osservazioni relative. Si può solo



Fig. 11. – Fotografia con la camera oscura.

fare il confronto e determinare se due suoni che si susseguono rapidamente sono eguali, o sentire quale di essi è più alto o più basso. La misura della loro differenza, ossia il loro rapporto di altezza, può essere in certi casi determinato abbastanza bene per mezzo del solo udito, valendosi degli speciali intervalli musicali che i buoni orecchi apprezzano esattissimamente. Sicurissima è poi sempre la sensazione dell'uguaglianza dei suoni, come del resto in tutte le altre sensazioni. Ma se si vogliono determinare in grandezza e numero i movimenti di vibrazione, dai quali sono prodotti i suoni, – e già sappiamo che lo studio dei movimenti della materia è per noi di capitale importanza – ci occorre rendere visibili queste vibrazioni; e a tale effetto sono stati costruiti particolari apparecchi. Anche qui la parte principale è affidata al senso della vista.

L'occhio, adunque, trasmette la parte di gran lunga più grande ed importante dei risultati di quelle esperienze che ci aprono la via alla conoscenza della Natura. Dobbiamo quindi fin da principio familiarizzarci molto con questo prezioso organo, anche avanti di esserci meglio addentrati nell'esame della natura della luce; perchè fin dalle primissime esperienze ci occorre sapere a qual punto ci possiamo fidare della sua testimonianza.

Ognuno conosce la disposizione di una camera fotografica. Sul davanti si trova una lente di cristallo, l'obiettivo, la quale proietta sopra una lastra posta ad una certa distanza un'immagine degli oggetti illuminati, situati esternamente davanti ad essa. La distanza che deve

essere tra la lente e la lastra dipende da quella che è tra gli oggetti e la lente; ma per gli oggetti molto lontani, dipende solo dalla forma dell'obiettivo e costituisce la lunghezza focale di questo. Quanto più l'obiettivo è incurvato, tanto minore diviene la lunghezza focale. L'obiettivo consta di una combinazione di lenti di qualità di cristallo diversamente rifrangenti, e davanti porta il **diagramma**, per mezzo del quale può essere variata l'apertura per cui passa la luce.



Fig. 12. – L'occhio.

Il nostro occhio è costruito sullo stesso principio della camera fotografica; in alcune parti è veramente molto più perfetto di essa, ma in altre invece assai meno. Le due condizioni necessarie, così per la vista come per le buone fotografie, cioè la maggior possibile nettezza dell'immagine e nei vari casi la sufficiente intensità

luminosa, sono tra loro in contraddizione, anzi in un certo senso si escludono a vicenda. Bisogna dunque venire a delle transazioni; e i mezzi usati negli apparecchi fotografici sono diversi da quelli dell'occhio. Per le necessità della nostra vita, l'occhio ha trovato un sistema di adattamento ottimo: ma come strumento ottico, la camera fotografica è molto più perfetta. L'immagine più nitida di un oggetto è senza dubbio quella data da un'a-

pertura puntiforme, in modo che da ciascun punto dell'oggetto un solo raggio di luce possa giungere alla lastra sensibile oppure alla retina dell'occhio. Così si formano le immagini nella **camera oscura** propriamente detta (Fig. 11), per la quale non esiste distanza focale: tutti gli oggetti, a tutte le distanze, si disegnano nitidamente nei giusti rapporti di prospettiva. Questa camera sarebbe dunque il più perfetto apparecchio fotografico e il più perfetto occhio, se la detta apertura infinitamente piccola, non lasciasse passare che una quantità infinitamente piccola e insufficiente di luce. Quindi, per potere lavorare con una macchina fotografica, l'apertura deve avere un certo diametro. Allora da un medesimo punto di un oggetto giungono alla superficie, dove si forma l'immagine, più raggi non paralleli: e ogni punto si disegna come un disco che si confonde con quelli dovuti ai punti più vicini, e l'immagine dell'oggetto viene perciò confusa. Per esempio, il paesaggio della Fig. 11 potè essere fotografato, senza obiettivo, con un diaframma di $\frac{1}{4}$ di mm.; ma fu necessaria una posa di 2 minuti, mentre con un buon obiettivo bastava la decimillesima parte di questo tempo. La fotografia fu fatta da una stanza, e si vede infatti a sinistra un lato del telaio della finestra, che, pur trovandosi vicinissimo all'apparecchio, è riuscita con la stessa nitidezza come le montagne lontane. Non vi si può notare alcun difetto; tutti gli oggetti a linee rette, così ai margini come nel centro dell'immagine, sono pure riprodotti come linee rette. Se si eccettua una leggera sfumatura, che qui anzi accresce in certo

modo l'effetto artistico del quadretto, non è dubbio che questa fotografia è più perfetta che se fosse stata fatta col migliore degli obiettivi.

Per poter mettere a profitto il più possibile questo vantaggio delle piccole aperture, si sono introdotti negli apparecchi fotografici i diaframmi, analoghi all'**iride** dell'occhio, la quale si apre più o meno secondo la luminosità dell'oggetto osservato.

L'ottica c'insegna, come impareremo più tardi, che ogni raggio di luce, al limite di divisione tra due corpi trasparenti di diversa qualità e densità, è «rifratto» ossia deviato dal suo cammino rettilineo. Questa proprietà è utilizzata dall'obiettivo e dall'occhio, per ricondurre ad un medesimo punto della lastra fotografica, ovvero della retina, i raggi partenti da un medesimo punto di un oggetto, e che passano per diversi punti dell'obiettivo: il che non si potrebbe ottenere altrimenti. In questa maniera si giunge ad ottenere una grande intensità luminosa; poichè per ciascun punto dell'oggetto agiscono tanti più raggi di luce, quanto più grande è la lente, e tuttavia la confusione dell'immagine è evitata, essendo questi raggi novamente riuniti in un punto solo. Pur troppo però questa condizione non è in pratica possibile ad ottenersi con esattezza assoluta.

Innanzitutto ricordiamo che i raggi provenienti da un oggetto posto ad una determinata distanza, si riuniscono dietro la lente ad una distanza determinata che dipende dalla lunghezza focale della lente: e per ottenere l'immagine nitida di un oggetto, occorre accomodare l'appar-

recchio ottico alla distanza opportuna. Nella camera fotografica, la curvatura dell'obiettivo essendo fissa, occorre cambiare la distanza della lastra dalla lente. L'occhio invece risolve il problema in tutt'altra maniera. Esso è composto, come i moderni obiettivi, di diverse sostanze e superficie rifrangenti. La prima superficie, fortemente incurvata, è formata dalla **cornea**. Dietro a questa, nella camera anteriore dell'occhio, è un liquido: **l'umor acqueo**. Segue poi, come negli obiettivi fotografici, il diaframma, ossia **l'iride**, e subito dietro a questa il **crystallino**, che rifrange la luce più fortemente del sistema ottico anteriore. Il resto della cavità oculare è pure riempita di un liquido trasparente: **l'umor vitreo**. L'intero globo dell'occhio è accolto in una cavità ossea.

La superficie che forma il fondo dell'occhio sulla quale si proietta l'immagine, può essere portata verso il sistema ottico, come pure il sistema ottico verso di essa. Ma l'accomodamento è effettuato solo col cambiare della superficie rifrangente del cristallino, dovendo la cornea, che ricopre esternamente l'occhio e lo protegge, rimanere più che è possibile di forma invariata. A questo scopo il cristallino è fatto di una sostanza elastica, e per l'azione di un muscolo può essere tirato e appiattito, riprendendo poi subito la primitiva forma quando cessa la tensione. Così si può adattare l'occhio per l'osservazione degli oggetti situati alle varie distanze.

Oltre all'inconveniente della variabile distanza focale, le lenti, in confronto alla semplice camera oscura, ne presentano altri molto più difficili ad evitarsi. Su questo

argomento ritorneremo più ampiamente, trattando della luce. Basti qui accennare che, per mezzo di una lente, di un oggetto che faccia con la visuale un angolo un po' forte, è affatto impossibile ottenere una immagine teoricamente perfetta; l'approssimazione di cui ci si può contentare in fotografia è ottenuta con complicate combinazioni di lenti di diverso potere rifrangente; e le più piccole differenze delle superficie dalla forma teoricamente necessaria, sono causa di confusioni le quali o si estendono sull'intera immagine, o, se simmetriche all'asse ottico centrale, crescono dal centro verso la periferia. Si capirà senz'altro che col meccanismo dell'occhio, consistente nella variabile curvatura del cristallino, questo non può assumere mai una forma matematicamente perfetta. L'occhio rinuncia dunque alla nitidezza dell'intera immagine visiva, e si contenta di un campo relativamente piccolo intorno all'asse centrale, dove l'immagine risulta ben marcata. Gli obiettivi fotografici di infima qualità danno una immagine nitida relativamente più grande di quella dell'occhio. Ma a questo svantaggio si contrappone però il grande vantaggio di un maggior angolo di visuale, che può essere ottenuto solamente a scapito della nitidezza dell'immagine. I due occhi insieme ricevono raggi luminosi che fanno tra loro angoli di oltre 180° ; il che non è stato ottenuto con nessun obiettivo di qualsiasi costruzione.

Per il fine che deve conseguire l'occhio come organo dei sensi, non si poteva trovare un migliore adattamento tra vantaggi e svantaggi. È per noi molto più utile vede-

re, anche se non tutto nitidamente, entro un campo visuale molto grande, e poter poi esaminar bene ciò che ci interessa, volgendo l'occhio da quella parte, anzichè veder tutto chiaro un campo più ristretto, che poi in fatto conterrebbe immagini deformate. Essendo tutti gli errori del sistema ottico minimi intorno all'asse centrale, e dovendo perciò noi necessariamente, per la poca chiarezza che si ha lontano dell'asse, portare in questo tutti gli oggetti che si vogliono esaminare bene, ne consegue che le nostre osservazioni visive, appunto per questa imperfezione dell'occhio, sono soggette ad errori molto minori, che se questi difetti ottici fossero meglio compensati.

In corrispondenza a tale disposizione dell'occhio è costruita la **retina**, nella quale vanno a far capo i filamenti nervosi che trasmettono l'eccitamento fino ai centri della coscienza. Questi filamenti nervosi terminano nei cosiddetti **coni e bastoncelli**, come si vedono nella Fig. 13.

Queste estremità nervose degli organi si addensano specialmente intorno all'asse ottico; e ivi si trova un piccolo punto, che si distingue anche esternamente per la sua speciale colorazione, detto la **macchia lutea**, in cui sono solamente i coni che superano in sensibilità alla luce i bastoncelli. In questa macchia giallastra che ha solo circa 0,3 mm. di diametro e comprende appena 1° di angolo di visuale, l'occhio porta l'immagine dell'oggetto che vuole attentamente esaminare. Sebbene questi elementi delle estremità nervose si trovino fittissimamente addensati a centinaia di migliaia, tuttavia ri-

mangono separati tra loro. Quindi anche l'immagine che della nostra retina si trasmette al cervello consta di impressioni separate, ed è «granulata» come quella della lastra fotografica, benchè molto più finamente. Nonostante l'immagine del mondo rimane per noi come un mosaico e non come un tutto connesso e continuo. Se la teoria degli atomisti corrisponde al vero, questa immagine a punti sarebbe meglio corrispondente alla realtà, dell'immagine unita e continua che a noi sembra di vedere.

Ora, è questa disposizione della macchia gialla, combinata coll'imperfezione ottica dell'occhio, quella che ci mette in grado di poter fare misure attendibili, come quelle di cui avremo da valerci continuamente in séguito nelle osservazioni naturali. Tale disposizione ci obbliga ad adoperare sempre la medesima parte del nostro apparato nervoso nel fare le comparazioni di diversissima specie; cosicchè gli errori dell'apparato nervoso figurano in queste comparazioni come differenze costanti nello stesso verso. Se, per esempio, vogliamo confrontare tra loro due campioni di misura, li mettiamo vicinissimi tra loro e facciamo coincidere una linea di divisione dell'uno con una dell'altro. Ciò non significa se non la persuasione da noi acquistata, che spostando lentamente l'asse ottico lungo le due linee, l'impressione luminosa colpisce sempre gli stessi elementi della retina nella macchia gialla.

Confrontando così altre linee di divisione, le quali, pur con osservazioni di coincidenza, sono state segnate sulle misure, si determina di quante unità l'una grandezza differisce dall'altra. L'intera operazione della misura consiste dunque esclusivamente nell'enumerare le volte che una medesima impressione nervosa si ripete sul medesimo punto della retina.

Ma appena ci si allontana da queste esatte comparazioni, nascono errori soggettivi ed inganni ottici di ogni specie, anzi l'occhio diviene come strumento di osservazione altrettanto incerto quanto gli altri sensi.

Ciò si manifesta in modo evidentissimo nelle cosiddette **illusioni ottiche**. Molto conosciuta fra queste è il «paradosso di Zöllner» (Fig. 14). Le linee principali sono esattamente parallele, mentre invece sembrano convergere dalla parte verso cui le linee trasversali divergono. Si hanno qui di fronte due apprezzamenti del senso, l'uno all'altro contrapposti: ma perchè si debba incondizionatamente prestar fede all'apprezzamen-

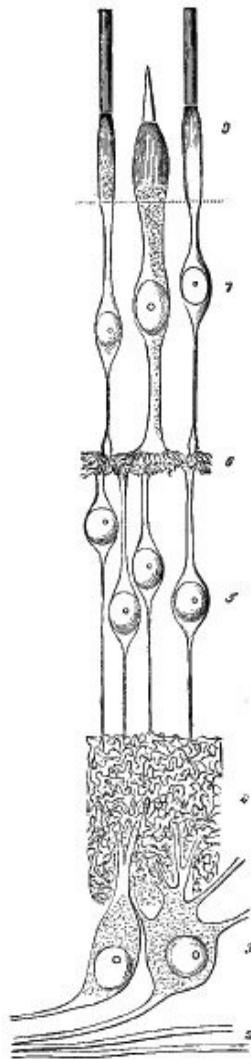


Fig. 13. – I bastoncelli o coni della retina.

to ottenuto col sistema delle osservazioni coincidenti, lo hanno dimostrato le nostre precedenti considerazioni. Due altre illusioni ottiche si hanno nei disegni *b* e *c*. Dei due segmenti di cerchio, si giudica senz'altro più grande il più basso, mentre invece sono perfettamente uguali. Nella fig. *c* l'angolo suddiviso sembra maggiore di quello non diviso, ed è eguale. L'errore ha origine dal fatto, che, così come sono i disegni, sebbene uguali, non possono immediatamente dall'occhio esser portati a coincidere; e si deve quindi, per giudicarli, ricorrere a relazioni di idee, a processi psicologici, che sono soggetti a sorgenti di errori non compensati.

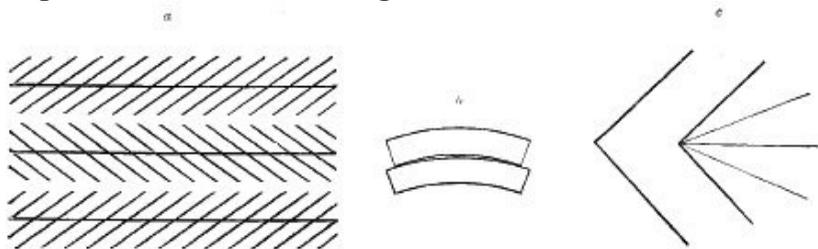


Fig 14. – Illusioni ottiche.

Gli astronomi in certi casi, come nella determinazione della distanza tra le stelle doppie e del diametro dei pianeti, debbono ricorrere a micrometri a filo, nei quali un oggetto, per esempio una stella, deve esser coperta da uno dei fili, e poi un'altra da un altro filo, occorrendo però che la prima coincidenza si sia intanto mantenuta costante, mentre l'una e l'altra non possono insieme trovarsi nel campo della visione distinta. Ne nascono perciò errori sistematici che sono in relazione colla posizio-

ne dell'occhio rispetto al filo. Questi errori spariscono nell'«eliometro», nel quale le due stelle sono fatte coincidere tra loro.

Per questa evidente sicurezza delle osservazioni di coincidenza, si cerca sempre, quanto è possibile, di trasformare gli effetti delle forze naturali in modo da poterle comparare a ridurre ad una osservazione di coincidenza. Su questo principio son costruiti la bilancia, il termometro, e la massima parte degli strumenti che conosceremo in seguito. Anche l'apprezzamento dell'uguale altezza di due suoni, che, l'abbiamo già detto, si può fare con altrettanta sicurezza come se si trattasse di una coincidenza visiva, si fonda sopra un'analogia funzione del sistema nervoso. Anche la determinazione dell'uguale luminosità col **fotometro** parte pur dallo stesso principio: in questo, una superficie è illuminata in due parti, separatamente, da due diverse sorgenti luminose, una delle quali si indebolisce fin tanto che la superficie non appaia tutta illuminata egualmente. Si viene a stabilire che le stesse estremità nervose della retina da tutti i punti della superficie ricevono un eguale eccitamento. Se in questa determinazione fossero interessate zone diverse della retina, evidentemente l'uguaglianza delle impressioni luminose non potrebbe più esser giudicata con sicurezza, anche se queste impressioni sembrassero uguali.

Fin qui, ci siamo riferiti soltanto alla «luminosità» degli oggetti; ma occorre tener conto anche dei colori, che hanno tanta parte nella varietà degli spettacoli naturali, e

che sono anche importante mezzo di ricerca negli studi scientifici. Come si forma fisiologicamente nel nostro occhio l'impressione dei colori, nonostante molti diligentissimi attivissimi studi, non è ancora ben chiarito; non si sa neppure se l'impressione luminosa, sia l'effetto di un processo chimico, come nella fotografia, o di un eccitamento meccanico prodotto dalle onde dell'etere.

Certo, vi è l'azione di un misterioso processo chimico la cui natura ci è ancora sconosciuta. La retina è continuamente irrorata da un liquido purpureo che si scolora rapidissimamente alla luce, di modo che non si può avere in nostra mano al suo stato primitivo. Se si tengono per lungo tempo gli occhi chiusi, si accumula molta di questa sostanza e l'occhio diventa allora più sensibile. Ci si può forse rappresentare così il fenomeno: che questo pigmento retinico, essendo decomposto dalla luce la lasci passare più facilmente accrescendo quindi in quel punto della retina l'eccitamento nervoso. Il pigmento rosso retinico perciò si potrebbe in certo modo paragonare coi liquidi «rinforzatori» della fotografia, ma pare, che non abbia alcuna parte nella formazione delle impressioni dei vari colori. Che queste debbano essere provocate da un processo chimico, teoricamente è difficile a immaginarsi, e tutte le ricerche fisiologiche fatte fin qui stanno a dimostrare il contrario. È piuttosto molto più probabile che nell'occhio si abbia un processo di mescolanza, simile a quello che si usa artificialmente nella «tricromia» o impressione a tre colori, di cui diamo un esempio nella Tav. I. Con tre soli colori, il rosso,

il giallo, l'azzurro, convenientemente mescolati, si ottengono tutte le più fini sfumature di colorazione. Ma, per altro, il concludere solo da questa possibilità pratica che l'immagine dei colori nell'occhio debba in simile maniera essere trasmessa alla nostra coscienza sarebbe certo affrettato, e gli studi fatti a questo proposito non hanno portato a risultati sicuri. È molto notevole il fatto del **daltonismo**, cioè della cecità parziale per alcuno dei colori. Si hanno «daltonisti» per il rosso, per il verde, per l'azzurro, per il violetto, non per il giallo. Al daltonista per il verde, il fogliame di un paesaggio estivo appare in chiaroscuro come in una fotografia; ma appena le foglie cominciano a prendere i colori autunnali, anche per lui divengono colorate. L'aspetto della Natura come appare al daltonista per il verde, corrisponde presso a poco a quello della nostra Tav. I formata solo da due dei tre colori fondamentali della tricromia. Se ora la retina dell'occhio constasse di tre strati di coni, ciascuno dei quali fosse, per così dire, intonato solo per uno dei tre colori fondamentali, la somma delle eccitazioni, diverse per intensità, dei tre strati potrebbe produrre le varie gradazioni di colori, ed i fenomeni di daltonismo si potrebbero spiegare come malattie d'uno di questi strati. Ma le ricerche fatte su questo argomento sono ancora, come abbiamo detto, ben lungi dalla conclusione.

Ma se nelle nostre osservazioni non potessimo basarci che sulla distinzione dei colori per mezzo dell'occhio, molti degli interessantissimi risultati delle investigazioni scientifiche non sarebbero stati possibili, per quanto

l'occhio possa distinguere finissime differenze di tono. È lo **spettroscopio**, che permette nel maggior numero dei casi e nei più importanti, di ricorrere, anche per la distinzione dei colori, al metodo della coincidenza, confrontando le linee dello spettro di diverse sorgenti luminose, misurandole l'una coll'altra secondo la loro posizione. In questa maniera sono stati ottenuti i più meravigliosi risultati della scienza moderna, specialmente circa le proprietà ed i movimenti, del resto affatto invisibili, dei mondi più lontani da noi. Su questo argomento ritorneremo nel capitolo dell'Ottica, per quanto sui risultati dell'analisi spettrale non è stato trattato nell'opera nostra «l'Universo stellato».

Le impressioni della luce e dei colori non si producono istantaneamente nell'occhio, nè cessano subito coll'eccitamento fisico. Ognuno conosce per esperienza queste immagini consecutive. Un oggetto lucente, attaccato a un filo e fatto rotare rapidamente, prende l'aspetto di un cerchio luminoso col raggio del filo; perchè l'impressione del punto in movimento non è ancora cessata in un punto della retina, che la luce ha già cominciato ad eccitare i punti seguenti corrispondenti al cerchio. Questa proprietà dell'occhio nella vita ha praticamente un gran valore; altrimenti noi non avremmo tempo sufficiente a formarci un'idea dalle impressioni luminose di brevissima durata. Ma ne derivano pure molti errori, i cui effetti è bene conoscere. Ognuno può aver fatto l'osservazione, che attraverso i finestrini aperti d'un treno che ci passi davanti incontrandolo in viaggio,

si può vedere il paesaggio dall'altra parte, quasi così bene e senza interruzione, come se il treno non ci fosse; tutt'al più il paesaggio apparirà un po' scuro.

Se dunque dei corpi oscuri passano dinanzi a noi anche solo con una discreta velocità, l'occhio non li avverte, anche se questi corpi hanno delle dimensioni considerevoli. Gli atomi dell'etere, che vibrano d'ogni parte intorno a noi con immensa velocità, potrebbero dunque anche non essere effetto di così straordinaria piccolezza, da sfuggire sempre alla nostra osservazione. D'altra parte, ci si può immaginare che i corpi che noi chiamiamo solidi possiedano delle considerevoli lacune nei loro tessuti molecolari, purchè le loro molecole vibrino con grande rapidità in vario senso, producendo così l'impressione di una superficie continua, nella stessa maniera che la palla roteante attaccata al filo dà l'immagine di un cerchio. Se i movimenti di vibrazione delle molecole sono abbastanza forti e avvengono in tutte le direzioni, può nascere l'impressione d'una relativa impenetrabilità, sebbene queste molecole nello stato di quiete lascino nei corpi lacune abbastanza ampie.

A questi e simili errori noi siamo sempre soggetti, per opera dei nostri sensi. Gli errori li riconosceremo talora per la loro contraddizione ovvero confrontando un gran numero d'impressioni dei nostri sensi, specialmente valendoci di quelle della cui sicurezza abbiamo conferma per mezzo di altre maniere d'osservazione, come col metodo più volte ricordato delle osservazioni di coincidenza. Tuttavia continuamente si scoprono errori, di cui

prima non ci eravamo accorti.

D'altra parte poi un certo numero di fenomeni e di azioni delle forze naturali ci sfugge, perchè azioni e reazioni per i nostri sensi si pareggiano o si annientano addirittura. Un esempio molto dimostrativo, che anche cose vicinissime possono costantemente sottrarsi alla nostra conoscenza, si può trovare nel campo dell'Astronomia. È noto che la Luna volge a noi sempre la stessa faccia. Se nella Luna esistessero esseri intelligenti, i quali per una qualunque causa fossero confinati in quell'emisfero lunare che non si volge mai verso la Terra, essi non avrebbero affatto conoscenza di questo grande pianeta a loro vicinissimo, e che è causa del principale movimento del loro mondo; viceversa, essi vedrebbero bene come noi tutti gli altri corpi celesti. Solo dei ragionamenti logici assai complessi potrebbero rivelare a loro la necessaria presenza di questo corpo celeste più vicino di tutti gli altri; mentre la conoscenza degli altri lontanissimi potrebbe essere già progredita presso di loro come da noi.

È possibilissimo che noi in rapporto a molti fatti naturali siamo in posizione analoga a quella di questi supposti abitatori della Luna. Così, come già si è detto, per migliaia d'anni è rimasta sconosciuta all'umanità la presenza universale dell'Elettricità. La tendenza delle due elettricità a ricongiungersi in equilibrio perdendo così la loro energia, ha una certa analogia coll'uguaglianza del movimento di rotazione della Luna con quello di rivoluzione intorno alla Terra, donde deriva quella singolarità

accennata di sopra.

A parer nostro, in proposito di queste forze celate, grandi sorprese dobbiamo aspettarci, specialmente circa l'azione chimica della luce. Che la luce in certe circostanze eserciti un notevole influsso sui movimenti delle minime particelle della materia le quali determinano le trasformazioni chimiche, è dimostrato a sufficienza. Quali fenomeni prodigiosi la luce può produrre, lo mostra la formazione della clorofilla delle piante e la funzione del rosso retinico. Sempre più numerose, specialmente nel campo della chimica organica, sono le sostanze scoperte sensibili alla luce. Ma è pure possibile che queste sostanze sensibili siano quelle più lentamente decomponibili dalla luce, e che tali si rivelino per la lentezza del nostro senso; mentre può esservi un gran numero di sostanze, così prontamente sensibili alla luce, che al minimo contatto con le onde luminose si decompongano subito assumendo quello stato nel quale soltanto sono a noi conosciute. Vi sono molte ragioni per credere che la parte della luce nella costituzione della materia sia molto maggiore di quel che non si è supposto fin qui. Ma per poter accertare queste idee bisognerebbe inventare metodi chimici di ricerca che si compissero nell'assoluta oscurità. L'occhio, cioè il più sicuro mezzo d'investigazione, è qui affatto impotente. Questi nuovi processi chimici dovrebbero essere elaborati in modo, che le reazioni chimiche potessero riconoscersi solo mediante il tatto, il gusto, l'olfatto e l'udito. Se si trovasse delle reazioni che al buio fossero diverse da quelle fi-

nora conosciute si sarebbe scoperta una sostanza estremamente sensibile alla luce. Si tratterebbe allora di «fissarla», come si fa in fotografia, per poterla esaminare anche alla luce. Solo l'impiego di simili metodi potrà finalmente liberare l'arte fotografica dall'uso dei sali metallici, relativamente grossolani, adoprati fin qui e aprirle la via a progressi insperati.

Ed ora cominciamo a coordinare le impressioni dei nostri sensi, e cerchiamo di formarne un quadro completo della Natura.



Tricromia o stampa a tre colori.

PARTE PRIMA

I Fenomeni fisici e le loro leggi

1. – I grandi movimenti nello spazio celeste.

I fenomeni che per primi cominceremo a considerare debbono essere scelti fra quelli più importanti e appariscenti; e vien subito fatto di pensare a quelli della gravità, come li osserviamo sulla Terra attorno a noi. Ma all'osservazione più profonda, i fenomeni dello spazio celeste risultano ancora più grandiosi; e, sopra tutto, i movimenti dei corpi celesti appaiono più puri e semplici di quelli che avvengono sulla Terra, dove alle stesse forze naturali si aggiungono molteplici cause perturbatrici. Sarà perciò opportuno e utile il cominciare da questi movimenti celesti, come i più semplici di tutti.

Abbiam già detto che la scienza astronomica fa ormai parte da sè, separata dalla vera Fisica; ma se noi intendiamo di dare a questo quadro delle forze fisiche il suo carattere universale e unitario, come è necessità e nostra intenzione, ci conviene in questo punto fornire un cenno della scienza dei movimenti degli astri, per poter poi, dagli spazi infiniti discendendo sulla Terra, seguire nei loro più minuti e svariati effetti quelle stesse forze e leg-

gi che lassù dominano nella loro sublime semplicità.

Come si siano ottenute le cognizioni astronomiche delle quali ora ci dovremo valere, non può qui essere esposto; basti il dire che esse furono il frutto di osservazioni comparate numerosissime, con metodi che eliminano gli errori dei sensi e che portano l'esattezza della conoscenza al più alto grado umanamente possibile.

Queste indagini (delle quali è trattato più distesamente nell'altra opera nostra «L'Universo stellato»¹⁾) han provato che tutti gli astri sono in perpetuo movimento. Del movimento osservato, una parte è apparente e dovuta al moto della Terra nostra, ma una parte è reale, e, per quanto fin oggi possiamo dire, uniforme e rettilineo. Il nostro Sole e gli innumerevoli milioni delle altre Stelle, cioè la quasi totalità della materia a noi conosciuta possiede la forma di movimento che di tutte è la più semplice. L'Universo potrebbe rivelarsi alla nostra mente in aspetto relativamente semplice, se sfortunatamente questi corpi celesti non si trovassero a così enormi distanze da noi, che si perde per noi ogni apprezzamento della direzione generale del movimento; e potrebbe darsi che, in corso di secoli, queste traiettorie apparentemente rettilinee risultassero essere archi di curve non diverse da quelle che vediamo descritte in altri minori e più prossimi movimenti.

Questi movimenti, in apparenza rettilinei, son quelli

1 MEYER, *L'Universo stellato*, trattato di Astronomia popolare, Trad. di O. Zanotti Bianco. Torino, Unione Tip. Editrice.

che han luogo nel regno sconfinato delle stelle, dove miriadi di Soli simili al nostro, affrettano il loro corso verso mete ignote. E se non osservassimo nell'anello misterioso della Via lattea, che anche tutti questi astri spinti da una forza comune volgono secondo quella i loro cammini, potremmo credere che questo movimento rettilineo generale corrisponda allo stato originario della materia; poichè la scienza non è oggi capace di scoprirne una ragione e potrebbe anche attribuire le eventuali eccezioni all'attrazione generale di tutto il sistema della Via lattea.

Noi dobbiamo senz'altro ammettere che fin da principio sia esistita una certa forma di movimento, conformandoci alle dichiarazioni già premesse di non voler discutere l'origine assoluta e prima delle cose. Per noi, dunque, in quel principio che possiamo umanamente pensare, esisteva la materia, e questa aveva un movimento prodotto da cause antecedenti e quindi a noi inaccessibili; oppure, questo movimento rettilineo uniforme è una condizione originaria, tale da non poter essere più cambiata da alcuna azione susseguente.

Noi non possiamo concepire che un corpo il quale si trova in moto, possa perdere questo moto senza che intervenga un'azione esterna; poichè *ogni effetto deve avere la sua causa*, senza di che dovremmo rinunciare a qualunque ricerca. A questo principio fondamentale dell'investigazione scientifica, si accompagna l'altro che *ogni azione è accompagnata da una reazione eguale e contraria*. NEWTON fu il primo a dar forma esatta e a di-

mostrare sperimentalmente questa verità, sebbene essa sia anche di per sè facilmente comprensibile. Così il movimento di un corpo non potrà cessare fino a che non gli si opponga una resistenza proporzionata; cesserà, per esempio, se il corpo suddetto andrà ad urtare con un altro eguale ed egualmente mosso in direzione esattamente opposta, poichè in tal caso tutte le condizioni appaiono manifestamente essere identiche e contrarie le azioni. Da questa fondamentale e necessaria corrispondenza fra cause ed effetti, scaturisce come logica conseguenza la cosiddetta **legge d'inerzia**, secondo la quale: *nessun corpo può cambiare il proprio stato di quiete o di moto finchè non intervenga un'azione esterna*. Un corpo, dunque, non ha maggior ragione di perdere il proprio movimento, che di passare dalla quiete al moto: e nell'un caso come nell'altro occorre una forza esterna.

Ma il primo fatto, cioè, che, un corpo tenda di per sè a conservare il movimento non appariva, nel passato, così evidente come oggi a noi, perchè in realtà non si possono, almeno sulla Terra, osservare esempi di movimenti perpetui; e vediamo i proiettili, qualunque sia la forza che li lancia, cadere al suolo; e ruote o volani, per quanto bene imperniati, rallentarsi nel loro girare e infine fermarsi. A chi non abbia ben chiare le idee in proposito, può sembrare di trovare una contraddizione fra il noto principio che non può esistere il *perpetuum mobile* degli antichi, e la legge d'inerzia la quale afferma ogni movimento essere di per sè perpetuo. Si voglia perciò riflettere che un movimento perpetuo si può ben conside-

rare come possibile in natura, ma alla condizione che il mobile non eseguisca alcun lavoro, cioè non incontri resistenza alcuna al proprio moto; e tale condizione è praticamente impossibile a realizzare in modo assoluto. Il *perpetuum mobile* studiato in varie forme dagli antichi filosofi, sarebbe stato una macchina che generava in sé la forza necessaria a mantenere il proprio moto. Assurdità manifesta per noi, ma che tale non poteva apparire con le idee che dominavano prima di Galileo.

Si credeva allora che il moto dei corpi lanciati, come pietre, frecce e simili, non fosse effetto dell'impulso iniziale conservato, ma che il proiettile ricevesse continuamente dal di fuori la forza necessaria al moto; ossia, nel caso di proiettili lanciati in aria, che fosse l'aria stessa a spingerli o trascinarli. Con tale teoria non si potrebbe capire perchè il proiettile fermato un istante non possa poi continuare la sua corsa².

Le più ampie e complete prove sperimentali della legge d'inerzia le vedremo più avanti; qui vogliamo solo esaminare quanto i movimenti celesti confermino tal principio che accetteremo, provvisoriamente, come un'ipotesi.

I movimenti degli astri che si trovano a tale lontananza dagli altri da poter supporre che sopra di essi non agisca alcun influsso dal di fuori, sono, per quanto abbiamo potuto osservare, rettilinei e uniformi: e possiamo am-

² Ben altre obiezioni si posson fare a questa falsa teoria peripatetica che Galileo ha magnificamente confutata nella seconda giornata dei suoi celebri Dialoghi (N. d. T).

mettere che questi movimenti avvengano solo per legge d'inerzia. Dove invece vediamo muoversi due o più corpi vicini l'uno all'altro, il movimento avviene sempre secondo curve così fatte, che risulta manifesto come il più grande dei corpi tira gli altri verso sè vincolandone i moti. I corpi minori si muovono allora, per lo più, secondo linee curve chiuse, mantenendosi presso a poco ad eguale distanza dal maggior corpo centrale. Nella fig. 15 diamo un esempio di tali curve che relativamente all'astro centrale han la forma di ellissi: sono le orbite delle otto lune di Saturno, come ci si presentano in certe epoche. Per economia di spazio, le maggiori sono state disegnate solo in parte.

Convien subito dire che questa forma delle orbite è in parte dovuta alla prospettiva secondo cui noi le vediamo, e in parte alle leggi fisiche da cui dipendono quei movimenti e che ora occorre conoscere un po' a fondo.

Qualunque corpo di forma circolare, un piatto per esempio, ci appare come un'ellisse se lo guardiamo obliquamente; e l'ellisse è tanto più schiacciata quanto più è inclinata la direzione della nostra visuale sul piano del piatto: ma anche un oggetto di per sè ellittico come sarebbe un vaso, osservato obliquamente apparirà pure ellittico. Si capirà facilmente come si abbiano metodi atti a distin-

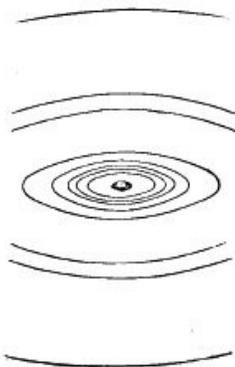


Fig. 15. Orbite dei satelliti di Saturno.

guere quanto, in una così fatta apparenza, sia da attribuirsi alla prospettiva, il cui effetto è il medesimo in qualunque direzione, e quanto alla forma reale. Così, per esempio, si è potuto riconoscere che le orbite dei satelliti di un medesimo pianeta, che ci appaiono tutte come ellissi egualmente disposte, debbono questa loro forma principalmente all'accorciamento della prospettiva; mentre, in realtà, le orbite sono quasi perfettamente circolari, e le loro dimensioni effettive possono perciò calcolarsi da quelle apparenti. Per tal ragione, la forma delle otto orbite dei satelliti di Saturno cambia secondo la posizione della nostra Terra.

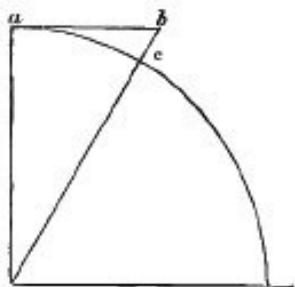


Fig. 16. – Effetto dell'inerzia e dell'attrazione nel movimento di un satellite.

avrebbe in un certo tempo percorso il tratto ab (fig. 16) è invece, per effetto di essa, deviato secondo l'arco di cerchio ac , e il tratto bc dà quindi una misura della forza d'attrazione, in quanto esso rappresenta la caduta del satellite verso il pianeta nell'intervallo di tempo considerato. La velocità di caduta g (che chiameremo poi *accelerazione*) può esser determinata con metodi puramente geometri-

Ora, quei movimenti circolari han luogo intorno all'astro principale e sotto l'influsso di una forza d'attrazione che da esso emana, per cui il loro movimento originariamente rettilineo è in ogni istante deviato di una determinata quantità. Mentre il satellite senza quella tale attrazione

ci, quando si conoscano il raggio r della orbita e il tempo T impiegato a percorrerla (rivoluzione); a ciò serve la formula semplicissima

$$g = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

dove π è il noto rapporto della circonferenza al diametro, cioè 3,14159....., r può essere espresso in metri, T in minuti secondi, e conseguentemente g in metri al secondo.

Per i satelliti d'un pianeta r e T son dati direttamente dall'osservazione. Basta determinare l'intervallo di tempo nel quale il satellite torna dalla stessa parte, nella posizione corrispondente alla massima sua distanza dal pianeta (elongazione), e misurare tale distanza, per esempio, in parti eguali al raggio apparente del pianeta.

Ecco qui le cifre relative ai quattro antichi satelliti di Giove: solo avvertiamo che per non avere per g numeri troppo piccoli in confronto agli altri, si è espresso il tempo T in giorni anzichè in secondi.

	T	r	g
I	1,7691	5,933	74,83
II	3,5512	9,437	29,56
III	7,1545	15,057	11,61
IV	16,6890	26,486	3,75

I valori di g (come vedremo meglio più avanti) son

proporzionali agli spazi bc (vedi figura 16) che ciascun satellite percorre in un dato intervallo di tempo, verso il pianeta, e son quindi proporzionali alla forza attrattiva di Giove. Dunque, quei numeri devono avere una relazione che conviene cercare per conoscere la legge di questa forza. Si vede intanto che i valori di g diminuiscono molto col crescere della distanza; cosa che non ci deve meravigliare, abituati come siamo a veder diminuire l'intensità di altri fenomeni fisici, suono, luce, ecc., coll'allontanamento della causa, e che anzi avvalora la nostra presupposizione di una forza centrale emanante dal pianeta. Supponiamo, come prima ipotesi, che questa forza attrattiva decresca in ragione della distanza: allora dovremmo avere per i primi due satelliti la proporzione:

$$\frac{g_1}{g_2} = \frac{r_2}{r_1} \quad ; \quad \text{Ma} \quad \frac{g_1}{g_2} = \frac{74,83}{29,56} = 2,532 \quad \frac{r_2}{r_1} = \frac{9,437}{5,933} = 1,591$$

Dunque l'ipotesi fatta non si accorda col risultato delle osservazioni (anche se facciamo lo stesso calcolo con gli altri satelliti); e bisogna farne un'altra. Si può a tal fine osservare che 2,532 è il quadrato di 1,591, ciò che condurrebbe a stabilire la proporzione

$$\frac{g_1}{g_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} \quad \text{che si può anche scrivere} \quad g_1 r_1^2 = g_2 r_2^2 \quad .$$

Se questo non è un caso fortuito, tale relazione deve

valere anche per gli altri satelliti, ossia, deve essere eguale per tutti e quattro il prodotto gr^2 : ed è infatti così, e si trova per tutti in cifra tonda $gr^2 = 2633$. Dunque l'attrazione di Giove sopra i suoi satelliti diminuisce in ragione del quadrato delle loro distanze.

Se nella relazione $\frac{g_1}{g_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$ poniamo i valori di g_1 e g_2 ricavati dalla formula sopra citata otterremo:

$$\frac{g^1}{g^2} = \frac{4\pi^2 r_1}{T_1^2} : \frac{4\pi^2 r_2}{T_2^2} = \frac{r_1 T_2^2}{r_2 T_1^2} \quad \text{e quindi} \quad \frac{r_1 T_2^2}{r_2 T_1^2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

$$\text{ovvero} \quad \frac{r_1^3}{r_2^3} = \frac{T_1^2}{T_2^2} .$$

Dall'ultima proporzione si conclude che i *quadrati delle rivoluzioni stanno fra loro come i cubi delle distanze del pianeta*; che è appunto la terza delle celebri leggi scoperte da KEPLERO, il grande riformatore dell'astronomia, leggi che hanno avuto piena conferma in tutti i movimenti celesti osservati finora. Non solo i dodici numeri della nostra piccola tabella, ma centinaia e migliaia di osservazioni del movimento dei satelliti attorno ai pianeti, e dei pianeti attorno al Sole, provano la verità delle nostre due presupposizioni le quali diventano perciò leggi fondamentali, e cioè: 1.° I corpi conservano perpetuamente il loro iniziale movimento uniforme e rettilineo fino a che non interviene una forza esterna. 2.°

Fra due corpi si esercita una forza di attrazione che diminuisce in ragione del quadrato della loro distanza.



Fig. 17. – Giovanni Keplero.
Incisione di I. von Heyden.

Noi abbiamo rivolte le prime nostre indagini ai fenomeni del cielo, supponendo che le forze naturali le quali vogliamo studiare estesamente nei loro effetti terrestri (e si farà nel 2.^o capitolo), dovevano lassù agire e rivelarsi in maniera più semplice e perciò più facile. E dovendo presto confrontare i risultati di queste osservazioni con quelli

che otterremo dallo studio degli oggetti terrestri, ne apparisce la necessità di ridurre ed esprimere le grandezze misurate, nelle medesime unità: per esempio, il numero costante 2633 trovato or ora è riferito, come abbiamo detto, ad unità di lunghezza eguali al raggio di Giove; ora conviene ridurlo alla nostra unità di lunghezza, che è il metro. Ed ecco come.

Si può dimostrare per via geometrica che il raggio terrestre, veduto dal Sole, apparirebbe compreso in un arco o angolo di 8,85 secondi (parallasse solare); il rag-

gio del Sole ci apparisce invece, alla diretta misurazione, 108,7 volte più grande, e ne dobbiamo concludere che esso è realmente maggiore di quello della Terra in questa proporzione. Poichè poi, dalle misurazioni geodetiche, risulta essere il raggio medio della terra 6.377,400 metri, otterremo la lunghezza del raggio del Sole moltiplicando questo numero per 108,7; ciò che fa 693,140 chilometri. Così si può fare per qualunque corpo celeste, di cui sia nota la distanza da noi: e si trova, per esempio che il raggio di Giove è 11.06 volte quello della Terra ossia km. 70,350. Per questo numero si devono moltiplicare i valori di r della tabellina riportata sopra; poi, per mezzo della formula data, calcolare i valori di g che esprimono la forza d'attrazione di Giove alle distanze a cui si trovano rispettivamente i suoi satelliti.

Sarà bene, per poter confrontare fra loro le forze attrattive dei diversi corpi celesti, riferirle tutte ad una medesima distanza, e prenderemo tale distanza eguale al raggio terrestre $R = 6,377,400$ metri. Continueremo ad esprimere la durata di rivoluzione T in giorni; e il numero corrispondente in minuti secondi, si avrà moltiplicando T per $K = 86,400$ (numero dei secondi di un giorno); ed r sarà espresso in metri. Allora essendo $g = \frac{4\pi^2 r}{K^2 T^2}$ il valore corrispondente alla distanza R , e che indichiamo con G , sarà dato dalla relazione:

$$\frac{G}{g} = \frac{r^2}{R^2} \quad \text{da cui} \quad G = g \frac{r^2}{R^2} = \frac{4\pi^2 r^3}{K^2 T^2 R^2}$$

esprimendo con f il fattore costante $f = \frac{4\pi^2}{K^2 R^2}$ avremo

$G = \frac{fr^3}{T^2}$; dove G è data in metri al minuto secondo,

ed esprime la velocità che il corpo in questione acquisterebbe in un minuto secondo per effetto dell'attrazione dell'astro centrale, supponendolo portato ad una distanza dal centro di detto astro, eguale al raggio terrestre³.

In tal modo troveremo per il primo satellite di Giove, che si chiama Io, il valore $G = 3047$. Per il primo satellite di Saturno, Titano, che dista dal centro del pianeta di 190,2 raggi terrestri, e fa il giro in giorni 15,945, troviamo $G = 91,23$; numero molto minore che prova essere la forza attrattiva di Saturno minore di quella di Giove nel rapporto di 91.23 a 3047. Veniamo alla nostra Terra, per la quale conosciamo la distanza dal Sole, che è 2331 raggi terrestri, e il tempo impiegato a fare il suo giro annuale, che è giorni 365,26. Da questi numeri risulta $G = 3,201,000$, numero smisuratamente più grande di tutti gli altri. Similmente possiamo fare il medesimo calcolo

³ Ciò non apparisce possibile quando l'astro abbia un raggio maggiore della Terra; bisogna allora, anche supporre che la materia costituente l'astro venga condensata in un volume eguale a quello della Terra (N. d. T).

per la Luna, che, alla distanza di 60,275 raggi terrestri, compie il suo giro intorno a noi in 27,32 giorni; ciò che dà per G il valore 9,89: tale, dunque, risulta il valore dell'attrazione terrestre sulla luna, computata alla distanza $R = 6,377,400$ m. dal centro terrestre, ossia alla superficie della Terra.

Ma il Sole non attira solo la Terra, bensì parecchi altri simili pianeti (per i quali, facendo il calcolo medesimo che abbiamo fatto per la Terra, si trova concordemente il valore $G = 3,201,000$). E la Terra fa sentire la sua attrazione (misurata da 9,89) non soltanto sulla Luna, ma su tutti i corpi celesti circostanti e perciò anche sul Sole; per cui l'attrazione del Sole sulla Terra dovrebbe essere diminuita dell'ultimo numero. Ma il numero trovato per il Sole, $G = 3,201,000$, è enorme di fronte al secondo e fu calcolato con un'approssimazione non inferiore a 1000 unità; per cui la sottrazione risulta inutile e illusoria. Invece, l'esperienza prova che fra le attrazioni reciproche della Luna e della Terra, la sproporzione non è così grande, e precisamente risulta che l'attrazione della Luna sulla Terra (al centro di questa) è misurata da 0,121. Togliendo questo numero da quello trovato per misura dell'attrazione terrestre, si ottiene $g = 9,77$, numero che dovremo poi ritrovare con le osservazioni terrestri. Così dagli spazi celesti siam discesi alla superficie della Terra, dove avremo da seguitare le indagini a riprova delle nostre ipotesi.

Ulteriori ricerche matematiche e meccaniche ci mostrano che le orbite ellittiche (o più generalmente le cur-

ve di sezioni coniche) che gli astri descrivono l'uno intorno all'altro sono conseguenza immediata delle ipotesi fisiche da noi premesse; e possiamo perciò raccogliere i risultati di queste ricerche nelle seguenti leggi:

1.° Ogni corpo che non sia soggetto all'azione di un altro si muove di moto uniforme, rettilineo, invariabile.

2.° Un corpo deviato dal suo originario cammino per l'azione di un altro corpo, seguirebbe a muoversi in linea retta, se tale azione cessasse; e la direzione del movimento e la velocità sarebbero quelli corrispondenti al punto della sua orbita, in cui si trovava quando è cessata l'azione.

3.° Se un corpo si muove sotto l'influsso di una forza centrale, il raggio vettore condotto dall'astro centrale al pianeta descrive aree eguali in tempi eguali.

4.° Tutti i corpi celesti, per quanto possiamo conoscere, si attraggono con forze le quali decrescono in ragione del quadrato della distanza.

5.° Tutti questi corpi si muovono gli uni intorno agli altri, descrivendo orbite che sono sezioni di cono (ellisse, iperbole, parabola), e in uno dei fuochi si trova uno dei corpi stessi.

6.° Se più corpi si aggirano intorno ad un altro, i quadrati dei tempi delle loro rivoluzioni stan fra loro come i cubi degli assi maggiori delle loro orbite.

7.° Per la nostra Terra, la forza attrattiva ha alla sua superficie e sull'Equatore il valore $g = 9,77$: cioè, un corpo che ivi cada, acquista, per ogni minuto secondo della sua caduta, la velocità di 9,77 metri al secondo.

Nel seguente capitolo studieremo gli effetti di queste forze e le conseguenze di questi leggi, nei fenomeni che ci circondano sopra la Terra.

2. – La gravità.

a) Le leggi della caduta dei corpi.

La forza di attrazione degli astri, di cui abbiamo cercato la legge, si rivela alle nostre più sottili indagini come una quantità assolutamente costante per ciascun corpo celeste. Noi siamo in grado di affermare tale costanza colla massima esattezza, poichè vediamo rimanere invariata la velocità degli astri nelle loro orbite, la quale dipende appunto da questa forza d'attrazione. Perchè, se cambiasse la velocità, cambierebbe anche il tempo impiegato in un giro, tempo che si può determinare con grandissima precisione.

A ciò, si procede come a confrontare due orologi. Se un orologio, in confronto ad un altro, fa una differenza anche di un solo secondo al giorno, in due mesi esso avrà già fatto un minuto, cosicchè basterà la lancetta dei minuti a far rilevare con esattezza questo piccolissimo errore. Le due celesti lancette d'orologio che sono per noi il Sole e la Luna, ci indicano l'istante preciso nel quale esattamente s'incontrano nell'immensa mostra della volta celeste, quando cioè accade il fenomeno di

un'eclisse di Sole: fatto che non può agli uomini, e neppure agli animali, passare inosservato, tanto che noi lo troviamo descritto anche negli annali dei popoli più antichi. Noi abbiamo dunque, per base delle nostre ricerche, un periodo di almeno 4000 anni, per assicurarci della perfetta costanza di questi movimenti. Risulta invero da accuratissimo esame, che la Luna accelera un pochino il suo movimento, di circa 11 secondi in 100 anni, il che porta per ciascuna lunazione una diminuzione di otto millesimi di secondo. Se questa accelerazione del movimento della Luna fosse veramente l'effetto di una variabilità della forza di attrazione del nostro pianeta, questa, cioè il numero indicato con g , dovrebbe aumentare di circa $\frac{1}{10}$ di millimetro ogni 100 anni. Questa variazione estremamente piccola è però già un «maximum» rispetto a quelle che potrebbero sfuggire alla nostra osservazione; mentre, d'altra parte, si hanno diverse spiegazioni di questa accelerazione del movimento della Luna, e avremo occasione di ritornarci.

Questa invariabilità della forza d'attrazione dei corpi celesti induce in noi la convinzione che noi possiamo ritrovarne gli effetti anche sulla Terra, se la materia che la costituisce e che ci circonda non è differente, per la sua struttura fisica, da quella dei corpi celesti. Se i corpi

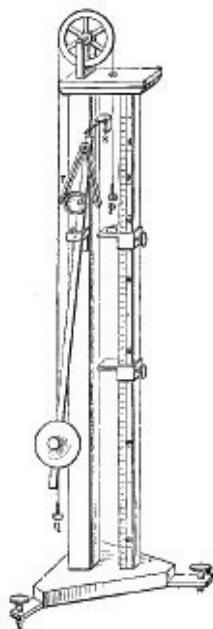


Fig. 18.
Macchina di
Atwood.

terrestri sono soggetti alla forza d'attrazione della Terra, così come i corpi celesti, noi potremo facilmente verificarlo e potremo anche calcolare come dovranno muoversi, in certe date condizioni, sotto l'azione di questa forza. Prendiamo, ad esempio, una pietra e mettiamola in condizione di muoversi liberamente, lasciandola cadere; essa nel primo secondo deve percorrere andando verso il centro della Terra uno spazio uguale a $\frac{g}{2} = 4,89 m.$, e ciò è confermato dalla realtà, come noi

tosto vedremo. Sono stati costruiti degli apparecchi, detti macchine per la caduta dei gravi, colle quali si posson misurare gli spazi percorsi e la velocità della caduta; una di queste macchine è disegnata qui accanto (fig. 18). Ad una piccola carrucola molto mobile sono attaccati con un filo due pesi uguali p e q , che si bilanciano tra loro. Aggiungendo a p un piccolo soprappeso, questo trascinerà in basso con sè p , benchè con minor velocità che nella caduta libera, essendo il solo soprappeso attivo fra tutti e tre i pesi che si muovono; e si può così rallentare la velocità di caduta a piacer nostro. Per far cominciare il movimento si abbassa il sostegno S , sul quale prima stava il peso p : contemporaneamente, il pendolo dei secondi, che era tenuto fermo per mezzo del sostegno medesimo, comincia od oscillare, e si può contare il tempo impiegato nella caduta, come misurare lo spazio percorso, sulla scala graduata accanto. Dai risultati trovati in queste condizioni, si possono ricavare i valori

della velocità e dello spazio, quali sarebbero nella caduta libera. I risultati ottenuti in questo modo sono, a dire il vero, differenti l'uno dall'altro; come pure differiscono dal valore già da noi assegnato a g per mezzo delle osservazioni astronomiche. Ma, già fino da questi primi nostri esperimenti, dobbiamo riconoscere che le condizioni fisiche dei fenomeni che avvengono sulla terra sono ben lontane dalla semplicità e purezza dei movimenti celesti. Noi avremo da tener conto di una gran quantità di influssi perturbatori, per poter arrivare a metter perfettamente d'accordo il valore di g , ottenuto per via di osservazioni astronomiche, con quello trovato sperimentalmente.

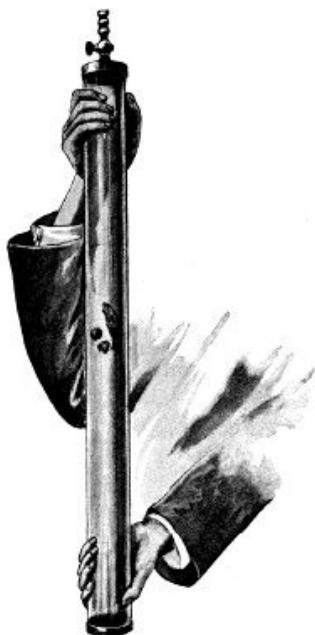


Fig. 19. – Caduta dei corpi nel vuoto.

Innanzitutto, è evidente che l'aria la quale si trova intorno ai corpi terrestri, oppone alla loro caduta una resistenza diversa secondo i diversi corpi. I corpi che noi chiamiamo leggeri, cadono più lentamente di quelli pesanti. Ma prendiamo dei corpi leggeri, ed altri pesanti, ad esempio, una piuma, una pallina di midolla di sambuco e una pallina di piombo, e mettiamoli insieme dentro un tubo di vetro dal quale noi toglieremo l'aria; allora li vedremo cadere entro il tubo con uguale velocità (fig. 19). Noi

dobbiamo perciò, nei nostri esperimenti sulla caduta dei corpi, eliminare il più che è possibile l'influenza della resistenza dell'aria o, per lo meno, cercare di conoscerla e computarla.

Non mette qui il conto di spiegare come si possa a ciò arrivare per mezzo delle ricerche sperimentali sopra descritte; perchè impareremo presto un altro metodo col quale si può trovare, con molto maggiore esattezza e speditezza, il valore di g . Ma abbiamo intanto imparato che la velocità di caduta di un corpo non dipende dalla sua grandezza e dal suo peso; e se ne deve concludere che anche la stessa Luna, trasportata sopra la terra, cadrebbe come i corpi terrestri e, nel primo secondo di caduta, percorrerebbe lo stesso spazio della pietra che noi lasciamo cadere dalle mani, o della piuma nel tubo di vetro vuoto d'aria.

Ma, nei minuti secondi seguenti, i corpi non cadono colla medesima velocità, percorrendo sempre in ciascun secondo lo spazio $\frac{g}{2}$; perchè ciò accadesse, dovrebbe dopo il primo secondo, cessare l'azione delle forze di gravità, e allora il corpo seguirebbe, per effetto della legge di inerzia, a muoversi ininterrottamente colla velocità acquistata alla fine del primo minuto secondo.

Questa velocità non è certo $\frac{g}{2}$: questo numero, che esprime lo spazio percorso nel 1° secondo, non può corrispondere che alla velocità media di caduta in questo intervallo di tempo, ossia alla media aritmetica fra la ve-

locità iniziale che è nulla e quindi eguale a 0, e quella finale che è g . Difatti $\frac{0+g}{2} = \frac{g}{2}$.

Noi siamo dunque in accordo coi risultati delle nostre ricerche astronomiche: durante il 2° secondo, il corpo, senza l'azione della forza di gravità, si muoverebbe verso la Terra con la velocità g , cioè con quella che aveva alla fine del 1° secondo. Ma oltre allo spazio g che percorre per inerzia, l'attrazione terrestre la porta più oltre ancora di $\frac{1}{2}g$ come nel 1° secondo: esso dunque percorre, durante il 2° secondo, lo spazio $g + \frac{1}{2}g = \frac{3}{2}g$; ed il totale spazio percorso fino dal principio del movimento è $\frac{1}{2}g + \frac{3}{2}g = 2g$. La velocità alla fine del 2° secondo, sarà dunque $2g$. La forza di attrazione fa crescere questa velocità durante il 3° secondo in modo che il corpo percorre uno spazio $\frac{g}{2}$ in più, ossia $2g + \frac{g}{2} = \frac{5}{2}g$; e la velocità finale risulta $3g$ e lo spazio totale $\frac{9}{2}g$. Così continuando, troveremo sempre regolarmente che, dopo t secondi di libera caduta, la velocità acquistata è $v = g t$ e lo spazio percorso è $s = \frac{1}{2} g t^2$. Un movimento di tale specie si chiama **uniformemente accelerato**, e g ne misura l'*accelerazione costante*. Considerando qui g come invariabile, dopo i risultati delle nostre ricerche astronomiche, noi commettiamo, invero, un errore, poichè g

deve aumentare col quadrato della distanza dal centro della Terra. Tuttavia, in pratica, non possiamo sperimentare su degli spazi di caduta così grandi, da dover prendere in considerazione la variazione della distanza del centro della Terra, durante la caduta; perciò è permesso di trascurarla e di considerare g come costante, a meno che non si tratti di particolari ricerche sulle quali ritorneremo.

Noi abbiamo dunque trovato le due principali leggi della caduta libera dei gravi, le quali possono così enunciarsi:

1 ° La velocità finale di un corpo cadente liberamente alla superficie della terra è proporzionale al tempo della caduta, ed è espressa dalla formula $v = g t$.

2° Lo spazio percorso nella caduta è proporzionale al quadrato del tempo impiegato, ed è dato dalla formula

$$s = \frac{g t^2}{2} .$$

Quale enorme velocità debba prodursi in poco tempo per questo movimento illimitatamente accelerato, noi lo vediamo facilmente da queste formule, e ce lo mostra praticamente il grande impeto con cui i corpi cadenti da altezza considerevole incontrano la terra. Per esempio, una delle massime velocità, cui noi possiamo giungere coi proiettili da guerra è di circa 600 m. al secondo; un corpo cadente avrebbe già dopo 61 secondi, cioè poco più di un minuto primo, una velocità e una forza eguale a quella di questi proiettili. Vero è che il corpo, per poter cadere liberamente durante sì lungo tempo, dovrebbe,

secondo le nostre due formule surriportate, essere inalzato e poi lasciato andare ad un'altezza di $18\frac{1}{2}$ Km. dal suolo; il che, considerato dal lato della possibilità pratica, corrisponde a un grandissimo lavoro che più facilmente viene ottenuto con l'esplosione della polvere da fuoco.

A questo proposito, si può qui anche ricordare che la resistenza dell'aria che per i comuni movimenti è quasi trascurabile, cresce in proporzioni inaspettate per le velocità straordinarie, cosicchè finisce con arrestare completamente i più grandi movimenti. Ne abbiamo una prova in quei corpi cosmici che penetrano come proiettili nella nostra atmosfera, con velocità di molti chilometri al minuto secondo, e precipitano alla superficie della Terra: sono i bolidi o aereoliti. Ma essi incontrano il suolo con impeto non maggiore che se cadessero solo dall'altezza di poche centinaia di metri. Tutta la restante velocità è andata perduta in causa della resistenza dell'aria; e, siccome l'energia che essi avevano in sè non può scomparire, si cambia in un violento riscaldamento, per cui questi corpi ci arrivano roventi e anche parzialmente fusi.

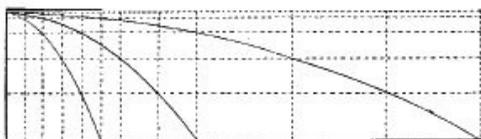


Fig. 20. – Parabole di caduta.

Non dobbiamo ora trovare alcuna difficoltà a prevedere il cammino di un corpo non più liberamente

cadente, ma a cui noi diamo una certa velocità, perpendicolare alla direzione della caduta, nell'atto che lo lan-

ciamo orizzontalmente con una data forza, come accade di una pietra lanciata o di un proiettile. Il calcolo matematico dimostra che la curva descritta deve essere una parabola. Nella fig. 20 son disegnate tre di tali parabole, e in alto, a sinistra, son rappresentate le corrispondenti velocità iniziali. Colla conoscenza del valore della accelerazione g , si può, data la velocità iniziale di un proiettile, determinare esattamente la traiettoria del suo corso, come quella di un corpo celeste; e le esperienze di precisione che si fanno a scopo militare, dimostrano la piena validità delle leggi. Certamente, la determinazione teorica della resistenza dell'aria presenta sempre grandissime difficoltà, tantochè questi esperimenti di balistica, per quanto si facciano continuamente e in gran numero, non danno risultati di tale esattezza, da poter risolvere in qualche modo la questione della variabilità di g . Dobbiamo cercare altri metodi per conoscere con sicurezza se questa forza di attrazione osservata nei corpi celesti, vale, con la stessa legge e senza variazioni, anche per i corpi terrestri.

b) Variazione della gravità secondo la latitudine.

L'astronomia ci insegna che il globo terrestre ruota sopra se stesso, facendo un giro in un giorno. Tutti gli oggetti che si trovano sull'Equatore descrivono quindi una linea circolare intorno al centro della Terra, e la loro velocità che si può trovare dalla formula $V = \frac{2\pi R}{T}$, ri-

sulta di m. 464 al minuto secondo. Una pietra tenuta libera sopra la mano, volerebbe via con questa grande velocità, pari a quella dei più veloci proiettili, se questo movimento di rotazione della Terra, improvvisamente si arrestasse⁴. A questa forza detta «tangenziale» o «centrifuga», che si trova in ogni corpo a causa del movimento rotatorio della Terra, deve necessariamente contrapporsi un'altra forza; e se non ci fosse la forza di attrazione ogni oggetto che si trova all'Equatore dovrebbe evidentemente sollevarsi dalla superficie della Terra con una velocità corrispondente a questo impulso tangenziale.

Questa forza è misurata dall'espressione $\frac{V^2}{R}$ che nel nostro caso dà metri 0,0337. La rotazione della Terra agisce dunque in senso contrario alla gravità e deve essere sottratta da questa, cioè da 9,77. Di fatti le misure fatte all'Equatore danno $g = 9,74$. Ai poli, invece, i corpi terrestri non hanno alcun movimento rotatorio, e perciò la forza effettiva dell'attrazione terrestre deve crescere dall'Equatore verso il Polo ed aver valore diverso in ciascun punto intermedio della superficie terrestre. La legge di questa variazione, che a noi occorre conoscere per poter seguire con maggior precisione gli effetti della gravità, sarebbe facile a determinarsi, se non vi si aggiungesse una complicazione col fatto messo in chiaro, che la Terra è di forma alquanto irregolare, cioè, appiattita verso i poli.

⁴ Bisognerebbe però impedire che il sostenitore della pietra non le volasse dietro con eguale rapidità. (N. d. T.).

La grandezza di questo schiacciamento si può facilmente trovare, supponendo la terra fluida. Tutti i corpi avrebbero, abbiám visto, una accelerazione di caduta maggiore ai Poli di m. 0,0337 che all'Equatore, se la Terra fosse una sfera perfetta avente, cioè, in ogni punto il raggio che abbiám trovato per l'Equatore. Sopra una tale sfera, le parti mobili e specialmente lo strato delle acque marine non potrebbe essere in equilibrio se non distribuendosi in maniera da inalzarsi presso l'equatore in proporzione di questa diminuzione del loro peso, ivi portandosi ad una distanza maggiore dal centro terrestre che presso i poli. Noi avremmo così, almeno approssimativamente, lo schiacciamento della Terra misurato dal rapporto $\frac{0,0337}{9,77} = \frac{1}{290}$, numero che in realtà si avvicina molto a quello trovato per mezzo di misurazioni dirette. Il raggio terrestre sarebbe, dunque, più piccolo ai Poli che all'Equatore di $6.377,400 : 290 = 22,000$ m. Misure più esatte ci danno 21,300 m. La forma della Terra è perciò un **ellissoide di rotazione**, le cui sezioni perpendicolari all'Equatore sono ellissi che hanno per loro asse maggiore il diametro terrestre equatoriale, per asse minore il diametro polare. L'eccentricità di queste ellissi è 0,082.

Quanto più noi ci avviciniamo al Polo, tanto più ci avviciniamo anche al centro della Terra. E poichè abbiám veduto che la forza di attrazione varia in ragione inversa del quadrato della distanza da questo centro, ne segue che anche per questa circostanza, cresce il valore

di g con la latitudine. Per valutare insieme l'effetto di queste due forze, cioè l'attrazione terrestre e la forza centrifuga, ci occorre di conoscere la distanza di un punto qualsiasi della superficie della Terra dal centro di questa. Chiamando ρ questa distanza, l'eccentricità dell'ellissoide la latitudine geografica φ , si trova facilmente e con bastante approssimazione per il nostro scopo $1 - \rho^2 = e^2 \text{sen}^2 \varphi$. Il di più dell'attrazione terrestre, dovuto all'effetto della forma della Terra, verso il Polo, è dato da $g \cdot e^2 \text{sen}^2 \varphi$. E si dimostra finalmente, introducendo la correzione per la forza centrifuga, che l'attrazione terrestre per una qualunque latitudine è espressa dalla formula $g = 9,78062 + 0,05086 \text{sen}^2 \varphi$. La differenza di m. 0,05 nell'accelerazione della caduta farebbe sì che i nostri più rapidi proiettili andrebbero, al Polo, per circa 200 metri meno lontani che all'Equatore. Ma nei limiti di latitudine, nei quali son fatti gli accurati esperimenti balistici, questa differenza rimane tanto piccola, da non poterne praticamente ricavare nulla di sicuro relativamente alla variazione della gravità con la latitudine.

c) Il pendolo.

A misurare con grandissima esattezza questa grandezza fondamentale serve uno strumento semplicissimo, il pendolo: modesto apparecchio che si trova in quasi tutte le abitazioni e che ha fornito al fisico ed al geometra le più esatte cognizioni sopra un gran numero di cose re-

condite. Un oggetto qualunque, per esempio una palla di metallo attaccata ad un filo, costituisce un pendolo. Nella posizione di riposo tale apparecchio è il comune filo a piombo, in cui il filo ci dà la direzione della verticale, che è quello del centro della Terra: allontanato, invece, da tale posizione e abbandonato al suo libero movimento costituisce il pendolo. Di tale meraviglioso strumento noi vogliamo ora studiare il movimento, e far vedere come esso dipenda da quelle leggi della gravità che abbiamo fin qui esaminate.

Ci riferiamo ad un pendolo ideale, al cosiddetto *pendolo semplice* che oscilli intorno al suo punto d'attacco *a* secondo un certo arco di cerchio. Un tal pendolo non deve incontrare nessuna resistenza al movimento, nè intorno al punto d'attacco, nè per l'aria circostante; di più il filo non deve aver peso. La palla appesa al filo obbedisce all'attrazione terrestre, per quanto il filo lo consente. Lasciato libero, esso discende al punto più basso percorrendo un arco di cerchio e impiegando in questo cammino un tempo certamente più lungo di quel che impiegherebbe per cadere liberamente dalla medesima altezza secondo la verticale; e questo tempo diverrà tanto maggiore quanto più lungo sarà l'arco della discesa, o, ciò che è lo stesso, quanto maggiore sarà la lunghezza del pendolo, che noi d'ora in avanti indicheremo con *l*; perciò, se facessimo estremamente lungo il pendolo, l'arco diverrebbe, sempre meno diverso da una linea orizzontale, e la palla tenderebbe a non più muoversi. Vediamo, ora, come il tempo impiegato dal pendolo a

compiere una oscillazione, fra le due posizioni estreme dipende dalla lunghezza l .

L'analisi matematica ci fornisce l'espressione
$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \left(1 + \frac{1 - \cos \alpha}{8}\right)$$
 dove l è la lunghezza del pendolo, ed α la metà dell'arco che misura l'oscillazione, ossia l'angolo di spostamento del pendolo dalla sua posizione di riposo. È facile vedere che l'ultimo termine a destra è dipendente solo dall'angolo α , e pochissimo diverso da 1, finchè il detto angolo rimane molto piccolo.

Avendo cura in questi esperimenti di dare al pendolo solo piccoli spostamenti di pochi gradi, si può completamente trascurare nella formula sopra indicata il fattore dipendente da α , ed otteniamo allora la semplicissima formula $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ che ci dà il valore della durata di oscillazione di un pendolo in rapporto alla sua lunghezza. Questa relazione trovata con mezzi puramente matematici ci rivela importanti proprietà del pendolo, che si possono tutte verificare sperimentalmente.

In primo luogo ci dimostra che il tempo che il pendolo impiega in una oscillazione, è quasi indipendente dall'altezza alla quale si porta il pendolo per iniziare il movimento, ossia dall'ampiezza dell'oscillazione, purchè questa sia abbastanza piccola. Se prendiamo due pendoli d'uguale lunghezza e li spostiamo dalla loro posizione di riposo, l'uno di 2 gradi, l'altro di 4, essi compiranno tuttavia le loro oscillazioni nello stesso tempo, sebbene il cammino percorso dall'uno sia il doppio di quello del-

l'altro. Se, dunque, l'ampiezza delle oscillazioni cominciate con un certo angolo, per l'inevitabili resistenze di vario genere a cui abbiamo prima accennato, va diventando sempre minore, tuttavia non cambia quasi affatto il tempo impiegato in ciascuna oscillazione; donde, il cosiddetto **isocronismo** delle piccole oscillazioni del pendolo, che è la più importante proprietà di questo semplicissimo strumento considerato, perciò, come il più eccellente di tutti per la misurazione del tempo. Ognuno sa che gli orologi a pendolo, comunemente detti «Regolatori» passano per i migliori che si abbiano.

Il merito di aver applicato il pendolo alla misura del tempo, o almeno di averne riconosciuto le proprietà per questo scopo, spetta quasi in egual misura a tre grandi uomini. Il primo che impiegò il pendolo agli orologi fu Joost Bürgi, dapprima orologiaio, poi divenuto astronomo



Fig. 21. – Joost Bürgi.

presso il dotto landgravio Guglielmo IV di Hessen, e che per le tante sue invenzioni si meritò dai suoi nobili amici il titolo onorifico di «nuovo Archimede»⁵). Fino

⁵ Lasciamo all'autore la responsabilità di quanto afferma in

allora, cioè fin verso la fine del secolo XVI, non si avevano che orologi a peso, nei quali un peso pendente da una catenella avvolta intorno ad un cilindro, obbligava questo a scorrere lentamente per mezzo di una resistenza di attrito. Le diverse posizioni del peso che lentamente si abbassava o il corrispondente numero dei giri del cilindro, che si potevano leggere sopra una mostra, davano il tempo trascorso dalla «carica» dell'orologio; e ben s'intende che da siffatti orologi non si poteva pretendere grande esattezza. L'applicazione del pendolo agli orologi a peso fu fatta aggiungendo al pendolo, poco sotto il suo punto d'attacco, una specie di doppio uncino, l'*ancora*, i cui denti ad ogni oscillazione si alzano e si abbassano alternativamente. Fra le branche dell'*ancora* si trova «la ruota di scappamento» fornita di lunghi denti, e costretta da una qualche forza a girare: ma essa non può che girare dello spazio di un dente per ogni oscillazione dell'*ancora* e così gira a scatti contando le oscillazioni del pendolo. Si segue l'antica consuetudine, adoperando ancora un peso per dare il movimento alla ruota di scappamento, ma ora questo peso ha una parte molto secondaria, e può essere sostituito da un'altra qualunque forza motrice, come avviene appunto negli orologi a molla pur provvisti di pendolo. Ma questa forza ha anche il compito, per mezzo della pressione che i denti della ruota esercitano su quelli dell'*ancora*, di sopprimere alla perdita di forza che il pendolo incontra

merito a questo supposto precursore di Galileo (N. d T.).

per causa della resistenza dell'aria, e degli attriti, e mantenerlo così in movimento. Pendolo, ruota di scappamento e peso o molla sono gli organi essenziali di un orologio. Tutto il restante roteggio serve solo a rendere visibili e numerabili, per mezzo delle lancette, i giri della ruota di scappamento.

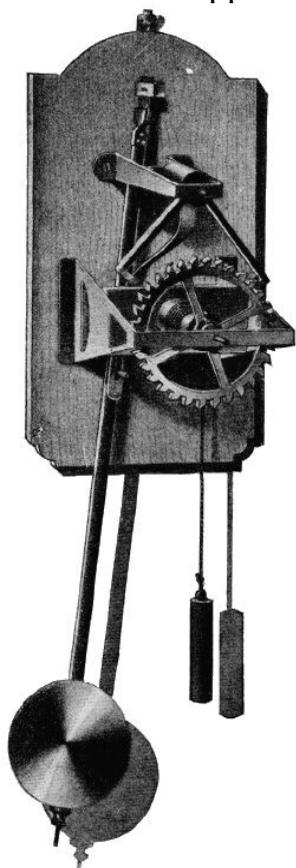


Fig. 22. – Orologio a pendolo.

Se Bürgi abbia proprio costruito un orologio a pendolo completo non si è potuto accertare; si sa solo ch'egli adoprava il pendolo per la misurazione del tempo. Dopo di lui, sul principio del secolo XVII il grande Galileo scoprì l'isocronismo delle oscillazioni pendolari, osservando, dice la leggenda, il dondolare di una lampada sospesa nel Duomo di Pisa. Il merito principale di Galileo, che è celebrato principalmente come il valido sostenitore del Sistema copernicano, consiste soprattutto nella scoperta della legge della caduta dei corpi, colla quale egli enunciò una teoria affatto nuova sull'azione delle forze, e iniziò con questa il grande movimento riformatore della Fisica fin allora unicamente basata sulle dottrine di Aristotile.

Galileo usò senza dubbio il pen-

dolo per la misura dei piccoli intervalli di tempo, e si afferma che egli contasse di costruire un vero orologio a pendolo per le sue ultime ricerche. Ma il vero inventore dell'orologio a pendolo, fu il fisico e matematico, Huygens olandese, che nel 1657 fece patentare la sua invenzione e studiò particolarmente la teoria del pendolo. Si può facilmente intendere che questa teoria trattata a fondo, non è così semplice come noi l'abbiamo presentata, perchè è impossibile ottenere quelle condizioni ideali che noi abbiamo supposto; e vogliamo appunto ora occuparci un poco delle condizioni reali.

Nello stesso luogo della Terra, dove sappiamo che la gravità rimane costante, la durata delle oscillazioni dipende solo dalla lunghezza del pendolo: e se questa resta invariata, potremo avere pure la desiderata invariabile misura del tempo. Ma bisogna subito aggiungere che un corpo materiale il quale in ogni circostanza mantenga invariabilmente le proprie dimensioni non è possibile trovarlo. Alcuni corpi, specialmente i fili formati di sostanze organiche, cambiano di lunghezza secondo il grado di umidità dell'atmosfera; altri corpi, invece, come i metalli, sono molto variabili secondo la temperatura, e di ciò diremo a fondo più avanti. Si può dunque facilmente arguire, che un orologio a pendolo deve risentire sensibilmente di tali variazioni. Se il pendolo deve battere esattamente i minuti secondi, si può subito dalle formule suaccennate calcolare, che all'Equatore esso dovrebbe avere la lunghezza di m. 0,99098. Supponendo che il pendolo si allunghi solo di un decimo di milli-

metro, ne segue, che esso non compie più un'oscillazione in un secondo, ma in 1,00005 secondi: ritardo che moltiplicato per il numero di secondi di un giorno, cioè 86,400, fa quattro secondi al giorno, ossia un minuto in 14 giorni. Un simile orologio dovrebbe oggi esser considerato come molto cattivo. Gli astronomi sono in grado di poter verificare sui loro orologi variazioni di 2 centesimi di secondo al giorno: anche se portiamo questa cifra a 5 centesimi, resta determinata una singola oscillazione fino a 6 decimilionesimi di secondo, e la lunghezza del pendolo fino a un millesimo di millimetro, ossia ad un *micron*. Vediamo da ciò come il pendolo diviene uno strumento di misura di una meravigliosa precisione.

Per ottenere che la lunghezza del pendolo resti più che è possibile costante, si è costruito il *pendolo a compensazione*, il quale consiste di più aste di diversi metalli collegate insieme, che si dilatano diversamente col crescere della temperatura; con queste aste, convenientemente disposte, si può ottenere un pendolo discretamente costante. Peraltro, nelle misure di grandissima precisione, si preferisce fare a meno di questa «compensazione» ottenuta con una costruzione così complicata, poichè ogni nuovo organo aggiunto fa sempre temere nuove cause di errore. Si costruisce perciò il pendolo nella maniera più semplice possibile, di un solo metallo, di cui si è trovato esattamente il coefficiente di allungamento, e si determina, col calcolo soltanto, l'influenza del calore sulla lunghezza del pendolo.

In tale strumento, in luogo del filo senza peso del no-

stro pendolo ideale, si ha un'asta metallica pesante, che influisce naturalmente sul movimento della massa pendolare, la quale, per diminuire la resistenza dell'aria, ha di solito la forma di una lente. Trovato che sia il centro di gravità di tutto il sistema, la distanza fra il punto di sospensione e questo centro, misura ciò che si chiama lunghezza del pendolo. Ma se si vuol solo avere la misura del tempo allora non è necessaria la conoscenza di questa lunghezza. Si sposta il corpo lenticolare, che è mobile lungo l'asta, fino ad avere la voluta durata di oscillazione, ciò che sempre si può fare col confronto con un buon orologio, o direttamente con osservazioni astronomiche. L'orologio astronomico di precisione si costruisce in modo semplicissimo, purchè le influenze perturbatrici siano poche e piccole più che è possibile. Il peso motore è il più piccolo che basti a ottenere il movimento, perciò piccolissimo è pure l'angolo di spostamento in modo che la condizione dell'isocronismo è soddisfatta quasi pienamente. Lo strumento è collocato in un sotterraneo, o in un altro luogo soggetto a piccoli sbalzi di temperatura; si rende, chiudendolo ermeticamente, indipendente dai cambiamenti della pressione atmosferica, che turberebbero la correzione della resistenza dell'aria.

Si ottiene così una meravigliosa regolarità di movimento, tale che le variazioni non oltrepassano in media 2 centesimi di minuto secondo al giorno. Una causa di inconvenienti rimane ancora per tali orologi di precisione, nel roteggio che trasmette il movimento dalla ruota

dei secondi a quella dei minuti e a quella delle ore. Tanti sono i denti altrettante sono le possibilità di minime perturbazioni imprevedibili, sia per particelle di polvere, o per l'agglutinamento dell'olio e per altre circostanze ancora.

Anche il tirar su il peso può esser causa di inconvenienti, quando si tratti dei centesimi di secondo. Per evitare tutto questo, l'elettrotecnico Hipp di Neuchatel ha inventato uno strumento singolarmente ingegnoso, un orologio che porta il suo nome e che è senza ruote e senza peso e proprio consiste nel solo pendolo. Al posto dell'ancora che si appiglia alla ruota di scappamento, esso porta due sottili punte, che ad ogni oscillazione si immergono in piccole vaschette piene di mercurio e così chiudono un circuito elettrico, per cui in altro luogo, anche distante, è messo in movimento un orologio, che ha solo il compito di indicare il numero delle avvenute chiusure del circuito, ma che all'infuori di ciò non esercita alcuna influenza sul movimento del pendolo. Ma col roteggio viene anche a mancare il necessario continuo impulso per il pendolo; e per sopperire a ciò nell'apparecchio di Hipp, si trova sotto al pendolo un elettromagnete, il quale esercita la sua forza d'attrazione solo per un momento, quando cioè l'ampiezza dell'oscillazione del pendolo diminuisce fino ad un certo limite: allora una piccola prominente attaccata al pendolo stesso e con esso oscillante afferra e abbassa una molla che chiude il circuito dell'elettromagnete. Questo impulso esterno per mantenere il movimento del pendolo

avviene soltanto ogni due minuti circa invece che ad ogni secondo, come negli altri orologi, e perciò l'oscillazione si mantiene quasi perfettamente costante.



Fig. 23.

Pendolo
a inversione.

Gli orologi regolatori degli osservatori che devono camminare colla più grande esattezza possibile vengono collocati, come si è detto già, in locali sotterranei, nei quali naturalmente non possono essere fatte osservazioni astronomiche. Ma per potersi tuttavia in ogni tempo valere di questi preziosi strumenti, sono applicati al loro pendolo degli apparecchi a contatto elettrico, simili a quello dell'orologio di Hipp, i quali mettono in movimento i cosiddetti cronografi elettrici, in parecchi posti d'osservazione. Ad ogni modo però anche questi contatti sono una nuova sorgente d'errore. L'autore di questo libro ha cercato di evitarli, collocando sopra la cassetta dell'orologio un «microfono» che è sensibile ai battiti del pendolo, e che alla sua volta agisce sopra un «relais» il quale manda la corrente elettrica ai cronografi. Questi apparecchi funzionano già nell'osservatorio di Ginevra.

Ma il pendolo non serve solamente alla misura del tempo: il suo compito principale è soprattutto di darci con la massima precisione il valore della grandezza g , fondamentale del nostro sistema di misura delle forze e

dal quale dipendono tutte le altre misure delle grandezze fisiche, per ritrovare poi di nuovo la forma della Terra dalle variazioni di g con la latitudine.

La nostra formula ci dà per la lunghezza del pendolo semplice che batte i secondi $g = \pi^2 l$. Noi abbiamo già visto con quale sorprendente precisione possiamo, con l'aiuto dell'astronomia, determinare la durata dell'oscillazione del pendolo; perciò non manca ora che misurare esattamente la lunghezza l per trovare g con egual precisione.

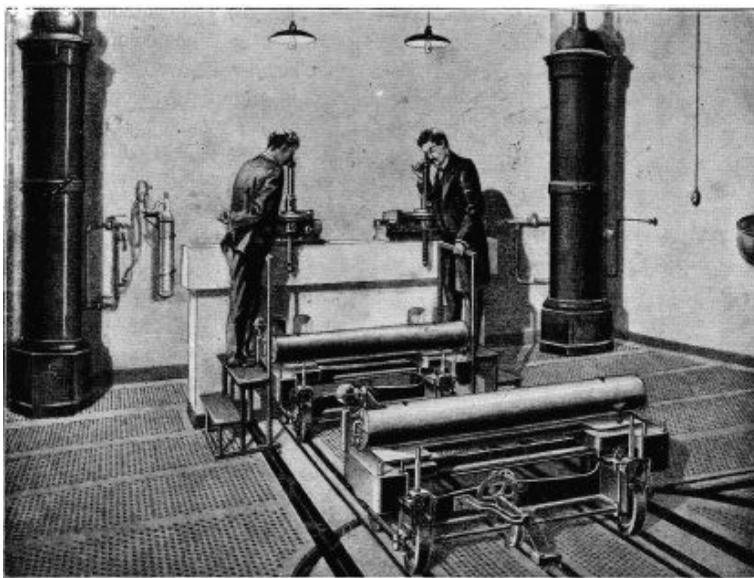


Fig. 24. – Ambiente a temperatura costante nell'Ufficio metrico di Berlino.

A questo scopo si dovette dare al pendolo una forma tutta speciale, e fu costruito il «pendolo geodetico» il quale, non dovendo più essere un orologio, fu liberato

da ogni organo accessorio destinato alla numerazione, e anche da quelli che forniscono impulso al movimento. Il pendolo geodetico oscilla, come il giogo di una bilancia, sul taglio di un cuneo di agata finamente affilato, e può così oscillare per delle ore intere con piccole oscillazioni. Per determinare la durata di queste oscillazioni si pone il pendolo ad una certa distanza, davanti al pendolo di un orologio astronomico ben regolato; quindi con un piccolo canocchiale si osserva ogni quanto i due pendoli coincidono esattamente nell'oscillazioni, donde si ricava subito la differenza della durata di oscillazione fra i due pendoli. Ma quella del pendolo astronomico è conosciuta esattamente, e perciò anche quella del pendolo geodetico. Questo non è compensato per le variazioni di temperatura, ma si cerca di mantenere, durante l'osservazione, la temperatura costante e di misurarla con esattezza, per poter poi riferire a quella data temperatura la lunghezza; la quale, come si è detto, è misurata dalla distanza fra il centro di gravità del pendolo e il punto di sospensione. Per misurare con precisione questa lunghezza, Bohnenberger, invento il *pendolo a inversione*, perfezionato più tardi dal Bessel e adoperato per le misure geodetiche di precisione (fig. 23). Esso è costruito con perfetta simmetria. Oltre il cuneo, o coltello, che costituisce il punto di sospensione vi è un peso scorrevole lungo l'asta, e in basso un altro cuneo, rovesciato, posto in maniera che i due spigoli si trovano ad ugual distanza dal centro. Il pendolo si può rivoltare (dove il suo nome) e così farlo oscillare ora sopra l'uno

ora sopra l'altro dei due coltelli; ed allora, spostando il peso lenticolare, si può ottenere che il pendolo in tutte e due le posizioni abbia la medesima durata di oscillazione. In questo modo si eliminano tutte le influenze derivanti dalla forma speciale del pendolo, e la lunghezza

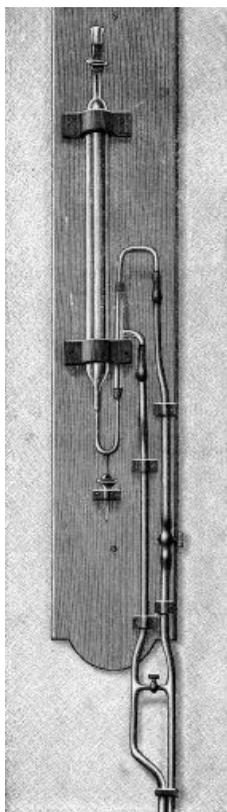


Fig. 25. — Termometro regolatore dell'Ufficio internazionale delle misure.

cercata è data dalla distanza tra i due spigoli dei coltelli, che si presta ad una esatta misura. Queste misure si fanno insieme con altre negli uffici speciali di verificaione, i quali sono a ciò corredati di meravigliosi apparecchi di precisione.

La nostra illustrazione (fig. 24) mostra la Sala di costante temperatura nel nuovo Istituto metrologico di Berlino.

L'ambiente non ha alcuna finestra, e al disotto è in diretta comunicazione coi sotterranei, come si può vedere dalla fig. 3 che rappresenta la sezione longitudinale dello stesso locale nell'istituto di Parigi. La costanza della temperatura è ottenuta con stufe a gas provviste di uno speciale termometro regolatore per cui si può ottenere e mantenere la temperatura che si vuole (fig. 25). I microscopî per le comparazioni (fig. 24) son fissati a solide colonne. Il carrello porta una vasca, nella quale l'oggetto da misurare sta immerso in un liquido, di cui è deter-

minata esattamente la temperatura. La figura 26 mostra un comparatore di semplice costruzione sulla cui vasca sono riuniti microscopî e diversi apparecchi complementari. In questa maniera è possibile la misurazione della lunghezza del pendolo fino a meno di un *micron*.

Trovata così la lunghezza del pendolo, il prodotto di essa per il quadrato del numero π secondo la formula $g = \pi^2 l$ dà immediatamente la gravità per il luogo in cui venne fatta l'osservazione. Con la ripetizione di queste esperienze in parecchi punti della Terra, si è trovato, che il pendolo che batte i secondi ha una diversa lunghezza per ogni latitudine. E le osservazioni riunite insieme conducono ad esprimere questa lunghezza con la formula $l = 0,9909827 + 0,00515358 \sin^2 \varphi$.

Si vede da questa, che la lunghezza del pendolo a secondi è al Polo di ben 5 mm. maggiore che all'Equatore. Se un orologio perfettissimo e regolato all'Equatore venisse portato al Polo, andrebbe avanti non meno di 3 minuti e 45 secondi al giorno. Una simile osservazione fu fatta per la prima volta dall'astronomo francese Richer che nell'anno 1671 con un orologio a pendolo, ben regolato a Parigi, partì per Caienna per farvi osservazioni su Marte, allo scopo di misurare la parallasse solare. Egli si meravigliò molto di vedere là il suo cronometro andare addietro di 2 minuti al giorno, e dovette accorciare il pendolo di più che una linea, perchè tornasse a seguire i secondi giusti. Ancora più sorpreso egli rimase quando l'orologio, riportato a Parigi, riprese ad andare avanti di 2 minuti al giorno, sicchè egli dovette regolar-

lo riportando il pendolo alla primitiva lunghezza. In questo modo egli scoprì la variabilità della lunghezza del pendolo secondo la latitudine.

Dalle cose già dette si può facilmente intendere, che il coefficiente di $\sin^2\varphi$ nella formola precedente, dipende anche dallo schiacciamento del globo terrestre, e si può, dalla variazione della lunghezza del pendolo a secondi, ricavare la misura di questo schiacciamento: così la muta asticella oscillante, nella sua cassetta di vetro, rivela al pensatore l'esatta forma del globo terrestre.

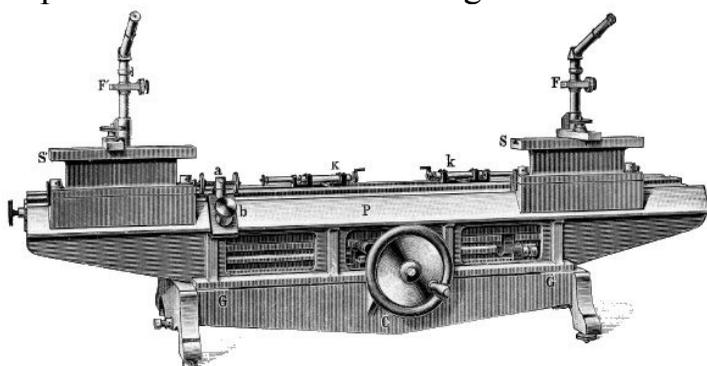


Fig. 26. – Comparatore di Bamberg per le lunghezze.

La straordinaria sensibilità del pendolo ci mette in grado anche di poter verificare sperimentalmente, portandolo sulle montagne, la diminuzione della forza d'attrazione terrestre col quadrato della distanza dal centro della Terra. Le nostre formule ci mostrano che un orologio a pendolo già a 1000 m. di altezza sul livello del mare, non considerando la cresciuta forza centrifuga, deve rimanere addietro di 13,56 secondi al giorno: il che

è confermato dall'esperienza.

Misurazioni pratiche, fatte nell'anno 1899 da Hausky sul Monte Bianco, diedero i seguenti valori della accelerazione di gravità:

Chamounix	altezza m.	1050	9,80394
Brevent	»	2525	9,80056
Grands Mulets	»	3050	9,79999
Monte Bianco (Vetta)	»	4810	9,79472

Così, nel pendolo abbiamo un perfettissimo mezzo per determinare sperimentalmente la grandezza di g , e seguirne le sue variazioni; e ne risulta confermato che la forza di attrazione la quale agisce come gravità sulla Terra, è perfettamente identica a quella che governa i movimenti dei corpi celesti, e che essa non è variata assolutamente da nessun influsso terrestre. Noi possiamo perciò servirci dell'attrazione terrestre come di unità di misura per tutte le altre forze; e questo confronto e la relativa misura risultano tanto più facili in quanto che la gravità è sempre a nostra disposizione da per tutto.

Avremo più tardi da occuparci di altre ricerche che si rendono possibili per mezzo del pendolo: qui però non possiamo lasciar da parte un esperimento di grande interesse, nel quale, per mezzo del pendolo, apparisce direttamente visibile ai nostri occhi il movimento di rotazione della Terra. È questa la famosa esperienza del Foucault (fig. 29) nella quale per altro non entra nessuna delle proprietà del pendolo fin qui da noi esaminate.

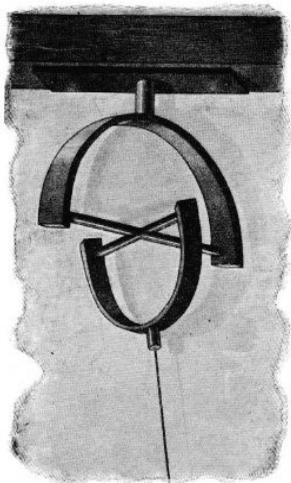


Fig. 27. – Sospensione del pendolo di Foucault.

Se un pendolo viene attaccato in tal maniera, che la rotazione dal punto di sospensione non abbia alcuna influenza sul movimento di oscillazione, è evidente che esso continuerà ad oscillare sempre nel medesimo piano, nel quale ha cominciato il movimento. Non occorre qui descrivere i mezzi meccanici coi quali si può ottenere alla perfezione la condizione sopra richiesta, poichè la presente opera non deve essere un trattato pratico di Fisica sperimentale; ma ognuno comprenderà facilmente l'organo di sospensione rappresentato dalla fig. 27. Supponiamo di mettere in movimento il pendolo così sospeso, al polo Nord della Terra, in modo che le sue oscillazioni avvengano in un piano fissato che potrebbe anche essere semplicemente quello che contiene l'arco metallico fisso alla trave nella figura. Mentre il pendolo oscilla nel piano dell'arco, il detto arco, con la trave, ruota seguendo il giornaliero movimento di rotazione della Terra; e poichè non vi è alcun motivo perchè il pendolo abbandoni la primitiva direzione d'oscillazione, avverrà che il piano in cui il pendolo oscilla si staccherà dal piano dell'arco e sembrerà rotare in senso contrario. E troveremo, che il piano d'oscillazione del pendolo ruota facendo in un'ora un angolo di 15 gradi, ossia un giro intero in 24 ore. E

questa sarà la prova diretta della rotazione della Terra.

Uguale osservazione non si potrebbe però fare all'Equatore, dove la Terra non gira sotto al pendolo, o intorno al suo punto d'attacco come al Polo, ma trasporta via con sé l'intero apparecchio; e perciò il pendolo di Foucault non cambia affatto la direzione delle sue oscillazioni, rispetto alla Terra. Per tutte le altre latitudini intermedie è evidente che l'angolo orario di rotazione deve esser compreso fra zero e il valore massimo di 15 gradi. Una facile dimostrazione geometrica prova che la deviazione del pendolo in un'ora, alla latitudine φ , deve essere $15^\circ \text{ sen } \varphi$.

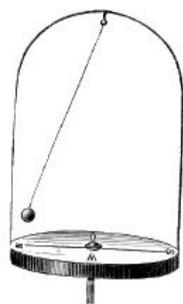


Fig. 28. – Rotazione del piano d'oscillazione del pendolo.

Gli esperimenti col pendolo di Foucault sono stati fatti per lo più in grandiose proporzioni, come palese e suggestiva prova del movimento rotatorio della Terra. Per liberarsi dalle cause perturbatrici bisogna usare un pendolo lunghissimo, quale solo può disporsi in ampi ed alti edifici, come chiese e simili. A cagione del grande tratto che il lungo pendolo descrive, la deviazione per il movimento rotatorio della Terra, si può allora, anche in breve tempo, osservare e misurare facilmente. Nella prima esperienza di questo genere che fu fatta nel 1851 nel Pantheon di Parigi (fig. 29) la lunghezza del pendolo era di 67 metri, a cui corrisponde secondo la formula data una durata di oscillazione di 8,2 secondi. Il tratto per-



Fig. 29. – Esperienza di Foucault nel Pantheon di Parigi.

viazione di ogni ora si trova in corrispondenza con quella assegnata dal calcolo, e questa è da considerare come la più completa e manifesta prova del quotidiano movimento rotatorio della Terra.

corso in un'oscillazione misurava metri 6,5: da ciò segue che, alla periferia del cerchio sopra cui il pendolo oscillava, lo spostamento dovuto alla rotazione terrestre doveva essere maggiore di 1 centimetro per minuto. Memorabile la ripetizione di questo esperimento, fatta in una chiesa di Roma dal dotto gesuita padre Secchi, proprio in quella medesima città, dove due secoli prima Galileo aveva dovuto rinnegare la teoria del movimento della Terra.

Da per tutto, dove si faccia oscillare un pendolo di Foucault, la sua de-

d) Misura delle forze. Peso, massa, densità.

In tutte le nostre ricerche e osservazioni fin qui, era affatto indifferente servirsi dell'una o dell'altra delle diverse qualità di materia che la Natura ha posto intorno a noi, come pure non occorre considerarne la quantità. Una piuma cade, in uno spazio privo d'aria, colla stessa velocità che il peso di un quintale; noi possiamo costruire un pendolo con una palla di legno o di platino, e, purchè abbia la stessa lunghezza, esso ci darà oscillazioni di ugual durata. Ora però dobbiamo volgere la nostra attenzione al fatto per innumerevoli continue esperienze ormai conosciutissimo, che i diversi corpi hanno diversi pesi, e che questo peso variabile deve essere una conseguenza della forza di attrazione già da noi studiata. L'esperienza ci prova che la forza d'attrazione non cessa di agire neppure un istante e che se il movimento di un sasso lanciato si arresta per la resistenza della superficie della Terra, non cessa però la Terra d'attrarlo ancora; e il sasso esercita perciò una pressione costante sullo spazio di terreno sottostante. Come mai, dunque, questa pressione è così differente per i diversi corpi e per le diverse quantità di un medesimo corpo, se tuttavia l'effetto della pressione, cioè la velocità di caduta, è per tutti la stessa?

Non è difficile intenderlo, se consideriamo un cubetto di una sostanza qualunque, per esempio di ferro, che abbia un centimetro di lato, e un altro cubo, pure di ferro, che abbia invece un decimetro di lato e che perciò contiene mille cubetti eguali al primo. I due cubi cadono

con eguale velocità quando sono attirati dalla Terra: ma la quantità di materia contenuta nell'uno è mille volte quella contenuta nell'altro e, perciò, la forza necessaria a comunicare ad entrambi il medesimo movimento dovrà essere per l'uno mille volte più grande che per l'altro.

In altre parole: il cubo grande è composto di mille cubetti, ciascun dei quali pesa e cade come se fosse solo; perciò la velocità di caduta dei mille cubetti riuniti in uno è la stessa come nel caso di un cubetto solo, e i mille piccoli pesi sommandosi, fanno il peso del grosso cubo. Questa deduzione si generalizza in una legge fondamentale di meccanica, dicendo, che per comunicare moto eguale a corpi diversi occorrono forze proporzionali alle quantità di materia. La quantità di materia di un corpo si chiama la sua Massa.



Fig 30. – Bilancia.

Pesare i corpi vuol dire confrontare i loro pesi e perciò le loro masse. Serve a ciò la bilancia (fig. 30), lo strumento che nell'economia domestica e nell'industria ha una parte così importante. Accanto alla comune, semplicissima bilancia, si vede nella fig. 31 il complesso ed esattissi-

mo apparecchio scientifico che viene adoprato per la verifica rigorosa dei pesi, nell'Ufficio internazionale di pesi e misure in Parigi.

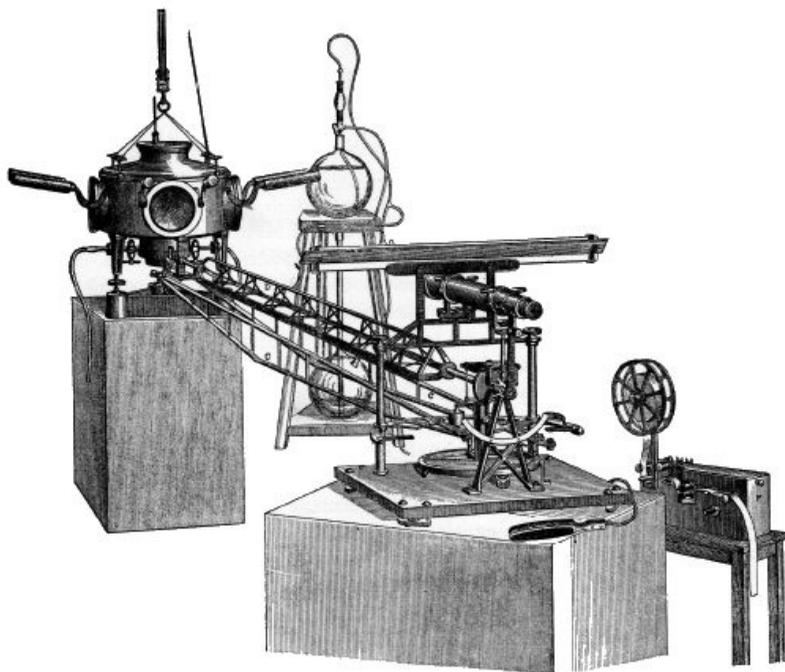


Fig. 31. – Bilancia di precisione di Bunge nell'Ufficio internazionale delle misure. A, Spazio ove è chiusa la Bilancia; L, Finestra da cui si osserva l'indice col cannocchiale F e la scala S; C, Cronografo elettrico per registrare le oscillazioni; X, Leva per collocare i pesi; Q Pompa a mercurio per toglier l'aria da A.

Se un corpo rigido, come il giogo della bilancia, vien posto in equilibrio nel suo mezzo sopra un cuneo tagliente, in modo che esso sia orizzontale, allora manifestamente la forza di gravità agisce ugualmente sopra le

due parti. Attaccando ad ugual distanza dal centro e da ciascuna parte, degli oggetti tali da mantenere il giogo sempre orizzontale, potremo dire che la gravità agisce egualmente su due corpi, ossia che essi sono egualmente pesanti. Se son composti dalla medesima sostanza, essi dovranno anche avere volumi eguali pure avendo forme diversissime. Supponiamo che l'uno degli oggetti sia una palla di ferro e l'altro un cubo, pure di ferro, di un centimetro di lato: potremo allora trovare il raggio r della palla ponendo $\frac{4}{3}\pi r^3=1$, da cui si ottiene $r = 0,62$ cm. E potremo persuaderci con questi e altri simili esperimenti della verità sopra indicata; che per produrre movimenti eguali, le forze devono essere in proporzione delle quantità di materia sulle quali agiscono, e che per corpi formati della stessa sostanza, i pesi son proporzionali ai loro volumi, e quindi anche alle loro masse.

Il caso è differente però quando si tratti sostanze diverse. Un centimetro cubo di alluminio è molto più leggero di uno di ferro. Se si pone in un piatto della bilancia il centimetro cubo di ferro, occorre, per riportare la bilancia in equilibrio, mettere nell'altro piatto un cubo di alluminio che abbia cm. 1,41 di lato e quindi un volume di 2,81 centimetri cubi. Poichè la gravità, con eguale sforzo, muove per lo stesso tratto questi due corpi di diversa grandezza, ne dobbiamo concludere che in entrambi è compresa una massa eguale, come se, per così dire, la materia dell'alluminio fosse rarefatta e più porosa. Noi potremo difatti ottenere lo stesso effetto, suddi-

videndo il cubo di ferro in tante piccole parti e collocando ciascuna di esse ad una tale distanza dalle particelle vicine, in modo che il tutto venisse a prendere la forma di un cubo della grandezza di quello di alluminio.

Si dice perciò che la materia dell'alluminio, o semplicemente l'alluminio, è meno *denso* del ferro; e si esprime la **densità** d di un corpo, dividendo la sua massa m per il suo volume v ; ossia $d = \frac{m}{v}$. Il ferro è 2,81 volte più denso dell'alluminio.

Ma poichè, a questo rispetto, tutti i corpi si mostrano differenti, è assolutamente necessario un accordo per riferirsi ad un corpo fissato che serva come termine di confronto e come base per tutte le misure di peso, di massa, di densità, di forza, di lavoro meccanico, ecc., così come abbiamo scelto il Metro per unità di lunghezza. Si è scelta a questo scopo l'acqua, e precisamente (poichè anche l'acqua, come tutti gli altri corpi, col variare della temperatura cambia di volume e perciò anche di densità) si è presa nel suo stato di massima densità, che dalle ricerche fatte, risulta alla temperatura di $+ 4^{\circ}$ del termometro centigrado. Come unità di peso, o meglio di Massa, si è preso un centimetro cubo di quest'acqua e si è chiamato grammo: 1000 grammi, ossia un cubo d'acqua di 1 decimetro di lato fanno 1 Kilogrammo, ecc.

Finchè vogliamo fare dei confronti fra i pesi o le masse, non entra evidentemente in considerazione la variazione della gravità con la latitudine, poichè due pesi

eguali rimarranno eguali a tutte le latitudini, e dall'Equatore avvicinandosi ai Poli diverranno più pesanti in eguale misura. Diversa è la cosa, quando cerchiamo una misura per la forza. Se paragoniamo la forza con la quale la massa di 1 grammo è attirata dalla Terra, con un'altra forza qualunque indipendente dalla gravità; se misuriamo, per esempio, questo peso non con una bilancia a piatti ma con una bilancia a molla, allora avremo da questa diverse indicazioni di peso, cioè spostamenti diversi secondo le latitudini. Per procurarsi una unità di forza universale e costante, si è convenuto di prendere il peso della massa di 1 chilogrammo alla latitudine di 45 gradi. A questa latitudine un corpo cadente ha, dopo un minuto secondo, una velocità di m. 9,81 e in ciascuno dei minuti secondi seguenti acquista altrettanta velocità. Perciò il numero 9,81 misura l'accelerazione del movimento. Così il peso di un chilogrammo, come unità di forza, è definito: quella forza che alla massa di 1 chilogrammo imprime una accelerazione di 9,81 metri al secondo. Ma per misure scientifiche di precisione si richiede una unità che presenti maggior semplicità di rapporti e più garanzie di invariabilità, e perciò si è presa come unità di forza nel *sistema assoluto*, la forza che comunica alla massa di un grammo l'accelerazione di un centimetro al secondo e si è chiamata «Dine» (dal greco $\delta\upsilon\nu\epsilon$ = forza). Essa è 981 volte più piccola del peso di un grammo. Per gli usi pratici e tecnici questa unità è troppo piccola e si usa sempre come unità il chilogrammo, sopra definito, il quale corrisponde, come è

facile vedere, a 981000 dine.

Come unità di **lavoro meccanico** nel Sistema scientifico assoluto (centimetro-grammo-secondo) si è preso il lavoro di un dine che agisce per il tratto di un centimetro, e si è chiamata questa unità di lavoro «Erg» (da έργον = lavoro). Nella pratica si usa invece il **Chilogrammetro** (Kgm.) che è il lavoro della forza di un chilogrammo agente per la lunghezza di 1 metro e, quindi, equivale a 98100000 erg. Un chilogrammetro è dunque il lavoro che si fa sollevando un chilogrammo ad un metro di altezza. Nella misura del lavoro il tempo impiegato non entra: ma è necessario considerarlo quando si vuol misurare la **Potenza** delle macchine, cioè la loro attitudine a compiere un dato lavoro in un dato tempo. L'unità di potenza meccanica è per i tecnici il **cavallo vapore (HP)** che è definito il lavoro di 75 Kgm. in un secondo. Un cavallo vapore corrisponde dunque a $75 \times 98100000 = 7,357,500,000$ erg.

Poichè l'unità di massa è il grammo, ossia la massa di 1 cm.³ d'acqua, la nostra formula $d = \frac{m}{v}$ ci dà la densità di una sostanza in rapporto alla massima densità dell'acqua, ossia la densità è data dal numero che misura quante volte la sostanza in questione pesa più di un equal volume d'acqua. Perciò la densità si chiama anche **peso specifico** ed è affatto indipendente dal sistema di misura adottato perchè è un semplice rapporto.

Coll'introduzione del sistema metrico si è finalmente ottenuta l'unità di tutte le misure e la possibilità di com-

pararle facilmente nei diversi casi che possono occor-
re.

e) Misura della forza di gravitazione e della massa dei corpi celesti.

Abbiamo veduto che ogni particella di materia terre-
stre per effetto della gravità, è accelerata uniformemente
nella sua caduta verso la terra, e sappiamo anche che
questa stessa forza governa il movimento dei corpi cele-
sti. Questi devono dunque essere composti di simili par-
ticelle materiali. Ma se tutti questi corpi celesti si attri-
vano vicendevolmente fra loro, noi dobbiamo supporre
che anche i corpi che si trovano fra le nostre mani eser-
citano similmente gli uni sugli altri una scambievole
forza di attrazione; soltanto che essa deve essere molto
piccola in confronto a quella della Terra e perciò, a cau-
sa dell'azione preponderante di questa, deve passare
inavvertita. Secondo il principio, che ad ogni azione
deve corrispondere una eguale reazione, si deve senz'al-
tro concludere, che una pietra cadente esercita anch'essa
una forza d'attrazione sulla Terra eguale al proprio peso,
ma il cui effetto sulla massa enorme della Terra può
considerarsi come nullo. Noi potremmo infatti calcolare
il moto acquistato dalla Terra per l'attrazione della pie-
tra e troveremmo, che esso sta a quello della pietra,
come, la massa di questa sta alla massa terrestre!

Per questa interessante ricerca che è la misura della
massa terrestre o, come anche impropriamente si dice,

del *peso* della Terra, ci dà novamente aiuto il pendolo. Facendolo oscillare in vicinanza di una montagna esso ci rivela variazioni della durata delle oscillazioni, che hanno la loro causa nella locale attrazione della massa della montagna. Se la montagna non ha una forma troppo irregolare e se ne conosce la composizione geologica, e quindi anche la densità media delle rocce che la compongono, allora la comparazione della piccola forza d'attrazione da essa esercitata sul pendolo, con l'ordinaria attrazione terrestre ci può dare approssimativamente la misura della massa della Terra. Ma si comprende facilmente che si debbano incontrare grandi difficoltà e cause di incertezza. In primo luogo, raramente si può misurare con sufficiente esattezza il volume e la massa della montagna. Poi è da aggiungere che il pendolo presenta pure simili deviazioni anche in aperte pianure; per esempio, nei dintorni di Berlino esso oscilla più lentamente di quel che dovrebbe, e ciò deriva dal fatto che ivi gli strati sottostanti hanno densità minore della media densità della crosta terrestre e quindi esercitano anche minore forza d'attrazione.

Tali mancamenti di massa sembra che si trovino sotto la maggior parte delle montagne. In altri luoghi, al contrario, il pendolo oscilla più rapidamente rivelando la presenza di pesanti strati metallici nel sottosuolo. Tutti questi fatti ci mostrano che il pendolo fornirebbe indicazioni esatte solo nel caso che la massa della Terra fosse distribuita uniformemente in tutto il suo volume, il che certamente non è. È questa anche la causa per cui lo

schacciamento dei Poli trovato eguale ad $\frac{1}{289}$ per mezzo del pendolo, non si accorda esattamente con quello ottenuto colla misurazione diretta, che è $\frac{1}{299}$.

Certo è, che queste irregolarità della gravità rivelate dal pendolo, confrontate con la vera forma della Terra, la quale ci sarà nota perfettamente un giorno, quando la rete delle esattissime misure geodetiche si sarà estesa sufficientemente, ci condurranno ad interessanti conclusioni sulla composizione dell'interno della Terra, dove noi non potremo mai pervenire. È tuttavia sorprendente che fin d'oggi, misurando col comparatore entro un laboratorio la lunghezza del pendolo a secondi, si possano scoprire giacimenti metallici nascosti e sepolti nella profondità della Terra.

Ma per determinare la massa della Terra in chilogrammi ci occorre misurare direttamente la forza d'attrazione prodotta dalla massa di 1 chilogrammo. Questo si può fare per mezzo della bilancia di torsione adoprata la prima volta a questo scopo da Cavendish, e più tardi perfezionata



Fig. 32. – Bilancia a torsione di Coulomb.

dal Coulomb (fig. 32). Essa consiste in una verga alle cui estremità sono fissate due piccole palle, e che è sospesa ad un filo nel suo punto di mezzo, in modo da restare orizzontale ed equilibrata. Se ora si fa un po' girare intorno al filo, essa tenderà per l'azione del filo attorcigliato, a ritornare nella primitiva posizione. Si ha dunque nel filo una forza di torsione per cui l'asticella una volta spostata oscilla in qua e in là fino a che si ferma di nuovo nella posizione di riposo. È necessaria dunque una certa forza per quanto piccola, per deviare l'asticella orizzontalmente di un certo angolo dalla sua posizione di riposo. Questa forza che dipende dalla lunghezza e dalla natura del filo si può con accurate ricerche determinare, cosicchè si può dire qual frazione di grammo o quante dine occorranò per superare la resistenza del filo alla torsione nello spostare di un certo angolo l'asticella. Mettendo, poi, in vicinanza di ciascuna delle due palline una palla più grossa che sia esattamente 1 Kg. di peso, si può vedere che le due palline mobili della bilancia di torsione sono attratte dalle due palle più grosse che stanno ferme. Se si dispone tutto in modo, che le due grosse sfere tendano con la loro attrazione a far girare l'asticella nella medesima direzione, allora essa verrà a fermarsi in un'altra posizione nella quale la forza di torsione del filo fa equilibrio alla forza d'attrazione per le quattro sfere. Da questo spostamento della bilancia di torsione e dalla conoscenza della forza di torsione del filo si può determinare la forza di attrazione fra la sfera di un 1 Kg. e la corrispondente pallina a quella data distanza. Siffat-

te misurazioni ci hanno mostrato, che fra due palle di 1 Kg. alla distanza di 1 decimetro fra i loro centri si esercita una attrazione di 0,000666 dine, ossia di $0,000666 : 981 = 0,000000679$ grammi; cioè, poco più di un mezzo milionesimo di grammo. Essa è dunque una forza straordinariamente piccola che non avremmo mai potuto scoprire fra i singoli corpi terrestri, se questa forza sommandosi e crescendo in ragione della quantità di materia non diventasse enorme quando emana delle grandi masse dei corpi celesti e particolarmente della nostra Terra.

Conosciuta questa forza di 0,000666 dine, si trova subito la massa della Terra. La forza d'attrazione infatti aumenta in diretta ragione inversa del quadrato della distanza: perciò fra la forza f con la quale 1 Kg. è attratto da una massa eguale, ad un decimetro di distanza, e la forza F con cui è attratto dal globo terrestre ad una distanza del centro eguale al raggio terrestre R , si può stabilire la proporzione

$F : f = \frac{M}{R^2} : \frac{1}{0,1^2}$: dove M sarà la

cercata massa terrestre espressa in chilogrammi, F il peso di 1 Kg. che abbiamo già visto essere 981,000 dine, f la forza trovata di 0,000666, ed $R = 6,377,400$ metri. Risolvendo l'equazione rispetto ad M si trova

$$M = \frac{981000000 \cdot R^2}{0,000666 \cdot 0,01} ; \text{ ed eseguendo il calcolo si trova}$$

per M un numero che arrotondato, è formato di 6 seguito da 24 zeri, ossia 6 quadrilioni di chilogrammi. Ma il volume della Terra, ossia $\frac{4}{3}\pi R^3$, dà poco più di un

quadrilione di decimetri cubi, ciascuno dei quali, pieno d'acqua, avrebbe la massa ed il peso di 1 Kg. La materia della Terra è dunque in media circa 6 volte più pesa dell'acqua. La misura esatta del valore medio della densità della Terra, che si ottiene dividendo la massa trovata per il suo volume in m³, risulta 5,59: e siccome gli strati superficiali della Terra a noi accessibili e noti sono assai meno densi, ne dobbiamo concludere che le parti più profonde sono composte di sostanze molto più pesanti, ciò che del resto si poteva già prevedere. La forza d'attrazione di tutti i corpi essendo dunque dimostrata direttamente proporzionale alla loro massa, le nostre osservazioni sopra le diverse forze attrattive dei corpi celesti ci mettono subito in grado di conoscere la massa di questi in rapporto alla massa della Terra, o anche, se si vuole, in chilogrammi. Così, avendo trovato l'attrazione del sole alla distanza di un raggio terrestre essere 3,201,000 m. mentre quella della Terra è (senza la forza centrifuga) 9,78, ne deduciamo che la massa del sole è $\frac{3,201,000}{9,78}$

volte quella della Terra; si deve poi moltiplicare questo numero per la massa terrestre trovata, per avere la massa del Sole in chilogrammi. E poichè il diametro del Sole è 108,7 volte quello della Terra, il suo volume sarà maggiore in ragione del cubo di 108,7 cioè 1,284,000 più grande. La massa poi del Sole, che è soltanto 327,000 volte quella della Terra, occupa dunque nel globo solare uno spazio circa quattro volte maggiore, per cui la densità della materia solare è quattro volte più piccola di

quella della Terra, e perciò eguale a $5,59:4 = 1,4$.

La materia di cui è composto il grande astro centrale del nostro sistema è dunque, in media, poco più densa dell'acqua. Tutte queste conoscenze ci furon date dal pendolo e dalla delicata bilancia di torsione, ai quali del resto negli ultimi tempi si sostituirono altri ancora più perfetti strumenti, come il pendolo orizzontale: la mente umana col validissimo prezioso aiuto dell'analisi matematica seppe trarre dai risultati sperimentali le necessarie conseguenze; e le nostre cognizioni collegate in un tutto omogeneo e logicamente ordinate diventano per noi leggi immutabili della Natura.

Ultimamente W. Pfaff con uno strumento di sua invenzione è riuscito a valutare, con grande esattezza, non proprio il valore assoluto dell'attrazione terrestre ma le sue variazioni, e ha fatto su quest'ultima delle ricerche interessantissime. Il suo strumento mostra, per esempio, la variazione della forza di gravità secondo la posizione della Luna e del Sole, da cui come è noto dipendono anche i fenomeni della marea.

Al novilunio, il peso di 1 Kg. varia di 0,18 milligrammi fra il mezzogiorno e la mezzanotte; il che si accorda pienamente col valore prima calcolato da Helmert. Digna di molta attenzione è una oscillazione riscontrata nella forza di gravità durante il corso dell'anno, che era stata pure già dimostrata da Sternech per mezzo delle sue osservazioni col pendolo; cioè, che la gravità è massima in aprile e settembre, minima in gennaio e luglio. E su questo argomento vi sono ancora profondi misteri da

svelare.

3. – Il movimento dei corpi solidi.

Sotto l'azione della forza di gravità tutti i corpi intorno a noi, o sono in movimento o si trovano in certe condizioni, come di pressione, di tensione, di equilibrio, ecc. che nella vita giornaliera hanno per noi la massima importanza: poichè i principî che si possono dedurre dall'osservazione di questi stati di moto o di quiete trovano la loro applicazione nella costruzione di tutte le nostre macchine e di tutti gli strumenti, dalle bilance a peso e a molla agli ascensori e ai ponti, dalle navi alle nostre case, insomma in tutte le costruzioni umane.

Ma la grandissima importanza di questo studio non deriva tanto dalle pratiche applicazioni quanto dalle cognizioni generali che esso ci fornisce sull'azione delle forze; poichè il modo d'azione della forza di gravità sui corpi che ci circondano, non differisce da quello di tutte le altre forze naturali che più tardi esamineremo. Noi possiamo dunque dall'osservazione dei fenomeni di questo mondo terrestre accessibile ai nostri sensi, molto più facilmente che dallo spazio celeste o dal mondo degli Atomi, ricavare leggi di generale significato e applicabilità per tutti gli altri fenomeni naturali. Dobbiamo, perciò, nello studio di tali movimenti prescindere, per quanto è possibile, dalle particolari condizioni e dagli effetti speciali della forza di gravità, per trovare le pure

e generali leggi del moto come effetto delle forze. Questa parte fondamentale della fisica, si chiama *Meccanica*.

La maggior parte dei fenomeni che ora prenderemo in considerazione sono così volgari e noti che può parere una dotta pedanteria il farne qui oggetto di studio. Per esempio, apparirà ad ognuno una cosa evidente di per sè stessa che due pesi eguali collegati con una funicella e sospesi sopra una carrucola, rimarranno fermi e in equilibrio a qualunque altezza si pongano (fig. 33). E difatti è questa una necessaria conseguenza di ciò che abbiamo già visto, sebbene in forma un po' diversa, nella bilancia. Come il giogo di questa egualmente caricato alle due estremità non gira intorno al punto d'appoggio, così neppure può girare la carrucola.

Il fatto, che i pesi rimangono fermi in qualunque posizione, anche se uno di essi si trova più in alto dell'altro, ci dimostra ancora una volta che la gravità nonostante questa differenza di altezza agisce egualmente: ma se si potesse disporre l'esperimento in maniera che uno dei pesi fosse qualche chilometro più in alto dell'altro, il peso in basso dovrebbe risentire una maggior forza d'attrazione dalla Terra e quindi tirare in su l'altro.

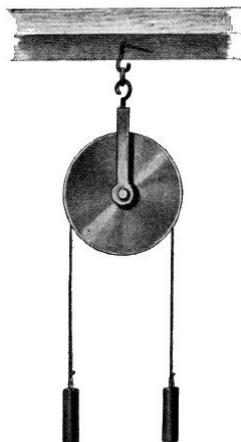


Fig. 33. — Equilibrio con carrucola semplice.

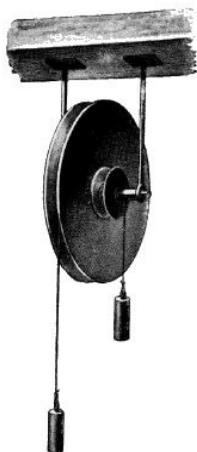


Fig. 34. — Carrucole unite di diverso diametro.

Diversamente avviene invece, se i due pesi eguali son attaccati ciascuno con una funicella a due carrucole di diverso diametro, unite insieme e girevoli attorno ad un asse comune. Allora, il peso applicato alla carrucola più grossa comincerà subito a calare in basso facendo svolgere la sua funicella, mentre la funicella della carrucola piccola si avvolgerà ad essa e solleverà l'altro peso (fig. 34). Il sistema delle due carrucole con pesi eguali non è dunque in equilibrio, poichè per la gravità mentre uno dei pesi sale l'altro discende, ed è evidente, che è la causa unica di questo movimento, ossia, il peso che discende tira su l'altro. Ma è da osservare che i cammini percorsi in egual tempo non sono eguali. Supponendo che il diametro della ruota maggiore sia dieci volte quello dell'altra, tale sarà anche il rapporto delle circonferenze; e siccome compiono un giro nello stesso tempo, vuol dire che di una delle funicelle si avvolge solo la decima parte di quel che dell'altra si svolge, ossia che il peso che discende percorre in pari tempo uno spazio 10 volte maggiore di quello che sale. Introducendo il concetto di lavoro (misurato dal prodotto della forza per lo spazio da essa percorso) vediamo che il lavoro fatto dal peso che discende è dieci volte maggiore di quello del peso che sale.

E il primo è lavoro motore (o positivo) perchè il mo-

vimento avviene nella direzione della forza che è la gravità, il secondo è resistente (negativo) perchè il movimento è contrario, e la gravità agisce come forza resistente. Per avere l'equilibrio converrà dunque fare diseguali i pesi in modo che siano eguali i lavori, e per ciò basterà appendere alla ruota minore un peso 10 volte maggiore dell'altro. Allora i due pesi si fanno perfettamente equilibrio, e possono muoversi senza sforzo alcuno, proprio come i due pesi eguali della carrucola semplice nella fig. 33; ossia il peso applicato alla ruota maggiore è in grado di sollevare un peso dieci volte più grande applicato alla ruota minore. Queste due carrucole costituiscono ciò che in meccanica si dice propriamente *macchina semplice*, cioè un ordigno mediante il quale si fanno equilibrio forze diseguali, ma alla condizione che siano eguali i lavori nel movimento della macchina medesima.

Noi possiamo semplificare ancora la nostra macchina riducendo le due carrucole ai loro raggi riuniti in un'asta rigida. Togliamo via anche le funicelle ed applichiamo i pesi direttamente alle estremità dei due raggi, così otteniamo la macchina semplice che si chiama *leva* (fig. 35). Per

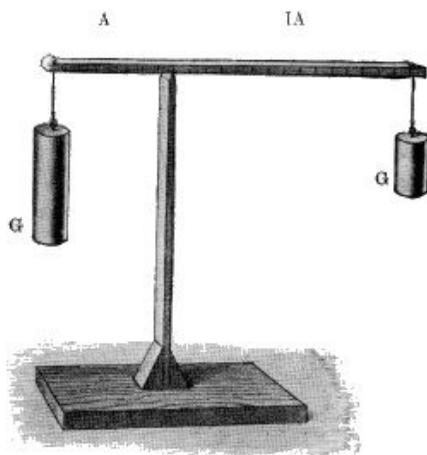


Fig. 35. – Leva.

le cose dette innanzi noi comprendiamo senz'altro, che questa leva deve essere in equilibrio se il minore dei bracci è caricato di un peso tanto maggiore, quanto l'altro braccio è più lungo. Sia A la lunghezza di un braccio, quella dell'altro sia l volte maggiore, cioè lA e G il peso attaccato all'estremità; occorrerà allora attaccare al braccio più corto un peso lG per ottenere l'equilibrio. Evidentemente è $A \cdot lG = lA \cdot G$. Noi possiamo ora sostituire alla forza di trazione esercitata dalla gravità un'altra qualunque a piacer nostro, per esempio la forza nostra muscolare come facciamo quando adopriamo una stanga a leva (fig. 36).



Fig. 36. – Uso della leva.

Il punto d'appoggio, che si chiama anche *fulcro*, è il centro di rotazione di questa leva, e la distanza fra esso

e l'estremità sulla quale noi esercitiamo la nostra forza, o come si dice il *braccio della potenza*, è sempre molto grande rispetto all'altro, cioè al *braccio della resistenza*. L'effetto della nostra forza muscolare viene in questa maniera moltiplicato per il numero che misura il rapporto dei due bracci.

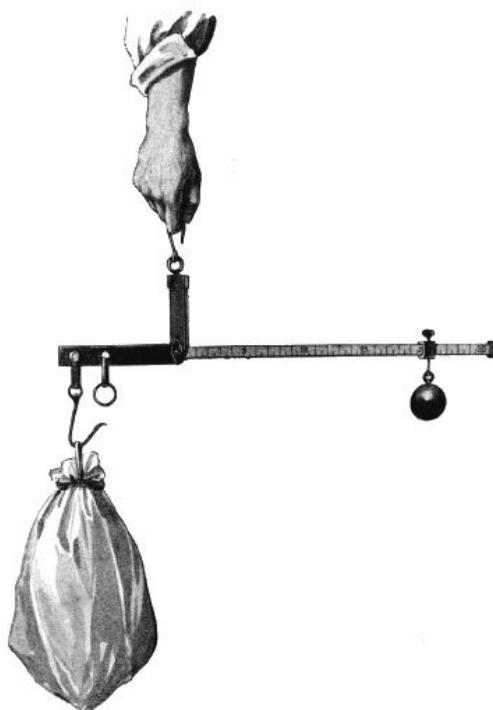


Fig. 37. – Stadera.

Sul principio stesso della leva è costruita la bilancia detta stadera con un peso unico che si chiama *romano* (fig. 37). Un solo peso può qui fare equilibrio ad altri diversissimi, secondo che esso è posto a diversa distanza dal punto d'appoggio; e questa distanza che si può leg-

gere sopra la scala incisa sul braccio della stadera, dà immediatamente il peso del corpo attaccato all'altro braccio invariabile.

Le applicazioni della leva sono tante e così varie che se ne incontra ad ogni passo, e ci serviamo continuamente di esse. Ogni saliscendi è una leva, ogni maniglia che noi giriamo lavora secondo le leggi della leva; le forbici, le tanaglie, e lo schiaccianoci non sono che leve; nella costruzione delle macchine la leva è utilizzata in diversissime forme; anche le ruote dentate dei nostri orologi da tasca agiscono come leve. Il ragazzo che da solo fa l'altalena, sopra un asse, applica la legge della leva utilizzando il peso della parte lunga e libera dell'asse per fare equilibrio al proprio peso (fig. 38).

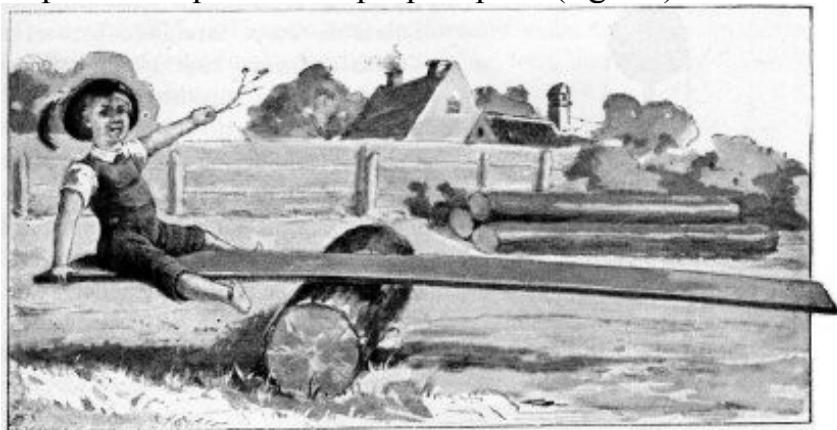


Fig. 38. – Il principio della leva applicato nell'altalena.

Lo stesso principio è applicato in una forma molto istruttiva nello strumento detto «*Taglia*» o «*Paranco*» che esternamente non ha alcuna somiglianza colla leva

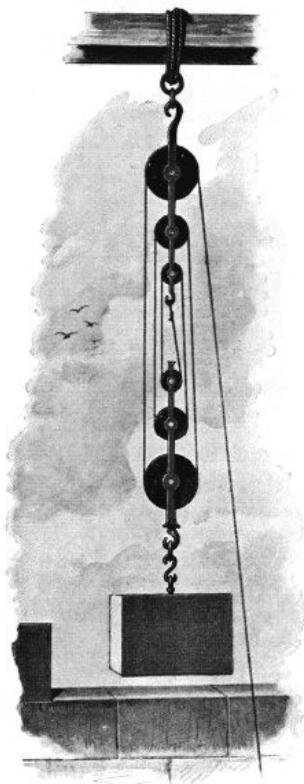


Fig. 39. – Sistema di carrucole (Taglia).

(fig. 39). In questo si ha una corda che passa sopra un numero pari di carrucole, delle quali una metà sono fisse, le altre sono mobili, e ad esse può essere attaccato un peso. È evidente, che per far salire le ruote mobili e con esse il peso di un determinato tratto noi dobbiamo tirare il capo libero della corda, di un tratto tante volte maggiore quante carrucole contiene il sistema. Se esse sono, per esempio sei come nella figura, vuol dire, che il lavoro del sollevamento del peso viene eseguito lungo un tratto sei volte maggiore, e perciò la forza necessaria sarà sei volte minore; ossia, ciò che è lo stesso, possiamo con lo stesso sforzo sollevare un peso sei volte maggiore. Certamente, noi impieghiamo nel più lungo cammino un tempo proporzionalmente più lungo: tuttavia il lavoro meccanico per sollevare il peso rimane sempre lo stesso.

Per tradurre questa relazione in formule matematiche, indichiamo con E il lavoro muscolare che noi possiamo fare nell'unità di tempo; allora nel tempo t avremo fatto un lavoro Et , e se sarà stato impiegato a sollevare un

peso p all'altezza S avremo $Et = ps$ o anche $E = p \frac{s}{t}$.

Ma $\frac{s}{t} = v$ è la velocità con cui il peso si è sollevato, quindi possiamo scrivere $E = pv$. Si vede dunque, che noi potremo sollevare qualunque peso p purchè la velocità di sollevamento sia piccola a sufficienza. Ma per ottenere ciò, bisogna che la nostra forza f possa fare equilibrio alla forza del peso p tanto più grande, e per questo occorre *la macchina*, cioè il congegno in cui si fanno equilibrio forze differenti. La condizione dell'equilibrio nella macchina è, che *gli spazi percorsi siano in ragione inversa delle due forze*, ovvero *che siano eguali i loro lavori*; e indicando con S e con s gli spazi rispettivamente percorsi dalla forza f e dalla resistenza p avremo:

$$fS = ps \text{ ovvero } \frac{f}{p} = \frac{s}{S}$$

Donde il principio generale, che la macchina, qualunque essa sia, non aumenta il lavoro delle forze ma solo ne cambia i fattori, e precisamente, *ciò che si guadagna in forza si perde in velocità o in tempo*.

Alle macchine ricorriamo qualche volta anche per guadagnare in velocità spendendo una forza maggiore di quella da vincere: così, nel *tornio* i giri della ruota principale si moltiplicano in un numero molto più grande di giri dell'asse; e nelle macchine a vapore il movimento dello stantuffo può diventare rapidissimo movimento di ruote secondarie. Ma sempre dove massima è la velocità

ivi è minima la forza esercitata.

Molto raramente però, se non mai, sia nei fenomeni naturali come nelle artificiose ricerche di laboratorio, si ha da fare con una sola forza. Sempre concorreranno più forze che aiutano o disturbano le nostre operazioni. Nel nostro primo esperimento dei due pesi uguali sospesi ad una carrucola, la forza di gravità era già divisa in due forze parziali agenti separatamente, delle quali l'una acquistava per mezzo della funicella una direzione inversa a quella dell'altra, cosicchè esse dovevano tendere ad annullarsi reciprocamente. Il caso si presentava qui subito chiaro, perchè le direzioni di queste forze contrapposte erano parallele. Non sempre però le cose si presentano così semplici: è perciò di importanza fondamentale il saper decomporre, almeno virtualmente, l'azione totale di un sistema di forze nelle parti che spettano a ciascuna

singola forza, oppure inversamente di poter subito stabilire l'azione totale di più forze date che agiscono insieme.

A tal fine prendiamo

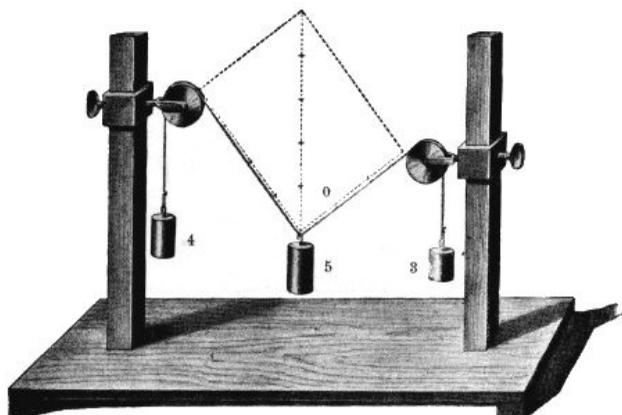


Fig. 40. – Parallelogramma delle forze.

due carrucole e facciamoci passar sopra un filo con un peso attaccato a ciascuna estremità (fig. 40). Se i due pesi sono eguali, allora noi sappiamo che tutto il sistema deve rimanere in quiete. Se al contrario son diversi e, per esempio, l'uno di essi contiene 3 unità di peso e l'altro 4, allora il primo sarà tirato in alto con la forza di $4 - 3 = 1$. Attacciamo ora al filo, tra le due carrucole, un terzo peso che sia maggiore della differenza ma minore della somma dei primi due, per es. eguale a 5. I tre pesi sono allora misurati e indicati dai numeri 3, 4, 5. Il peso 5 di tutti maggiore tira gli altri due e perciò fa piegare il filo tra le due carrucole, ma tutto resta fermo in una determinata posizione di equilibrio: i tre pesi o, diciam pure, le tre forze 3, 4, 5 si fanno equilibrio intorno al punto dove è attaccato il peso maggiore.

Le forze riunite 3 e 4, che insieme formano più di cinque, non sono dunque in grado con la direzione che hanno di sollevare più oltre questo peso, come esse potrebbero fare se agissero in direzione contraria e parallela alla forza 5.

È dunque evidente che agendo così obliquamente contro il peso 5 una parte della forza di ciascuna va perduta. Per misurare questa perdita basta considerare, che la somma delle due forze nel punto d'attacco del peso 5 deve essere precisamente uguale ad una forza 5, diretta verticalmente dal basso in alto, altrimenti non si potrebbe avere l'equilibrio. Si intende però che nella direzione dei rispettivi fili le forze debbono agire con le loro originarie intensità di 3 e 4, perchè niente di esse può andar

perduto, e ciascun peso tira con la forza corrispondente. Noi possiamo rappresentarci idealmente queste forze per mezzo degli spazi che esse nell'unità di tempo farebbero percorrere all'unità di massa, cioè ad un corpo della massa di 1 Kg. supposto perfettamente libero, non soggetto ad alcun'altra forza. Per far ciò noi dobbiamo prendere sul filo del peso 3, a partire dal punto o , una lunghezza eguale a 3 unità qualunque siano, sull'altro filo una lunghezza eguale a 4, e applicare la legge detta del parallelogrammo delle forze, la quale dice:

Due forze applicate al medesimo punto equivalgono ad una forza unica rappresentata in grande direzione dalla diagonale del parallelogrammo costruito su i due segmenti che rappresentano in grandezza e direzione le forze date.

Nel nostro caso, dunque, la diagonale deve avere la direzione perpendicolare, poichè la forza 5 agisce perpendicolarmente, ed essere lunga 5 unità.

Coi numeri che abbiamo scelti, la somma dei quadrati delle due forze componenti è per l'appunto uguale al quadrato della forza risultante ($3^2 + 4^2 = 5^2$); conseguentemente i due triangoli formati dalla diagonale devono essere rettangoli per il teorema di Pitagora; ed il parallelogrammo stesso è un rettangolo e i due fili obliqui si incontrano ad angolo retto, ciò che è facile di verificare sperimentalmente. E l'angolo retto si riformerà sempre, per quanto si cambino le condizioni dell'esperimento, per esempio ponendo una delle carrucole più alta dell'altra o portando il punto d'applicazione della forza ri-

sultante in diverse posizioni tra le due carrucole, purchè le forze rimangano nella proporzione di 3: 4: 5. Se si scelgono diversamente questi numeri allora l'angolo prende un altro valore determinato, che si può subito trovare servendosi sempre del parallelogrammo. Se, per esempio, il peso tra le due carrucole è maggiore di 5, allora evidentemente esso deve tirare il filo più in basso e quindi l'angolo diverrà acuto. Supponiamo che questo peso sia eguale a 6 mentre gli altri rimangono 3 e 4. Noi abbiamo allora da risolvere un problema puramente geometrico: cioè, dati 3 lati che stan fra loro come i numeri 3, 4, 6, costruire un triangolo e trovare l'angolo opposto al lato maggiore. Nel nostro caso secondo le regole della trigonometria piana questo angolo risulta uguale a $117^{\circ},3$. Il supplemento di questo angolo, ossia la differenza tra esso e 180° , che fa $62^{\circ},7$, è l'angolo cercato, formato dalle due forze nel punto comune di applicazione. L'esperimento si troverà in perfetto accordo con la teoria.

In questo caso dunque, come in altri molti che si presenteranno nelle nostre varie ricerche, abbiamo trovato, sempre dentro i limiti d'errore delle nostre misure, pieno accordo fra i rapporti reali e quelli da noi calcolati in base ad una certa ipotesi; allora quest'ipotesi diventa per noi, e la chiamiamo «una legge».

Dentro i limiti che si possono anche idealmente concepire, dobbiamo ammettere che questa legge sia sempre valida e applicabile; e perciò, dopo la scoperta di tali leggi, possiamo, per mezzo di calcolo o di costruzione

geometrica prevedere e conoscere quantitativamente i fenomeni che si produrranno in certe date condizioni anche senza fare l'esperimento pratico. Essendo tal procedimento di uso continuo nelle ricerche fisiche, sarà utile darne un esempio riferendoci al nostro semplice esperimento dei tre pesi.

Cominciamo col domandarci che cosa accadrebbe se noi aumentassimo a volontà uno dei pesi. La teoria ci indicherà subito che questo non è più possibile oltre un certo limite facilmente determinabile, se deve essere mantenuta la condizione dell'equilibrio. Se, per esempio, si facesse il peso di mezzo uguale alla somma degli altri due, si vede, che con lati proporzionali ai numeri, 3, 4, 7, non si può costituire alcun triangolo o, meglio, siamo proprio nel caso estremo, in cui l'angolo opposto al lato maggiore diviene uguale a due retti, e l'angolo delle due forze al punto di unione diviene uguale a zero; ossia i fili si riducono ad essere paralleli fra loro. In questa posizione è chiaro, che i pesi 3 e 4 agendo in uguale direzione e sommandosi fanno così esattamente equilibrio al peso 7, come nel nostro primo e semplicissimo esempio della fig. 33. Ma se il più piccolo aumento di uno dei pesi distruggerebbe l'equilibrio si avrebbe uno spostamento del filo dalla parte del peso aumentato.

Un'altra simile impossibilità geometrica si presenta se si fa il peso medio uguale alla differenza degli altri due, poichè anche in questo caso, abbiamo che la somma dei lati del triangolo richiesto è uguale al terzo lato, ed è un altro caso limite dell'equilibrio. Se si attacca un

peso 1 al filo tra i pesi 3 e 4, l'angolo delle due forze 3 e 4, ossia dei due fili, dovrebbe essere 0; ossia, per mezzo del peso 1 non si avrà alcun piegamento del filo, il che a prima vista può in certo qual modo sembrare sorprendente. Ma in realtà, questo peso 1 non fa che impedire il movimento di tutto il sistema, che rimane ancora in un certo stato d'equilibrio, mentre senza il peso 1 intermedio, naturalmente il filo scorre subito dalla parte del peso 4.

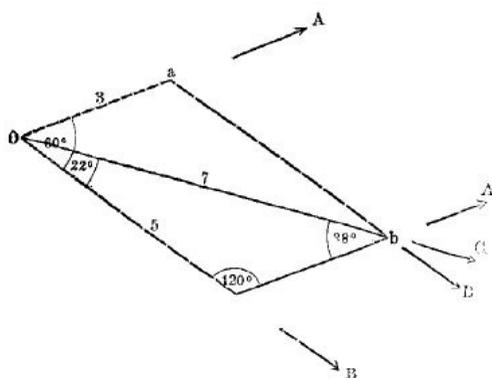


Fig. 41.

Composizione di due movimenti.

Queste nostre ricerche sopra lo stato di equilibrio hanno il vantaggio, che i rapporti fra le forze restando invariati, possono più facilmente esser determinati. Ma la legge del parallelogrammo delle forze ha

ugualmente valore anche per gli stati di moto continuato e variabile. Se, ad esempio, due Soli agiscono a grande distanza (tanto grande appunto, che durante le nostre osservazioni l'attrazione si possa considerare invariata come la distanza medesima) sopra un corpo, in modo che le direzioni delle due forze di attrazione formino su di esso un angolo di 60° , e le due forze stesse stiano tra loro come 3: 5, allora il corpo, lasciato in libertà, non

correrà incontro nè all'uno nè all'altro Sole, ma seguirà una direzione intermedia tra l'uno e l'altro che noi potremo facilmente trovare nell'aiuto del parallelogrammo delle forze, come è nella fig. 41.

I due triangoli in cui vien diviso hanno due lati di lunghezza 3 e 5, e l'angolo compreso tra di essi misura $180^\circ - 60^\circ = 120^\circ$. I due altri angoli sono poi in numero tondo 22° e 38° , e il terzo lato ossia la diagonale del parallelogrammo è uguale a 7. Il nostro corpo, dunque, si volge più verso il Sole che ha maggior forza, poichè la sua direzione fa un angolo di 22° colla linea retta che conduce direttamente ad esso, mentre l'altro angolo è di 38° . La velocità colla quale esso corre nello spazio vuoto in questa direzione, è 7 e non 8, cioè di un'unità più piccola di quello che sarebbe se essa fosse prodotta dalla somma diretta delle forze di attrazione dei due Soli, i quali influiscono in direzione obliqua sul suo movimento. Il corpo adunque si muove come se, invece dei due Soli colle forze d'attrazione 3 e 5, agisse un Sole unico che avesse la forza 7 e si trovasse tra i due sulla direzione della diagonale trovata.

Il teorema del parallelogrammo delle forze si può dimostrare come una conseguenza del principio della composizione dei movimenti: ammettendo che ciascuna forza produce lo stesso effetto, ossia lo stesso movimento, qualunque sia lo stato del corpo, cioè anche se contemporaneamente agiscono su di esso altre forze. Stabilita tale indipendenza dei movimenti, si può dire che alla fine di un certo tempo il corpo mobile si troverà nella

posizione dove lo porterebbero i diversi movimenti, se si compissero l'uno dopo l'altro nel tempo considerato. Nel caso precedente vediamo che il corpo O per effetto dell'attrazione A sarà dopo un secondo in a secondo la linea ba : se giunto qui cessa la forza A e comincia ad agire l'altra, esso percorrerà lo spazio ab , e verrà in b , dove egualmente si trova se le due forze agiscono insieme per un'unità di tempo. Si può anche accennare incidentalmente e solo per dare maggior verosimiglianza a questa maniera di dimostrazione, che in realtà secondo recenti vedute sopra l'azione di tutte le forze naturali, questa indeterminanza del moto considerato nei suoi elementi sembrerebbe essere corrispondente alla realtà delle cose.

Il corpo si muove dunque sotto l'influenza dei due Soli A e B precisamente come se un terzo sole si trovasse posto nella direzione C ed agisse colla forza 7. Un sole che realmente avesse questa forza, e fosse invece posto in direzione perfettamente

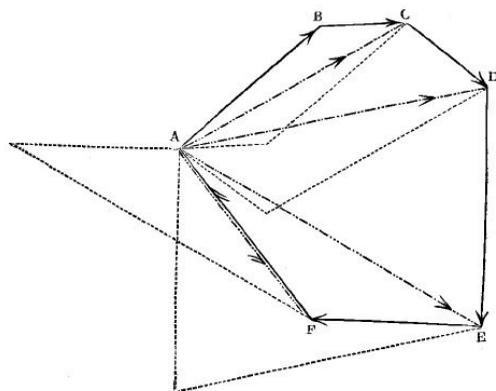


Fig. 42. – Composizione di più movimenti.

contraria – C, dovrebbe completamente bilanciare l'azione degli altri due, ed allora il corpo non si muoverebbe più, ossia sarebbe in equilibrio. Noi possiamo evi-

dentemente, nella maniera ora descritta, sommare tante forze quante vogliamo, agenti insieme sopra un corpo, o, come si dice, *trovare la risultante* di tutte queste forze; per far ciò, troveremo la risultante della prima risultante e di una terza forza, e così via. Ciò si può fare con grande facilità, con una costruzione geometrica fondata sul principio esposto della indipendente composizione dei movimenti. A questo scopo rappresenteremo la prima forza nella sua direzione e grandezza con la retta AB (fig. 42) ed all'estremo B applicheremo la linea BC che rappresenta similmente la seconda forza nella direzione corrispondente; poi la terza CD e così via tutte le altre. In questa maniera si viene a formare il poligono ABC-DEF. Se la linea spezzata poligonale così costruita si chiude in modo da ritornare al punto di partenza, vuol dire che il corpo per la comune azione di tutte le forze è ricondotto al suo punto di partenza, ossia le forze lo tengono in equilibrio. Se invece la spezzata rimane aperta allora la linea retta mediante la quale essa può essere chiusa, nella nostra figura AF, ci dà la direzione e la grandezza della risultante di tutte le forze. Questa costruzione si chiama appunto poligono delle forze e serve per trattare i casi di movimento o di equilibrio. Il problema del comporre o sommare le forze agenti sopra un corpo è di grande importanza per la spiegazione di molti fenomeni fisici, e per l'applicazione pratica in svariatissime costruzioni di meccanica e di architettura; ma spesso è necessario risolvere il problema inverso, cioè quello di scomporre una forza data in due o più altre secon-

do le condizioni assegnate, come se realmente queste forze agissero sopra il corpo dato; e si dice allora che esse sono componenti della forza data.

Questo caso si presenta spesso nella pratica, specialmente perchè spesso una certa parte di una forza per effetto di una resistenza eguale o maggiore, sparisce assolutamente per noi ed occorre allora tener conto soltanto dell'altra parte. Per esempio quando un corpo discende per un piano inclinato, pare che lo trascini una forza speciale agente in direzione del piano, mentre in realtà agisce soltanto una parte della forza di gravità la quale trova nel piano solido un'invincibile resistenza alla sua azione verticale. Se due forze realmente presenti si possono sommare in una forza unica con la regola del parallelogrammo, se, per ritornare all'esempio di prima, due Soli agiscono come un terzo sole che si trovi in mezzo a loro, è chiaro, che noi possiamo pure, inversamente, trovare due o più Soli a nostra volontà con date forze e direzioni i quali insieme, seguendo la stessa legge, producano lo stesso effetto di un Sole unico. Nel nostro esempio dei tre Soli A, B, e - C le cui azioni si fanno equilibrio sopra il corpo O, si potrebbe evidentemente scomporre - C in due soli - A e - B, rispettivamente eguali ad A e B, ma in posizione simmetrica e contraria rapporto al corpo O. Si capisce subito che avremo egualmente l'equilibrio.

Nel caso del piano inclinato, sparisce, rispetto al movimento del corpo, la parte della gravità per la quale esso è premuto contro il piano. Noi dobbiamo dunque per trovare

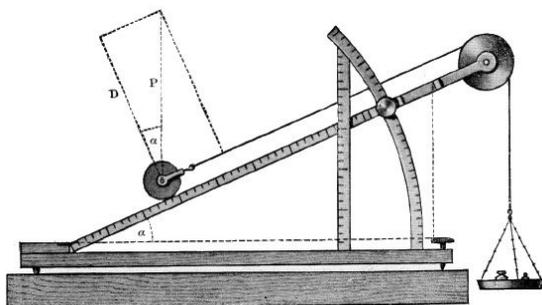


Fig. 43. – Decomposizione della forza nel piano inclinato.

l'altra parte, scomporre il peso P del corpo, in due componenti, delle quali l'una D consiste nella pressione esercitata perpendicolarmente al piano inclinato, e l'altra Z è la forza motrice cercata, disposta parallelamente al piano. La forza P dunque diagonale di un rettangolo fatto coi lati D e Z ovvero l'ipotenusa di un triangolo rettangolo coi 3 lati P , D e Z (fig. 43). L'angolo che il piano inclinato fa col piano orizzontale sia α , allora avremo $Z = P \sin \alpha$. Si può fare sperimentalmente tale dimostrazione attaccando una funicella al corpo mobile, facendola passare sopra una carrucola posta nel punto più alto del piano inclinato, e attaccando all'altra estremità della funicella un peso che faccia esattamente equilibrio alla trazione del corpo. Questo peso facendo astrazione dalle perdite cagionate dall'attrito di cui qui non dobbiamo tener conto, è uguale al valore di Z . Per esempio, se l'angolo α è uguale a 30° , il suo seno è $\frac{1}{2}$, e se il peso del corpo è di 10 Kg. allora bisogna attaccare al filo solo 5 Kg. perchè il corpo rimanga fermo e in equi-

librio.

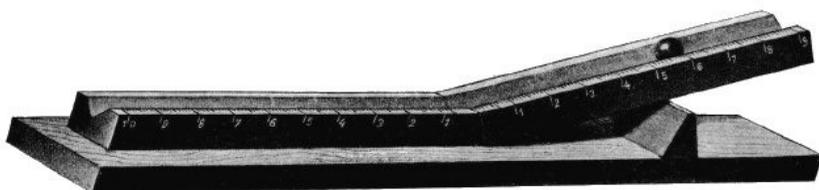


Fig. 44. – Piano inclinato per la caduta dei gravi.

Dopo le cose sopra esposte, diviene facile in ogni dato caso lo scomporre una forza in componenti con qualsivoglia direzione. Il piano inclinato fu utilizzato per la prima volta da Galileo, per poter studiare le leggi della caduta dei corpi più comodamente di quel che non possa farsi nella caduta libera. Egli costruì un canale di caduta, come si vede nella fig. 44 di cui una parte si può inclinare di un certo angolo, mentre l'altra parte rimane orizzontale. Egli faceva ruzzolare una palla sul piano inclinato e proseguire il suo cammino nella parte orizzontale del canale. La velocità colla quale la palla discende giù lungo il piano inclinato dipende dalla componente Z trovata precedentemente, e si può regolare diminuendola a piacere, col far piccolo abbastanza l'angolo di inclinazione. Ma l'accelerazione del movimento segue sempre la stessa legge come nella libera caduta. Quanto più in alto si trova il punto del piano inclinato dal quale la palla comincia la discesa tanto maggiore è la velocità con cui essa arriva al punto più basso, e che mantiene poi invariata per inerzia, nella parte orizzontale del canale, dove può essere facilmente misurata per mezzo di

una scala metrica. Con l'aiuto di questo semplice strumento si possono verificare tutte le leggi della gravità ed anche ricavare un valore discretamente esatto dell'accelerazione g quando sia noto l'angolo del piano inclinato. Se per esempio questo è di 3° , si trova che la palla percorre nella parte orizzontale dal canale circa m. 0,5 al secondo, partendo sul piano inclinato a distanza di m. 0,25 dal punto inferiore. Lo spazio percorso nella caduta durante il 1.^o secondo era dunque m. 0,25, la velocità alla fine del medesimo il doppio di questo numero, il che come già abbiamo veduto corrisponde alla legge teorica. Dai risultati di queste osservazioni noi troviamo $g = 0,5 : \sin 3^\circ$; questo seno è uguale circa a $\frac{1}{19}$; quindi otteniamo $g = 19 : 2 = 9,5$ m., che con un'approssimazione grossolana corrisponde al vero. Col medesimo apparecchio noi possiamo mostrare l'accrescimento della velocità in ragione del tempo, l'indipendenza dello spazio percorso dal peso del corpo e quindi dalla sua massa, ecc.



Fig. 45 – Relazione fra la vite e il piano inclinato.

Il piano inclinato trova una multiforme applicazione tanto nella tecnica come nella vita comune, anche nella forma di **cuneo** e di **vite**. La teoria della vite si può facilmente sviluppare

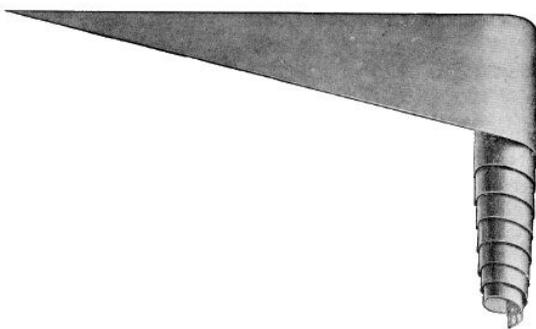


Fig. 46. – Sviluppo della vite.

dalle cose già dette, e le figure qui unite possono illustrare la cosa. È facile intendere come la vite si forma dall'avvolgimento di un triangolo che è precisamente un piano inclinato (figg. 45 e 46).

In tutte le osservazioni fatte finora noi abbiamo supposto tacitamente che i corpi messi in movimento dalle forze fossero semplici punti materiali. Quando noi abbiamo considerato la forza che attrae in basso un peso,

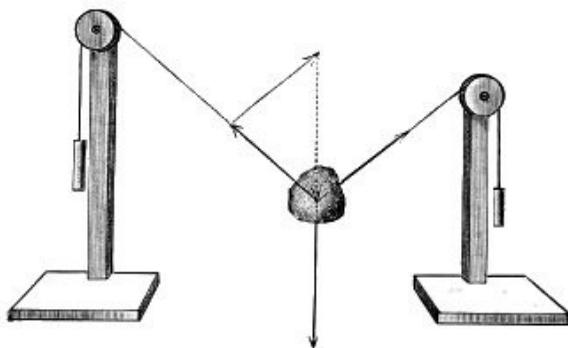


Fig. 47. – Equilibrio e centro di gravità.

si poteva ammettere che questa forza agisse solamente sopra un certo punto del corpo: oppure che agisse sopra tutte le parti del corpo le quali essendo

rigidamente collegate debbono muoversi tutte insieme. Ma ora dobbiamo chiederci come la forza veramente agisce sugli elementi materiali per produrre l'effetto osservato, e viceversa quale effetto si deve produrre quando una o più forze date agiscono sopra corpi di determinata massa e grandezza, e come deve risultare il movimento collettivo delle parti del corpo solido unite fortemente tra loro. Questo è precisamente il problema più generale che spetta alla fisica a risolvere. E la soluzione deve basarsi sulla realtà e non sulle astrazioni che esistono solo nella nostra mente, come nel caso di quei punti incorporei che poi devono ridivenir corpi, se si vuole dai loro movimenti dedurre gli effetti delle forze.

In quanto alla forza di gravità le cose fortunatamente si presentano, almeno alla superficie della Terra, molto semplici. Infatti, se la forza di gravità sopra tutte le singole particelle di un corpo di qualsiasi forma esercita un'azione identica, anche lo spazio percorso da queste particelle deve essere il medesimo per tutte. Si potrebbe dunque dividere un corpo in parti di qualunque forma e grandezza, ed esse una volta riunite come stavano prima, anche cadendo liberamente dovrebbero rimanere unite senza mostrarsi. Se generalmente questo

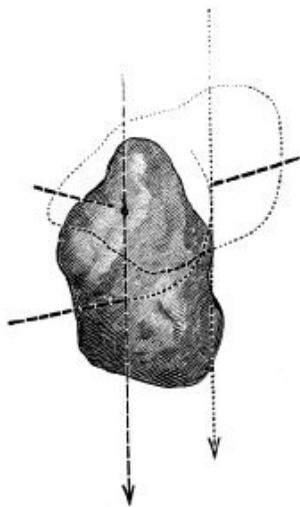


Fig. 48. — Azione motrice della gravità sopra un corpo sospeso.

non accade, ciò è dovuto alla resistenza dell'aria che agisce diversamente sui vari pezzi secondo la loro forma e grandezza e tende anche a voltarli in maniera da mettere avanti la parte che presenta la minore resistenza.

In pratica noi avremo sempre che fare con una somma di forze che agiscono ugualmente sopra tutti i punti di un corpo, e si tratta appunto di misurare questa somma col mezzo più semplice che sia possibile. Questo mezzo semplice ci è offerto dai fenomeni dell'equilibrio, che abbiamo già studiato in parte senza però prendere in considerazione la forma del corpo. Ma ora, dopo avere apprese le principali leggi dell'azione delle forze, dovremo occuparci anche della forma.

Se noi attacchiamo un corpo qualunque ad un filo che passa sopra una carrucola, e dall'altra parte del filo facciamo agire un peso eguale a quello del corpo si otterrà allora l'equilibrio. Ciò significa, che la somma di tutte le forze d'attrazione che la Terra esercita sopra tutte le parti del corpo è uguale e contrapposta ad una sola forza, che è quella applicata nel punto d'attacco del filo e misurata dal peso che tende il filo medesimo. Noi abbiamo così realmente fatto l'addizione di tutte le forze che agiscono sul corpo. Ma risulta da questo esperimento che non è indifferente la scelta del punto in cui è applicata la forza unica contrapposta alla gravità. Secondo la posizione del punto di attacco del filo il corpo sospeso prende una diversa posizione di equilibrio.

Se esso si trova in qualche modo in quiete, è evidente che noi potremmo, nell'interno del corpo in un punto a

nostra scelta nella direzione del filo, sostituire al corpo un peso eguale a quello attaccato all'altra estremità del filo, senza turbare l'equilibrio; ossia, noi possiamo immaginarci la massa del corpo, qualunque sia la sua forma, riunita in un punto qualunque, lungo la suddetta linea, senza che l'effetto della forza di gravità sul corpo venga affatto alterato. Questa linea, come si è visto, la possiamo facilmente trovare coll'esperimento, e con ciò otteniamo un notevole vantaggio per i nostri ulteriori studi.

Sostituiamo ora alla forza unica che tira il filo in alto, due diverse forze, attaccando due fili in differenti punti del corpo, passandoli poi sopra due carrucole e caricandoli ciascuno di un peso: in questo caso si può avere l'equilibrio soltanto coll'applicazione della legge del parallelogrammo. E l'applicazione è facile, poichè qui abbiamo ancora da considerare solo quella linea sulla quale sembra agire riunita tutta la forza di gravità. Il problema diviene precisamente identico a quello già trattato dei 3 pesi. La figura d'equilibrio formata dalle 3 linee che rappresentano le forze deve essere chiusa, ossia formare triangolo completo, il che però è possibile soltanto quando le tre direzioni si incontrano in un punto.

Ciò che già sappiamo sulla riunione di più forze in una comune risultante ci fa vedere, che un corpo qualunque sarà in equilibrio se tutte le forze che agiscono su di esso conducono con le loro direzioni ad un punto unico e se le rette che le rappresentano formano una figura chiusa. Questo punto in cui le linee di tutte le forze

si incontrano si chiama **centro delle forze** e possiamo immaginare che in esso siano veramente applicate tutte queste forze. Se si tratta della forza di gravità noi chiameremo questo punto **centro di gravità**. Un corpo di qualsivoglia forma rispetto alla attrazione terrestre si comporta, *come se tutta la sua massa fosse riunita nel suo centro di gravità*.

Noi possiamo, in base a queste considerazioni, trovare subito sperimentalmente il centro di gravità di un corpo qualunque. Esso deve evidentemente trovarsi in un punto di quella linea di gravità che abbiamo trovato prima, sospendendo il corpo ad un filo. Segnamo questa linea sul corpo secondo due diverse posizioni d'equilibrio, ed allora il punto d'incontro di queste due linee darà la posizione del centro di gravità.

Quando un corpo è attaccato o sorretto nel suo centro di gravità, si ha uno stato di equilibrio che in questo caso si dice *indifferente*. Ma anche se noi sosteniamo il corpo sopra o sotto del centro di gravità, esso rimane in equilibrio. Tuttavia fra questi stati di equilibrio vi sono delle differenze. Se facciamo agire per un momento un'altra forza sul corpo, cosicchè esso venga rimosso dal suo equilibrio, e se è sostenuto sopra al suo centro di gravità, riprenderà subito la primitiva posizione di equilibrio, appena che la nuova forza cessi di agire; nell'altro caso invece, il corpo prosegue nel movimento cominciato e precipita dal suo punto di sostegno. La prima forma di equilibrio si chiama **equilibrio stabile**, la seconda **equilibrio instabile**; ed è facile la spiegazione

della differenza di questi due stati di equilibrio. Infatti, se noi spostiamo il corpo dalla sua posizione di equilibrio in modo che esso venga a prendere la posizione punteggiata della nostra fig. 48, allora il peso agirà nel centro di gravità in una direzione che fa un angolo con quella della forza antagonista del filo. Si genera allora dalla forza di gravità, una componente perpendicolare alla direzione del filo che tira in basso il corpo secondo un arco di cerchio. E poichè il corpo arriva alla posizione di equilibrio con una certa velocità, sorpassa questa posizione, ed allora ha luogo un movimento d'oscillazione analogo a quello del pendolo già da noi studiato particolarmente; movimento che continua fino a che non è vinto dalla resistenza dell'aria ed il corpo rimane fermo nella sua posizione di equilibrio. Lo stesso accade, anche se si attacca direttamente il corpo per un punto qualunque della sua superficie, in modo che esso possa muoversi solamente intorno a questo. Il corpo acquisterà la durata di oscillazione di un pendolo della lunghezza che corrisponde alla distanza fra il punto d'attacco e il suo centro di gravità, e la forza di attrazione della Terra agirà in questo centro come se tutto il resto del corpo non esistesse affatto.

Tutt'altra cosa si osserverà, invece, quando il punto di sostegno si trova più in basso del centro di gravità. Allora appena il corpo è, anche di poco, allontanato dalla sua posizione di equilibrio, la forza d'attrazione agisce sul centro di gravità con un braccio di leva che ha una lunghezza uguale alla distanza dal punto di sostegno al cen-

tro di gravità, e così tira giù l'intero corpo. Se però il punto di sostegno è solidamente connesso al corpo allora questo passa dalla posizione di equilibrio instabile in quella di equilibrio stabile.



Fig. 49. – Conservazione dell'equilibrio.

Dalle cose dette risulta anche, che un corpo può rimanere stabilmente fermo sopra la sua base fin tanto che la verticale abbassata dal suo centro di gravità cade entro questa base: altrimenti, se vi è una differenza anche come una punta di ago, il corpo si trova per lo meno in equilibrio instabile. Se poi la verticale dal centro di gravità va a cadere addirittura fuori della base, allora il corpo è assolutamente fuori di equilibrio. Questa è la ragione per cui, chi porta un peso sul dorso

deve curvarsi in avanti per non cadere all'indietro, e quando è aggravato da una parte bisogna che si pieghi sul lato opposto; ed è anche la ragione per cui si possono portare sulle spalle pesi molto più grandi che sul dorso, poichè nel primo caso non agisce alcun braccio di leva, a cui dobbiamo fare equilibrio (fig. 49).

In tutte le costruzioni meccaniche ed architettoniche, la conoscenza del centro di gravità delle singole parti è di essenziale importanza per assicurare la stabilità del tutto. Se i corpi adoperati sono di forma simmetrica, ed omogenei, vale a dire la massa è in essi uniformemente distribuita, è facile allora determinare la posizione del centro di gravità, poichè sarà sempre possibile per uno di tali corpi trovare tre piani ciascuno dei quali lo divide in due parti uguali. Questi piani debbono evidentemente passare per il centro di gravità, ed il loro punto d'incontro lo determina. Col medesimo principio si trova pure il centro di gravità di corpi non simmetrici, purchè sieno omogenei.

Molto spesso avviene in pratica che un corpo abbia un movimento rotatorio intorno ad un asse, e se ne debba studiare il comportamento rispetto alla gravità. A questo argomento appartengono anche i problemi che si riferiscono alla rotazione della Terra e degli altri corpi celesti. Se l'asse passa per il centro di gravità del corpo, questo ne è sorretto e si trova in equilibrio. L'equilibrio si manterrà anche nelle diverse posizioni che il corpo può prendere rotando; il corpo non può dunque nè oscillare, nè cadere, e perciò si trova in equilibrio indifferente.

Un movimento rotatorio comunicato al corpo con una spinta dovrebbe continuare perpetuamente, se nessuna resistenza d'attrito consumasse a poco per volta l'energia acquistata dal corpo nell'impulso iniziale.

Ma se l'asse di rotazione non passa per il centro di

gravità, allora il corpo, per effetto del braccio di leva su cui agisce la gravità, si sposterà girando fino a che la verticale passante pel centro di gravità incontri l'asse di rotazione in modo, che esso trovi in questa il suo punto d'appoggio; e l'equilibrio sarà stabile o instabile secondo che il centro di gravità si troverà sopra o sotto dell'asse.

Di esempî di corpi rotanti ne incontriamo da per tutto, così nel Cielo come sulla Terra. Nei movimenti di questo genere, oltre gli effetti della forza di gravità si fa ora notare anche l'effetto di un'altra forza che noi già abbiamo imparato a conoscere col nome di **forza centrifuga**. Nei movimenti dei corpi celesti intorno al centro di gravità dei loro sistemi, abbiam visto come la forza d'attrazione appunto fa equilibrio alla forza centrifuga. La formula da noi trovata come espressione della forza d'attrazione, corrisponde anche, invertendo i segni, alla misura della forza centrifuga. Si aveva $g = \frac{4r\pi^2}{T^2}$ ma

$g = \frac{2r\pi}{T}$ è la velocità periferica di un corpo rotante, per esempio di un volano, alla distanza r dal centro: indicandola con v possiamo sostituire a questa espressione l'altra più semplice $\frac{v^2}{r}$. Questa espressione misura la forza con la quale l'unità di massa è respinta dal centro intorno a cui essa ruota.

Per trovare dunque la forza centrifuga totale di una massa rotante occorre moltiplicare la precedente espres-

sione per il numero che misura la massa. Si avrà dunque $\frac{v^2 m}{r}$. La forza centrifuga è dunque proporzionale direttamente alla massa e al quadrato della velocità, ed inversamente al raggio di rotazione.

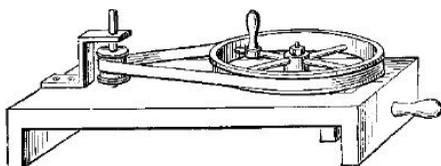


Fig. 50. – Macchina di rotazione.

I diversi effetti della forza centrifuga si possono bene osservare per mezzo del semplice apparecchio della fig. 50, il cui meccanismo è fa-

cile a intendere. Il pernio S gira per mezzo della ruota R, per cui può acquistare una grande velocità di rotazione. Su questo pernio si possono disporre diversi apparecchi accessori. Un d'essi è formato da due palle di peso diverso, collegate con un filo, che possono liberamente scorrere sopra un'asticella metallica orizzontale. Quando il pernio S e le due palle con esso siano posti in movimento queste tenderanno entrambe a fuggire dal centro; e se in principio esse furon poste di qua e di là dal centro ad una certa distanza, potranno allontanarsi ma solo di quanto lo permetterà loro il filo che le tiene unite. Le loro distanze dal centro dovranno in questo caso essere tali che si abbia l'equilibrio, cioè che le forze centrifughe che agiscono sulle due palle siano rispettivamente uguali e contrarie. Dalla formula sopra riportata risulta facilmente, che si avrà l'equilibrio, quando le masse siano inversamente proporzionali alle distanze dal centro di rotazione.

Se, quindi, una palla è di peso doppio dell'altra, essa per l'equilibrio dovrà esser posta dal centro a metà di distanza dell'altra; abbiamo dunque con questo mezzo una nuova maniera di pesata, affatto indipendente dalla gravità. E poichè le due maniere di pesata, danno un risultato concorde, ciò dimostra, alme-



Fig. 51. – Effetto della forza centrifuga su liquidi diversi.

no rispetto alle due forze che sono qui in questione, che la massa dei corpi non può esser definita e misurata se non rispetto alle forze che su quelli agiscono, come se essa esprimesse la somma dei punti di azione delle forze agenti. Tale concetto abbiamo voluto qui accennare alla prima occasione che si è presentata; tuttavia dobbiamo anche aggiungere, che altri fenomeni ed altre ricerche nelle quali ci intratteremo più avanti in questo libro, potranno forse farci modificare quest'ipotesi. Però, fino a prova contraria, non dovremo immaginarci la massa ossia la materia dei corpi come qualche cosa di fisso, che occupa lo spazio, nel modo che si crede comunemente, ma solo come una misura dell'azione delle forze.

Se poniamo in rotazione col solito apparecchio masse diverse in condizione da potersi muovere insieme, collo-

cando, per esempio, le due sfere ad eguale distanza dal centro, allora, al contrario di quello che accadeva nel precedente caso, vedremo la massa più pesante essere spinta in fuori tirandosi dietro l'altra; perchè con uguale velocità ed eguale raggio, la forza centrifuga per la quale il corpo tende ad allontanarsi dal centro, cresce in proporzione della massa. Applichiamo ora al pernio dell'apparecchio di rotazione una bacinella contenente liquidi di diverso peso, per esempio olio, acqua e mercurio; nel movimento vedremo quest'ultimo addossarsi contro la parete alla maggior distanza dal centro, a minor distanza verrà poi l'acqua ed infine, sotto a questa, l'olio (fig. 51). Tale effetto viene oggi utilizzato nell'industria, in varie forme, per separare da una miscela le diverse sostanze che la costituiscono.

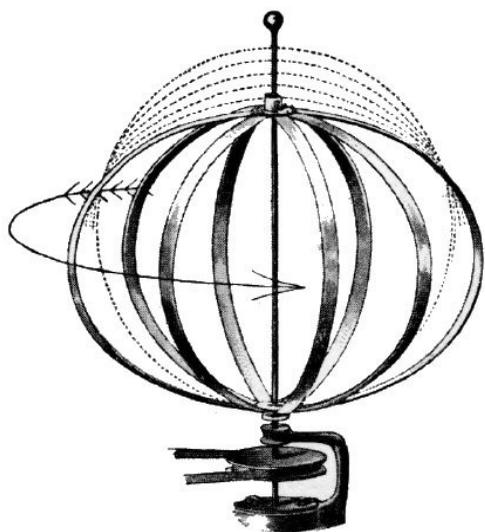


Fig. 52. – Dimostrazione dello schiacciamento della Terra.

Altri interessanti esperimenti si possono fare con l'apparecchio di rotazione, i quali hanno una importanza cosmologica. Prima di tutto si può mostrare, che l'appiattimento della Terra dovette prodursi per il suo movimento di rotazione intorno al proprio asse. Con cerchi elastici, disposti come i

meridiani terrestri, si forma una specie di sfera, e si mette questa in movimento di rotazione intorno al proprio asse, avvertendo però che questi cerchi meridiani non devono essere fissati ad uno dei due poli; allora la sfera rotando si schiaccerà tanto di più quanto maggiore sarà la velocità di rotazione (fig. 52). Si può disporre l'esperienza in modo da potere spingere il fenomeno fino al punto che si desidera, comunicando il movimento rotatorio ad una goccia liquida immersa in un liquido diverso ma di peso specifico uguale, come nell'esperienza di Plateau (fig. 53), adoperando gocce d'olio in un miscuglio di acqua con alcool. La goccia d'olio che prima è sferica prende rotando la forma di un ellissoide schiacciato e poi quella di una lente, come certe nebulose che si vedono in cielo. Finalmente può la coesione della materia essere superata dall'azione della forza centrifuga, e allora dalla lente si libera un anello, come quello di Saturno (fig. 55) oppure il tutto prende la forma di spirale, forma che pure è frequentemente rappresentata in Cielo (figura 54).

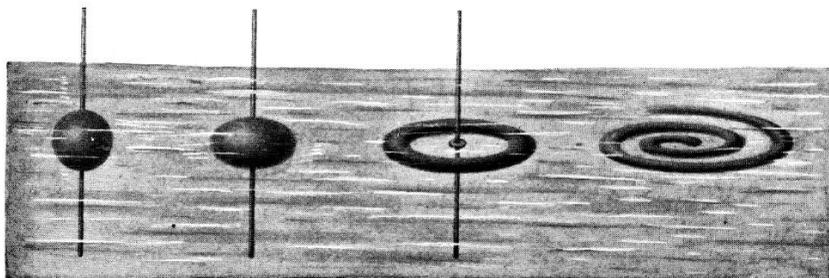


Fig. 53. – Esperienza di Plateau sulla rotazione dei liquidi.

Disponiamo ora l'esperienza in altra maniera. Al

pernio della macchina rotativa applichiamo un'asta come asse, ed all'estremità superiore di questa altre due



Fig. 54. – Nebulosa a spirale nella costellazione del Cane.

aste imperniate in maniera da potersi muovere solamente in alto ed in basso. Le due aste portano ciascuna un peso all'estremità inferiore (fig. 56). Quando l'apparecchio viene messo in movimento, alzandosi i due pesi, le due aste formano tra loro un angolo che è tanto maggiore quanto più velocemente l'apparecchio gira.

Variando la velocità i pesi oscillano in su e in giù, e perciò, questo strumento può essere utilizzato per regolare il movimento delle macchine a vapore e in altri casi simili, e si chiama **regolatore a forza centrifuga**. A tale scopo si aggiunge alle due aste un pezzo snodato scorrente sull'asse, che può alzandosi serrare la valvola del vapore, quando la macchina correndo troppo le due sfere girando si sollevano di più, e allora la velocità diminuisce. Se al contrario la macchina va troppo adagio, allora le due sfere si abbassano e la valvola aprendosi di più lascerà uscire maggior quantità di vapore. Si vede bene, che in questo modo può mantenersi costante una certa velocità della macchina, fissata a no-

stra volontà (fig. 57).

La forza centrifuga ha un'azione per quanto secondaria, anche in un'altra parte importante della macchina a vapore, cioè nel *volano*. Di questo viene sopra tutto utilizzata l'inerzia, per la quale esso conserva il mo-

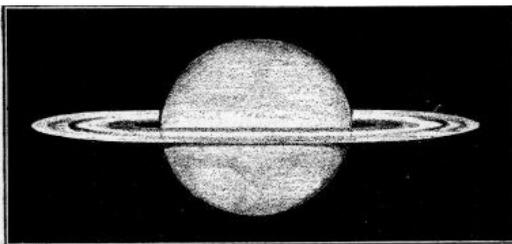


Fig. 55. – Saturno col suo anello.

vimento anche se la forza motrice diminuisce o anche cessa temporaneamente di agire. In questo modo, mediante il volano, l'azione dello stantuffo che procede ad urti, avanti e indietro, secondo l'apertura e chiusura delle valvole, viene trasformata in un movimento uniforme. La forza centrifuga è qui da considerarsi come azione perturbatrice che pur non avendo alcun effetto sulla macchina, può tuttavia influire sul lavoro del volano. Non basta qui che l'asse passi per il centro di gravità della ruota, soddisfacendo alle condizioni dell'equilibrio indifferente; ma esso deve essere anche «asse di figura»; col qual nome si indica una linea di simmetria rispetto a tutte le parti di un corpo. Nel nostro caso dunque i diametri del volano devono essere perpendicolari al suo asse. Inoltre occorre che la massa sia in ogni direzione uniformemente distribuita, cioè che non vi sia, ad esempio, alcun difetto nella fusione del metallo; insomma, per ogni elemento di massa in una parte del volano deve corrispondere all'altra parte dell'asse un'altra massa

eguale, per cui le forze centrifughe siano eguali e contrarie. Allora la posizione dell'asse non influisce sugli effetti della forza centrifuga. Non si creda però che in tali condizioni, nell'interno del volano sia nulla l'azione della forza centrifuga. Tanto è vero, che con una velocità grandissima oltre certi limiti, qualunque volano, anche centrato perfettamente, può essere sconnesso e infranto dalla forza centrifuga se la coesione della sua sostanza non oppone una sufficiente resistenza.

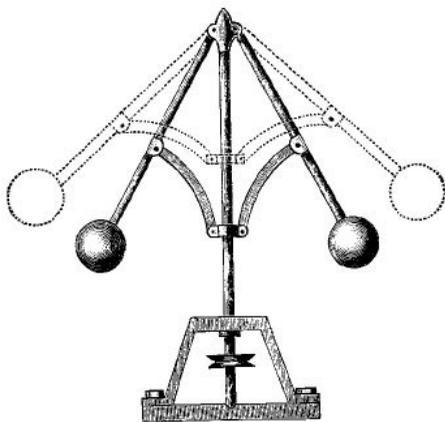


Fig. 56. – Pendolo a forza centrifuga.

Se poi l'asse di rotazione fa un angolo col l'asse di figura, allora la forza centrifuga agisce con un braccio di leva dipendente da quell'angolo e dal raggio della ruota, e questa viene sforzata tendendo i due assi a coincidere di nuovo (fig. 58). La forza centrifuga può essere in

molti casi assai maggiore della forza di gravità. La formula già data ce lo mostra chiaramente. Noi troviamo, ad esempio, che le parti periferiche di un volano di un metro di raggio, che faccia due giri al secondo, ricevono una propulsione 16 volte più forte della forza con cui sono attratte dalla Terra. In una piccola ruota di 4 cm. di raggio, che faccia 20 giri al secondo, la spinta centrifuga

alla periferia è 64 volte più grande della gravità. Tale è dunque la forza con cui il volano inclinato della fig. 58 tende a raddrizzarsi premendo contro l'asse.

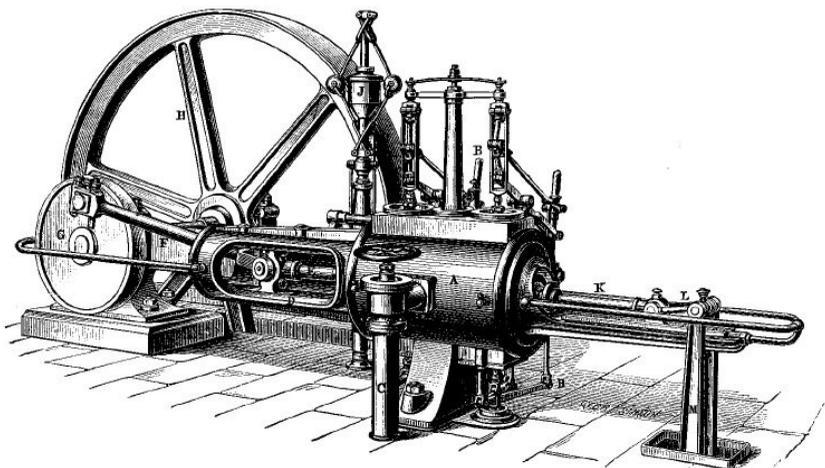


Fig. 57. – Macchina a vapore con regolatore a forza centrifuga.

I fenomeni così singolari della trottola che tanto ci divertì da ragazzi e che ci presenta dinanzi agli occhi, in piccole proporzioni, i grandiosi fenomeni dei corpi celesti rotanti, hanno la loro spiegazione nei principi qui svolti. Noi, ora, non dobbiamo meravigliarci che la trottola rotando appoggiata sulla sua punta, conservi la posizione verticale, più che non faremmo, vedendo la stessa trottola, senza girare, rimaner pure verticale, quando alle due estremità di un suo diametro fossero attaccati due fili e tesi orizzontalmente con pesi eguali e più grandi di quello della trottola. Questi pesi evidentemente tenderebbero a mantenere la trottola nella sua originaria posizione verticale, qualora essa se ne allontanasse:

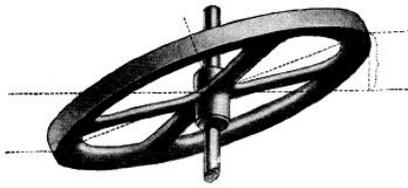


Fig. 58. – Ruota obliqua.

Qui ha luogo un contrasto fra la forza centrifuga e quella d'inerzia, che si può perfettamente paragonare al fenomeno delle oscillazioni del pendolo, sebbene in apparenza si presenti più complicato. L'effetto che sulla trottola produce un attrito od un urto, a causa della rotazione si divide subito in più componenti.

L'estremità libera del suo asse di rotazione descrive, perciò, delle curve intersecate tra loro, la cui forma può essere determinata coll'aiuto del calcolo matematico, partendo dai principi già discussi. Nella fig. 60 si vedono alcune di queste curve: esse sono descritte in diverse condizioni dall'estremità *f* dell'asse quando l'altro estremo *e* sia tenuto fermo. È sorprendente vedere movimenti così varî e complessi sebbene

simmetrici, prodotti da cause semplicissime: e ne possiamo inferire che anche le forze naturali possono dar luogo a simili effetti. Più avanti troveremo inoppugnabili prove, che anche le minime piccolissime particelle

similmente la trottola rotante opporrà resistenza se si cercherà di spostare il suo asse di rotazione, e se si sposterà forzatamente essa tenderà a mantenere la

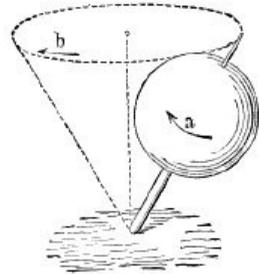


Fig. 59. – Movimenti della trottola: a, movimento intorno all'asse; b, movimento conico dell'asse.

delle quali pensiamo costituita la materia, debbono similmente prendere tali svariati movimenti sotto l'azione delle forze naturali, e non avremo da meravigliarcene più che dei fenomeni osservati in questo semplice trastullo che è la trottola.

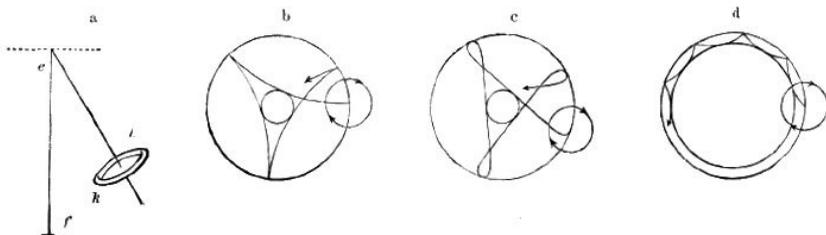


Fig. 60. – Movimenti diversi dell'asse di una trottola.

E come quei piccolissimi movimenti dipendono dagli stessi principi generali della Meccanica, che noi possiamo seguire nei corpi che sono alla nostra portata, così i corpi celesti seguono nei loro movimenti le leggi di una «Meccanica celeste» che dalla prima non differisce nella sostanza ma solo nelle condizioni, e perciò, per noi, anche nella trattazione matematica.

Possiamo benissimo paragonare la nostra Terra ad una grandissima trottola che le forze d'attrazione del Sole e della Luna deviano nella sua rotazione, con continui impulsi sopra il suo rigonfiamento equatoriale. L'estremità dell'asse terrestre descrive quindi una linea spirale simile a quelle della trottola. La forma e le dimensioni di questa linea si possono calcolare con le leggi della Meccanica, ed il risultato si trova in perfetto accordo con le osservazioni. Questi movimenti si chiamano astronomicamente **Precessione** e **Nutazione**. Oltre a

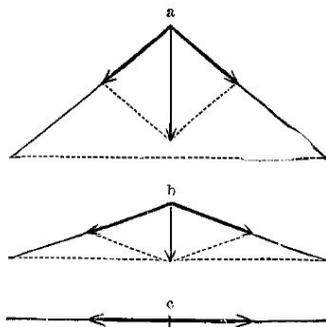
questi, negli ultimi dieci anni si sono notati altri piccoli movimenti dell'asse terrestre, dei quali non si conosce ancora la causa. Nondimeno saremmo forse in grado, dalla grandezza di queste oscillazioni dei poli terrestri, di poter dedurre qualche cosa sulla grandezza della forza sconosciuta che produce questi minimi spostamenti dell'asse terrestre.

Nel mondo dei corpi celesti la forma di movimento dominante è, abbiám visto, quella del movimento centrale. Ma vi è in natura un'altra forma importantissima di moto; **il movimento ondulatorio o vibratorio**, le cui dimensioni sono spesso così piccole, da esserci direttamente invisibili. La nostra mente riesce non solo a riconoscerne l'esistenza, ma a provare, in modo non dubbio, che la maggior parte dei fenomeni della materia si rivela ai nostri sensi per mezzo di tali sottili movimenti vibratorî. E dobbiamo perciò esporre i principî generali di questa forma di movimenti.

La nomenclatura del movimento ondulatorio l'abbiamo presa dai fenomeni che avvengono alla superficie delle acque. Ma noi possiamo osservarlo anche in corpi che, senza essere fluidi, siano solo pieghevoli nelle loro singole parti, come le catene, le corde, le funi tese. Ma poichè noi ancora non siamo informati sopra la causa di questa pieghevolezza o elasticità dei corpi, occorre che consideriamo per ora le singole parti di una catena come corpi assolutamente rigidi, finchè almeno si producono con queste i fenomeni del movimento ondulatorio. E potremo così ammettere che quella pieghevolezza, che è

condizione necessaria del movimento ondulatorio nelle funi, nelle corde tese, ecc., derivi da una connessione delle loro parti a modo di catena.

Una corda è tenuta tesa con una forza conosciuta che noi possiamo rappresentare come un peso che tiene la detta corda in tensione; se noi cerchiamo, premendo o tirando in un punto qualunque, di allontanarla dalla sua posizione di riposo, allora



la tensione (ossia il peso attaccato) T tenderà ricondurla nella sua prima posizione e ce la ricondurrà realmente. La velocità,

Fig. 61. La forza elastica nello spostamento di una corda: a, forte; b, debole; c, nulla.

o, più correttamente, l'accelerazione di questo movimento è manifestamente proporzionale alla trazione T , ed inversamente proporzionale alla massa m cui viene comunicato il moto: e questo si compirà tanto più lentamente quanto maggiore sarà la massa da smuovere. Questi due fattori basterebbero per poter definire il movimento se la trazione T potesse agire nella direzione del movimento, cioè perpendicolarmente alla corda mentre questa è spostata dalla sua posizione di riposo. È invece evidente che questa forza agisce lungo la corda e perciò obliquamente alla direzione del movimento. Servendoci del parallelogrammo delle forze si trova (fig. 61) che occorre dividere l'espressione $T : m$ anche per il raggio di curvatura della corda nel punto dello sposta-

mento; e così otteniamo l'espressione $k = \frac{T}{mr}$) che misura la forza con cui ciascuna parte della corda spostata dalla sua posizione di quiete è sollecitata a ritornarci. Se lasciamo ora libera la corda dopo averla spostata, si nota un movimento oscillatorio che può sotto ogni aspetto essere paragonato a quello del pendolo. Tutte le parti della corda tornano con una certa velocità alla loro posizione di riposo, e perciò la oltrepassano e si spingono, facendo astrazione dalle resistenze, altrettanto dall'altra parte, per tornare indietro di nuovo, e così di seguito. Anche la corda dovrebbe, come il pendolo, continuare ad oscillare perpetuamente con lo stesso modo e con la medesima ampiezza di oscillazione, se non dovesse compiere insieme un lavoro di resistenza, la cui parte maggiore e più nota è di comunicare il proprio movimento vibratorio all'aria, donde nasce per noi il fenomeno fisiologico del suono. Di questo argomento avremo da occuparci più a fondo nel capitolo dell'Acustica.

Perchè da queste oscillazioni si generi una successione di onde, occorre procedere un po' diversamente. E cioè, non spostare lentamente la corda dalla sua posizione di riposo, in modo che tutte le sue parti prendano la nuova posizione prima di mettersi a oscillare: diamole piuttosto un colpo repentino, ed allora vedremo che per effetto dell'inerzia il resto della corda non segue subito il movimento. Mentre subito dopo lo spostamento la forza di tensione già riconduce verso la posizione di equilibrio la parte su cui si è agito, questa trascina le

parti vicine nella direzione dello spostamento iniziale.

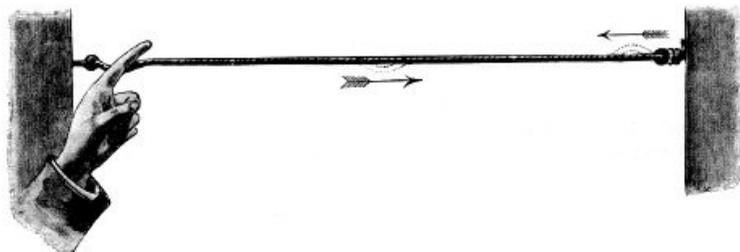


Fig. 62. – Riflessione delle onde in una corda.

In somma, lo stesso movimento si compie successivamente dalle varie parti della corda, ma con un certo ritardo; cosicchè, mentre alcuni punti si muovono verso l'alto, altri a loro prossimi vanno in basso, e così via. Il fenomeno si presenta ai nostri occhi come se un'onda corresse lungo la corda, mentre invece questa apparenza dipende solo dal movimento oscillatorio che i diversi punti della corda compiono contemporaneamente, ma con differenza di tempo e perciò in fase diversa (fig. 62).

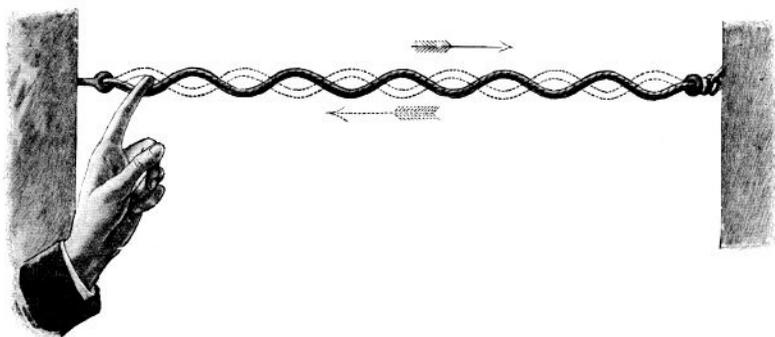


Fig. 63. – Onde stazionarie.

Il fenomeno si rende ben visibile con un apparecchio

che vedremo poi trattando della luce. Esso consiste in una fila di bottoni metallici, fissati sopra aghi che possono scorrere solamente in alto e in basso. Al disotto di questi scorre un piano ondulato che può essere tirato avanti e indietro (vedi fig. 225). In egual maniera si producono e si muovono le onde alla superficie dei liquidi. Nell'acqua tranquilla, e quindi anche sul mare dove il movimento ondoso giunge a dimensioni imponenti, le particelle liquide che formano le onde, nonostante la furiosa velocità colla quale le vediamo investire le rive e le navi, tuttavia si muovono solo in alto e in basso, come si può facilmente verificare osservando un corpo qualunque galleggiante sopra di esse. Questo fatto si mostra in modo chiarissimo e insieme pittoresco allo sbocco del Rodano nel lago di Ginevra. L'impetuoso fiume alpino spinge le sue grigie acque dei ghiacciai molto oltre la sua imboccatura, in mezzo alle acque cupo-azzurre del celebre lago. Ma essendo quell'acqua di ghiacciaio più fredda e quindi più densa di quella del lago, affonda sotto di questa seguendo un cammino che è visibilmente tracciato dalla differenza di colore. Tuttavia le onde superficiali traversano il lago anche in questo punto, indisturbate da questo profondo movimento delle acque.

La nostra pittoresca figurazione può solo darci un'idea degli svariati effetti che nella Natura sono dovuti al movimento ondulatorio, dalle grandi onde del mare che si infrangono contro le rive, alle piccolissime onde dell'etere, che apportano alla nostra vista gli splendidi pae-

saggi e i colori dell'arcobaleno. In ogni istante, quando noi camminiamo o stiamo fermi, siamo investiti da moltissimi movimenti ondulatorî di svariatissima natura e grandezza.

Ritornando alla nostra corda tesa, noi potremo vedere anche che l'onda che la percorre, giunta ad una estremità, è come respinta indietro dalla assoluta resistenza del punto d'attacco, come un'onda liquida da una sponda rocciosa. Se l'onda giunge all'estremità della corda coll'incurvatura volta in basso, torna indietro invertita, cioè coll'incurvatura in alto, ed in direzione opposta, e si dice allora che l'onda è *riflessa*. All'altra estremità poi essa ripete il medesimo giuoco, e così via, finchè le resistenze esterne non abbiano ricondotto il tutto in quiete. Basterebbe una semplice osservazione per mostrarci che la cosa deve avvenire precisamente in questo modo, ma noi non vogliamo ora trattenerci su ciò.

Teoria ed osservazione, concordemente, ci insegnano inoltre, che la velocità colla quale un'onda apparentemente si propaga lungo la corda o in qualunque altro mezzo da potersi paragonare con questa, è indipendente dalla grandezza dell'onda medesima, ed è proporzionale alla radice quadrata del rapporto già considerato della tensione alla massa. Se indichiamo con v questa velocità di propagazione, abbiamo per tutte le forme di movimento ondulatorio, l'espressione $v = \sqrt{\frac{T}{m}}$; dove m è la massa contenuta nell'unità di lunghezza o di volume.

Vi è ancora un altro fenomeno degno di nota, che ha

una parte importante nel movimento ondulatorio; la formazione, cioè, delle cosiddette **onde stazionarie**. Se noi diamo due impulsi alla corda tesa, o, più generalmente, se facciamo su di essa agire due forze successivamente, in maniera da generare due onde di uguale grandezza che corrono l'una dietro all'altra, queste in primo luogo non potranno a vicenda sorpassarsi, poichè la loro velocità v è necessariamente la stessa: ma l'onda generata prima, si riflette all'estremità della corda e, tornando indietro, incontra l'altra che arriva; e l'una spingerà la corda in alto, mentre l'altra la tira in basso.

Deve esserci dunque un certo punto nel quale il movimento diretto e quello riflesso si distruggeranno a vicenda, e perciò quel punto resterà fermo. La posizione di questo punto, rispetto all'estremità della corda, deve certamente rimanere invariata, poichè è costante la velocità delle onde; così, secondo il rapporto fra questa velocità e la lunghezza della corda, si formeranno parecchi di questi punti nodali ad eguali distanze tra loro.

Tra due di questi nodi la corda sembra oscillare in alto e in basso, come se invece di nodi fossero estremità fisse tra le quali si producesse sempre una medesima oscillazione: le onde in questo caso sembrano star ferme. Se l'intervallo tra l'uno e l'altro nodo dipende esclusivamente dalla velocità di propagazione delle onde, esso può diventare un facile mezzo per la determinazione di questa velocità, perchè è molto più facile misurare con esattezza la distanza fra i nodi immobili, che la lunghezza delle onde; le quali trascorrono tanto velo-

cemente, che spesso, in certi moti ondulatorî, il nostro occhio non può scorgere e seguirle. Vedremo poi, che talora basta riconoscere la presenza dei nodi o degli altri fenomeni caratteristici del movimento ondulatorio, per esser certi dell'esistenza di questo e conoscerne la velocità.

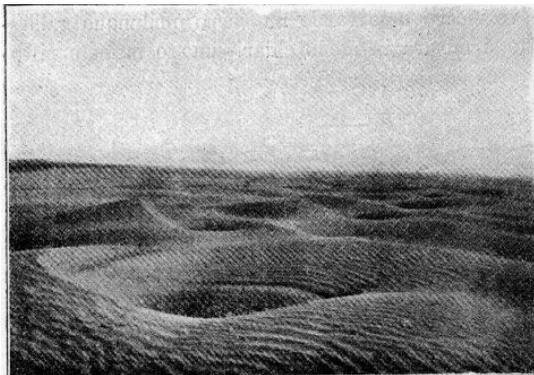


Fig. 64 – Onde nella sabbia.

Il fenomeno di queste successioni di onde che si incrociano, e per mezzo dei nodi danno luogo alle onde stazionarie, si chiama **interferenza**. Esso si può facilmente produrre

gettando nell'acqua due sassi ad una certa distanza l'uno dall'altro. Attorno a ciascun sasso si forma un'onda circolare che va allargandosi rapidamente. Dove i due cerchi di onda si incontrano e si sovrappongono, si producono le onde stazionarie, assai ben visibili perchè in esse si somma l'effetto delle due onde libere e perciò maggiore è il sollevamento e l'abbassamento dell'acqua. Anche più chiaramente si può vedere l'effetto delle onde stazionarie nella sabbia dei bassi fondi presso le sponde piane. Il movimento ondoso regolare riflesso dalla riva produce, in vicinanza di questa, delle onde stazionarie nelle quali l'acqua oscillando più forte d'alto in basso sommuove la sabbia del fondo e forma quivi

come un disegno invertito delle stesse onde stazionarie. Tutti possono aver vedute queste increspature delle sabbie presso le spiagge basse. Anche nelle sabbie delle dune e dei deserti gli urti del vento, riflessi dalle disuguaglianze del terreno, producono di tali increspature (fig. 64), e il deserto sembra talvolta un mare tempestoso pietrificato.

Questi fenomeni hanno condotto il dotto Casimiro Decandolle di Ginevra ad osservazioni e studi notevolissimi. Egli riempì quasi completamente dei recipienti con acqua mista a sabbia: e dando a questa movimenti ondulatori diversi, vi produceva delle onde di interferenza, per cui si formavano nella sabbia figure svariatissime e spesso elegantissime, le quali, con la medesima forma di recipiente e la medesima specie di movimento, avevano sempre aspetto uguale (fig. 65). Queste figure ricordano, spesso con somiglianza perfetta, certi aggruppamenti di linee eleganti e sottili che si vedono esaminando nel canapo del microscopio i corpi di

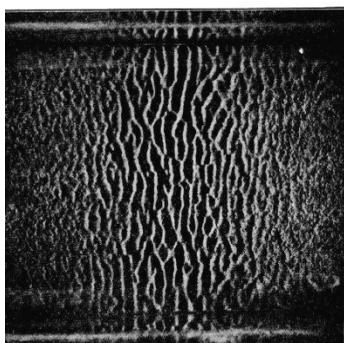
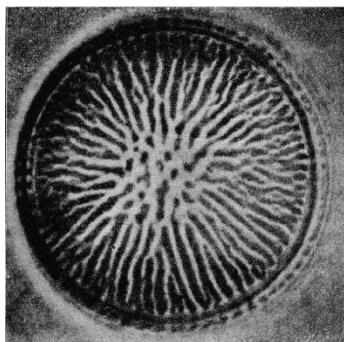


Fig. 65 – Figure nella sabbia secondo Decandolle.

piccoli esseri, animali o piante, che vivono nell'acqua, dove appunto avvien che si producono quei movimenti

ritmici periodici. È assai probabile che nella costruzione delle finissime forme del mondo microscopico i movimenti ondulatorî sopra descritti abbiano una parte importante. Ad ogni modo, si vede da questo esempio, che solo lo studio profondo delle semplici azioni delle forze fisiche inorganiche può aprirci la via alla conoscenza e alla comprensione dei complessi fenomeni della vita.

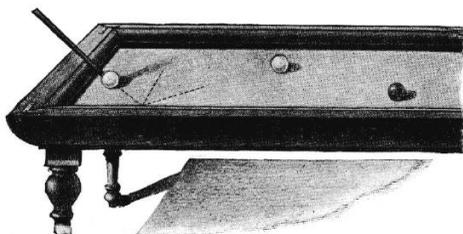


Fig. 66. – Riflessione delle palle nel biliardo.

Un'altra forma di movimento, che ha una sostanziale analogia con quello ondulatorio, viene provocato dall'urto dei corpi elastici. Se noi lasciamo cadere a terra una palla di

gomma, essa rimbalza prontamente in alto e, se potesse muoversi senza alcuna resistenza, raggiungerebbe di nuovo l'altezza da cui è caduta, ed il movimento continuerebbe come quello vibratorio di una corda o come l'oscillazione del pendolo. Questo fenomeno è dovuto, in parte alla pieghevolezza della palla di gomma, in parte alle sue qualità elastiche, per cui essa tende a riprendere la sua primitiva forma se da una forza esterna fu alterata. Anche la corda che già abbiamo fatto oggetto delle nostre osservazioni, possedeva analoghe qualità: infatti essa era pieghevole e, per effetto della sua tensione, riprendeva la sua forma iniziale, corrispondente, in questo caso, alla posizione di riposo. Dobbiamo dunque ammettere, che anche le singole parti della palla di gom-

ma siano tenute insieme da una simile forza di tensione. Se le estremità della corda oscillante non fossero fisse, ma tali da poter cedere alla tensione dalla corda, e questa oscillando urtasse contro un ostacolo come la palla sulla terra, si avrebbe una perfetta analogia di fenomeni.

La palla, dopo che ha toccato il suolo, continua il suo movimento di caduta ancora per un certo tempo, fino a che l'elasticità non gli fa equilibrio, e comincia la sua reazione. La palla deve in questo tempo essere parzialmente compressa. Questo tempo, dal primo contatto della palla colla terra fino al principio della reazione, corrisponde alla durata di una mezza oscillazione di una corda, per la quale abbiamo trovato la formula $T: m$. Qui T esprime il grado della tensione interna, cioè dell'elasticità, e in luogo di m dobbiamo porre la forza colla quale il corpo nella sua libera caduta viene ad urtare contro terra. Quest'ultima è per tutti i corpi uguale per uguale altezza di caduta. Ma il tempo dell'oscillazione e l'ampiezza della medesima, sono, in questa esperienza, molto differenti secondo i diversi corpi. Una palla da biliardo tocca appena il solido piano sul quale la si lascia cadere, per rimbalzare immediatamente in su, e non sembra cambiare affatto la sua forma. Ma se facciamo in maniera che la superficie di contatto, tra la palla ed il piano, rimanga segnata su entrambi, allora vedremo che essa non è un punto ma un piccolo disco. Anche all'avvio della palla da biliardo viene dunque trasmesso nell'urto un movimento vibratorio, soltanto che questo movimento è molto meno ampio e più rapido che nella pal-

la di gomma, e la tensione T che misura l'elasticità dell'avorio è molto maggiore. Noi abbiamo fin qui supposto, che il piano sia assolutamente rigido, ciò che non corrisponde mai alla realtà: poichè anche il piano è elastico, e così l'ampiezza e la durata delle oscillazioni del corpo urtante e di quello urtato, devono distribuirsi in maniera da produrre lo stesso effetto, di spingere cioè la palla alla medesima altezza dalla quale era caduta.

L'effetto dell'urto ha anche un'altra interessantissima ed importante somiglianza coll'oscillazione di una corda: l'urto viene riflesso con la stessa legge, come ogni giocatore di biliardo sa per esperienza. Una palla da biliardo che incontra con un dato angolo la mattonella, viene respinta, facendo astrazione dall'eventuale movimento rotatorio, secondo lo stesso angolo, ma però dall'altra parte (fig. 66). Se la prima direzione della palla faceva con la parete un angolo i , quello di riflessione sarà allora $180^\circ - i$. Nel punto dell'urto la palla si comporta dunque esattamente come l'ultimo elemento di una corda vibrante. E questo si noti, per ricordarsene in seguito in altre importanti osservazioni. Quando la palla di gomma, dopo un certo numero di movimenti in alto e in basso, si ferma nella posizione di quiete, essa non tocca tuttavia il piano sottostante in un solo punto, ma in uno spazio a forma di disco, il quale però è sempre più piccolo di quello che si forma nella sua caduta. L'alterazione della forma della palla, nella sua posizione di quiete, è soltanto l'effetto di un equilibrio tra il suo peso e la sua elasticità, e anche, un poco, quella del piano sot-

tostante.

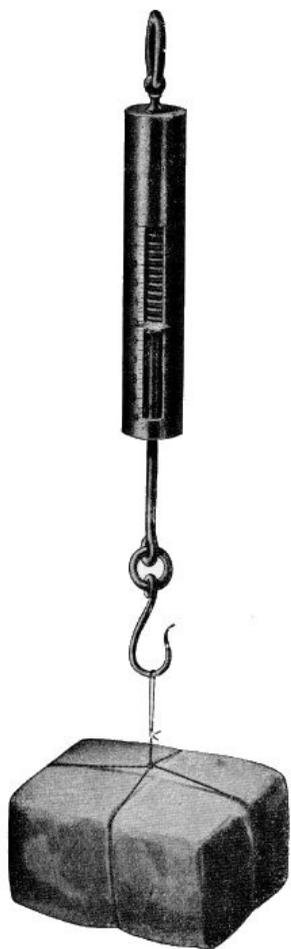


Fig. 67. – Bilancia a molla.

Tutti e due esercitano l'uno sull'altra una pressione, la quale genera una speciale tensione e deformazione delle parti a contatto, così come occorre una certa forza per mantenere spostata dalla sua posizione di riposo una corda. E la corda, allora, comincia il suo movimento non, come prima, per l'applicazione della forza, ma per la cessazione di essa. Lo stato di pressione, sotto il quale la corda deve essere per poter poi acquistare il movimento, rappresenta per noi come un accumulamento di lavoro o, come si suol dire, di **energia potenziale**.

In pratica, questa forza di tensione viene impiegata in molti modi coll'uso delle molle, e, in una forma per noi moltissimo istruttiva, nella **bilancia a molla** (fig. 67). La forza di trazione di un peso viene in questa bilancia equilibrata dalla forza elastica di una molla metallica a spirale, la quale è essenzialmente invariabile. Quanto maggiore è il peso, tanto più la molla sarà forzata ad allungarsi, in modo, che un indice posto all'estremità li-

bera della molla ci indica, insieme con la grandezza di questo allungamento, anche quella del peso attaccato. Qui la forza di gravità è misurata in confronto di un'altra forza di natura diversa, che non cambia come la prima secondo la nostra posizione sulla Terra; quindi una bilancia a molla darà per il medesimo corpo indicazioni diverse di peso all'Equatore o al Polo, il che non avviene colle comuni bilancie a piatti dove si confrontano sempre due pesi fra loro. Teoricamente si potrebbe dunque con la bilancia a molla fare le medesime ricerche sulle variazioni della gravità e sulla forma della Terra, come col pendolo, e infatti per riprova si possono fare; se non che le bilancie a molla sono sempre poco sensibili e poco esatte in confronto delle altre.

Non tutti i corpi sono elastici. Se noi lasciamo cadere sopra un piano solido una palla di argilla molle, essa viene pure compressa e schiacciata come la palla di gomma, ma però conserva questa nuova forma, e così rimane giacente dopo la prima caduta. Anche essa esercita una pressione col suo peso sul piano sottostante, ma non ha luogo in essa quella tensione che si aveva nel caso precedente, di modo che, se noi solleviamo la palla di argilla, questa rimane deformata. Si dice allora che la materia è **plastica**; e come si hanno diversi gradi di elasticità, così si possono avere e determinare diversi gradi di plasticità.

La compressione o deformazione dei corpi plastici ci mostra che anche essi devono essere composti di particelle separate e relativamente mobili; ma non compari-

sce in essi, in modo sensibile, quella tensione che determina i fenomeni elastici. Sarà bene tuttavia notare che la tensione elastica non deve esser confusa con la forza che tiene unite le particelle materiali dei solidi, la coesione, e che si manifesta con le qualità dette **tenacità** e **durezza**.

La tenacità è la resistenza che presentano i corpi ad essere strappati con trazione, o ad essere spezzati con colpi. Durezza invece è la resistenza dei solidi ad essere scalfiti o incisi. In generale, i corpi molto duri sono poco tenaci, anzi sono spesso fragili, come il vetro, e sono molto elastici. Ma non sappiamo stabilire una relazione fra queste qualità, tanto più che sono diverse le forme di elasticità dei solidi secondo la maniera di deformazione, cioè *per compressione, trazione, flessione, torsione*. E presentano elasticità anche i fluidi, liquidi e gas, fra le cui parti manca quasi affatto la coesione.

Ma sappiamo ancora per esperienza, che il medesimo corpo in diverse condizioni fisiche può avere diversissimi gradi di durezza, e, contemporaneamente, cambiano anche la elasticità e la plasticità: il che rivela senza dubbio una relazione stretta tra queste qualità. Per esempio, il ferro a temperatura ordinaria ha una durezza ed una elasticità piuttosto elevate: in istato di incandescenza, invece, esso diviene plastico, e finalmente, ad una temperatura ancora più elevata, la coesione tra le sue molecole viene a mancare e la sostanza diventa un fluido, raggiungendo, per così dire, il massimo della plasticità. A questo proposito si può ricordare anche l'acqua, le cui

proprietà allo stato liquido e di ghiaccio e di vapore, sono così profondamente differenti, che, fisicamente, si presenta in aspetto di corpi assolutamente diversi. Noi oggi sappiamo e possiamo affermare, che tutti i corpi da noi conosciuti possono assumere i tre diversi stati di aggregazione, solido, liquido e gassoso. Sotto l'azione di certe forze interne, sulla cui natura non possiamo ancora intrattenerci, l'acqua e gli altri liquidi cominciano a un certo punto e in certe condizioni ad aggregarsi in forme solide meravigliose, cioè in **cristalli**. Altrettanto improvvisamente, al momento determinato, si formano nei liquidi le bolle gassose nelle quali la sostanze già fluida, ma trattenuta in un volume limitato, si allarga, si espande e si disperda illimitatamente nello spazio, finchè altre forze ed altre cause non torneranno a riunirla e raccogliarla nello stato primitivo.

4. – La meccanica dei movimenti degli atomi.

Con lo stato di aggregazione dei corpi cambia, in generale, anche la loro densità. Un corpo è tanto più denso, quanto più le sue particelle sono vicine e serrate l'una all'altra, in un dato volume; e a tali condizioni corrisponde anche la loro minore mobilità. Così, il ferro fuso occupa un volume maggiore del ferro solido, ed ha quindi peso specifico più piccolo; così pure il vapor d'acqua rispetto all'acqua liquida. Ma si hanno alcune eccezioni quando c'entri il processo della cristallizza-

zione; il ghiaccio, per esempio, che allo stato solido è un po' più leggero dell'acqua e, perciò, galleggia su questa. Noi possiamo spiegarci questo fatto, supponendo che la speciale disposizione delle molecole nella forma cristallina, abbia bisogno di un volume maggiore, mentre nelle condizioni ordinarie le molecole si agglomerano più densamente: ma su questo argomento torneremo più tardi. Lasciando per ora da parte il caso speciale della cristallizzazione, noi possiamo, nonostante l'apparente illimitata divisibilità dei corpi, spiegarci i fenomeni del cambiamento di stato e di densità, supponendo che i corpi siano costituiti di particelle per noi infinitamente piccole, che noi chiamiamo *atomi*, i quali sono tenuti insieme da una forza d'attrazione simile a quella dei corpi celesti. Questa forza d'attrazione, come per i corpi celesti diminuisce colla distanza; cosicchè, per esempio, nei gas, che sono tanto meno densi dei liquidi donde provengono, e dove, perciò, gli atomi devono trovarsi molto più lontani fra loro, vediamo questa forza di attrazione esser nulla o minima, cosicchè i suoi effetti sono trascurabili di fronte alla gravità.

Al contrario, nei corpi solidi questa forza di attrazione è molto più forte di quella di gravitazione. Ma che anche l'attrazione fra gli atomi diminuisca col quadrato della distanza e che essa sia della stessa natura della gravitazione non si può ancora affermare. Solo possiamo dire che le osservazioni fatte non sembrano contraddire a questa supposizione.

Ma poichè non conosciamo alcun corpo di durezza

assoluta, cioè che non possa in alcun modo essere ancora compresso, così in nessuno dei corpi che si conoscono gli atomi debbono considerarsi a contatto tra loro, perchè noi possiamo con la compressione avvicinarli ancora di più. Inoltre, si osserva che la compressione richiede tanto più di forza quanto più il corpo è già da prima denso. Queste due circostanze sembrano contraddire l'ipotesi che gli atomi, come i corpi celesti, si attirino fra loro con una forza che varia inversamente al quadrato della distanza. Sembrerebbe infatti che essi dallo stato liquido o, meglio, dal solido, dovrebbero spontaneamente avvicinarsi fra loro, condensandosi sempre più fortemente, fino ad un massimo assoluto di densità. Dunque, o la nostra ipotesi è falsa, oppure noi dobbiamo aggiungervi ancora una condizione. Alcune vecchie teorie fisiche a questo proposito si appoggiarono sopra ipotesi assai avviluppate sulla costruzione degli atomi, le quali proprio non chiarivano nulla ed anzi ricacciavano le mancanti spiegazioni ancora più indietro nel campo dell'incomprensibile. Si immaginava, per esempio, gli atomi circondati da un'atmosfera, la cui azione elastica produceva fra essi una repulsione.

Anche noi dobbiamo qui aiutarci con un'ipotesi complementare, ma la troveremo facilmente, seguendo il nostro principio di mantenere nelle premesse e nelle conclusioni l'analogia con cose già conosciute. Se, come nei corpi celesti, supponiamo negli atomi dei movimenti rotatori, cosicchè ne nascano gruppi o sistemi analoghi ai sistemi planetari, e che ora chiameremo **molecole**, po-

tremo comprendere, che tali sistemi possono indisturbati avvicinarsi fino a che i loro piccoli mondi nel loro corso non vengano a reciproco contatto. Ma se le orbite degli atomi divengono piccole in rapporto alla grandezza di questi, cominceranno a toccarsi e finalmente a intrecciarsi tra loro. Il movimento rotatorio degli atomi nella molecola intorno al comune centro di gravità, col diminuire delle distanze si accrescerà di velocità. Il sistema, come una trottola che gira, respingerà da sè tutto ciò che incontra e si comporterà come un corpo quasi assolutamente rigido, di dimensioni eguali all'orbita dell'atomo più esterno, mentre solo circostanze speciali potranno restringere ancor più quest'orbita. Ma l'intero sistema, sopra gli altri che non sono con esso in contatto diretto, agirà secondo la legge ordinaria dell'attrazione. Il seguito delle nostre osservazioni ci dirà, se questa ipotesi derivata dall'analogia coi movimenti celesti, sia sostenibile.

In questa ipotesi, abbiamo tacitamente ammesso, che gli atomi siano di per sè assolutamente rigidi; ad essi attribuiamo così una proprietà che nei corpi reali non riscontriamo mai. La rigidità assoluta ci apparisce, infatti, come un'astrazione. È vero che ci siamo imposti come regola di spiegare i fatti solo per mezzo di cose osservate, ma in questo caso la situazione è diversa.

Se nell'investigazione delle proprietà della materia vogliamo addentrarci fino ai suoi ultimi elementi, noi dobbiamo necessariamente considerare questi elementi, come privi di quelle stesse qualità; altrimenti ci aggiria-

mo in un giro di idee, sostituendo al posto delle proprietà che vogliamo spiegare, altre proprietà sconosciute. Ma la rigidità assoluta non è più una proprietà, bensì una necessità logica per gli ultimi elementi di volume. Ed essa significa soltanto, che dove in un determinato momento si trova un elemento di volume, non può, nello stesso tempo, esservene, nè interamente, nè in parte, un secondo: cosicchè, se un elemento di volume si incontra con un altro, tutti e due insieme devono occupare precisamente due volumi.

La rigidità assoluta non è dunque da considerarsi quale una forza particolare, come prima avevano ammesso alcuni, i quali cercavano di spiegare con essa la resistenza dei corpi crescente con la compressione; infatti, questa forza, benchè compresa nel piccolissimo volume di un atomo, dovrebbe essere infinitamente grande, perchè «rigidità assoluta», anche nel concetto di quegli indagatori, significava una forza capace di fare equilibrio a qualunque altra, per quanto grande.

Già abbiamo espresso la nostra opinione in favore della ipotesi atomistica. Per essa, entro limiti a noi inaccessibili, supponiamo dunque un riempimento assoluto dello spazio con materia, la quale non possiede altra proprietà che non sia «estensione» e «movimento». Queste sono le sole ipotesi fondamentali che noi ammettiamo, per dedurne in seguito la spiegazione dei fenomeni naturali.

Dove debban fissarsi questi estremi limiti non possiamo dire: ed è bene che la questione rimanga aperta.

Queste grandezze, che per noi sono atomi, potrebbero per altri esseri differenti da noi essere mondi. E se a noi sembra oltremodo fantastica l'idea che su quegli atomi possa aver luogo in dimensione ridotta un complesso ordinato di fenomeni, numeroso come quello che noi osserviamo sulla nostra Terra, ciò deriva solo dalla nostra consuetudine, per la quale siamo inclinati a considerare come impossibile tutto ciò che esce dalle dimensioni accessibili ai nostri sensi⁶. Solo pochi secoli addietro sarebbe parso fantastico ed impossibile ciò che oggi si sa sull'immensità dello spazio o dei mondi che lo popolano. Forse non è lontano il Copernico che, abbattendo certe idee fisse del nostro tempo, ci apra la via alla conoscenza del mondo degli atomi. Tuttavia, nelle nostre considerazioni dobbiamo imporci dei limiti, sia pur provvisori, e rimanere così fedeli al nostro principio, che ammette solo la conoscenza relativa. E perciò, per fissare esattamente le nostre idee, diremo che gli atomi dobbiamo rappresentarci come parti di spazio, impenetrabili e indivisibili rispetto a tutti i nostri umani mezzi.

Formulata così la nostra ipotesi sulla costituzione di queste minime e invisibili quantità di materia, bisogna pure un momento occuparci del come debbano gli atomi comportarsi tra loro, mentre obbediscono alle generali

6 L'idea di considerare gli atomi come altrettanti mondi, più che fantastica appare assurda; in contraddizione, cioè, con l'ipotesi che gli atomi non abbiano altra proprietà che l'*estensione* e il *movimento*. (N. d. T.).

leggi di meccanica già da noi trattate. Lascieremo da parte gli effetti della gravità, che deve essa stessa essere spiegata coi movimenti degli atomi. Poichè gli atomi, per quanto piccoli, hanno una qualche estensione, debbono avere anche una forma. Noi non la conosciamo: ma finchè si tratta delle azioni meccaniche che abbiamo considerate fin qui, allora si può matematicamente dimostrare che, per l'effetto meccanico complessivo, tutte le forme immaginabili agirebbero insieme come se fossero sfere. E sferici supporremo dunque gli atomi. Come tutti i corpi essi si muovono in linea retta e con velocità costante. Essi non esercitano alcuna influenza gli uni sugli altri fino a che non si incontrano. Se l'urto è centrale, allora le sfere atomiche, nè elastiche nè plastiche, rimangono insieme e proseguono unite il loro cammino, conforme alla legge d'inerzia. Se, per esempio, un atomo colla velocità 3 segue e raggiunge nella stessa direzione un altro eguale atomo che ha la velocità 2, il doppio atomo che ne risulta prosegue il suo cammino con la velocità $\frac{3}{2} + \frac{2}{2} = \frac{5}{2}$. L'atomo più rapido perde in velocità quello che l'altro guadagna. Se i movimenti sono contrari, la velocità rimanente sarà $\frac{3}{2} - \frac{2}{2} = \frac{1}{2}$. Se le velocità sono uguali, il doppio atomo rimane allora immobile, e così le due forze, fino allora attive nel loro movimento, sono permanentemente annullate⁷.

⁷ Che cosa avvenga nell'urto di corpi assolutamente duri e rigidi non sappiamo: la legge della conservazione della forza viva

Ma tali collisioni esattamente centrali non possono accadere che rarissimamente; gli urti saranno in generale obliqui, e basta una obliquità minima, perchè l'impulso agisca con un braccio di leva o si divida in due componenti. Le sfere allora tornano a muoversi facendo tra loro un angolo, che si può valutare con la regola già indicata: ma intanto esse avranno acquistato una rotazione che durerà invariata fino a che non sia alterata da un'altra collisione, ed il movimento progressivo dell'atomo sarà dopo l'urto diminuito della quantità necessaria per dare alla piccola sfera la rotazione. Ora, se veramente, come abbiamo detto, il caso dell'urto esattamente centrale è infinitamente improbabile, tuttavia in moltissimi casi questa condizione sarà quasi soddisfatta, cosicchè i due atomi rimarranno molto vicini tra loro, perchè la massima parte del loro primitivo movimento rettilineo si sarà trasformata in movimento di rotazione. Noi abbiamo, dunque, da semplicissime supposizioni, dedotto con logica sicurezza, che si potranno avere atomi semplici e gruppi atomici: inoltre, che un certo numero di questi atomi deve avere movimento rotatorio. La collisione fra tali atomi rotanti può dar luogo a fenomeni multiformi come abbiamo già veduto nei movimenti della trottola; ma tutti questi movimenti si possono prevedere e determinare esattamente col calcolo, quando siano noti quelli precedenti all'urto. Resta così compito della pura matematica di esaminare se gli stati della materia, come si

porterebbe a conclusioni diverse da queste. (N. d. T.).

osservano, si trovano in accordo colle logiche conseguenze delle nostre ipotesi.

Si può subito farne una prova con la gravità. Nei corpi celesti vediamo smisurate agglomerazioni di atomi, o esistenti già dal primo principio, o formatisi, a poco a poco, per via di quelle collisioni che abbiamo descritte. Supponiamo che una di tali agglomerazioni di atomi si trovi, relativamente ad un dato punto, in quiete. Con questo si viene a dire che le azioni di tutti gli atomi i quali dallo spazio si muovono liberamente verso quel corpo, nel complesso si fanno equilibrio; altrimenti il corpo, ad ogni preponderanza di urti atomici in una data direzione, dovrebbe secondo quella spostarsi. Di questi atomi liberi una parte andrà ad urtarsi con quelli del corpo, ma la maggior parte potrà senza intoppi penetrare nei vani della sua struttura.

I primi saranno respinti indietro dagli atomi del corpo, i quali si trovano in stato di vibrazione, e in tutte le direzioni con uguale probabilità, perchè da tutte sono venuti, ma la loro velocità sarà minore di quella degli atomi non ancora venuti al contatto. Da questo corpo, dunque, viene irradiato in tutte le direzioni un nuvolo di atomi, che possiedono una forza minore della media dominante in questo punto dello spazio celeste; e questa differenza dipenderà dal numero degli atomi del corpo, dal quale i primi sono respinti indietro; in altre parole, essa sarà direttamente proporzionale alla sua massa. Supponiamo ora, che un secondo corpo si trovi in vicinanza del primo. Anche esso riceverà da ogni parte urti

di atomi: ma dalla parte dove si trova il primo corpo gli urti avvengono con minore intensità, perchè da questa parte arrivano gli atomi respinti da quello. Perciò il secondo corpo deve essere trasportato verso il primo come se questo lo attirasse, e precisamente con una forza che è direttamente proporzionale alla sua massa. L'una condizione della forza di gravità è così soddisfatta. Si può facilmente dimostrare che anche l'altra condizione della diminuzione della forza in ragione del quadrato della distanza può essere soddisfatta con le nostre supposizioni.

Noi abbiamo veduto che quegli atomi respinti dal corpo celeste si irradiano in tutte le direzioni; perciò essi devono conservare sempre il loro movimento rettilineo e uniforme. Se un certo numero x di atomi si trova, nel tempo 1 , alla distanza 1 dal corpo celeste, un ugual numero di atomi, al tempo 2 , deve essere alla distanza 2 e così via. Se noi circondassimo il corpo di altri atomi disposti attorno alla distanza 1 , essi verrebbero incontrati dagli atomi respinti, con una forza dipendente da x . Alla distanza 2 potremo collocare un numero quattro volte maggiore di simili atomi fermi, poichè le superficie delle sfere crescono in ragione del quadrato del raggio. La forza collettiva degli atomi respinti rimane però sempre la stessa, perchè anche nella sfera maggiore arriva sempre il solito numero x di atomi. Se, dunque, lo stesso numero di atomi urtati deve distribuirsi sopra una superficie quattro volte maggiore, solo un numero quattro volte minore di atomi in quiete può qui essere incontrato sopra una superficie uguale a quella della sfera più grande;

la forza diminuisce dunque col crescere delle superficie, ossia col quadrato della distanza dal corpo che la irradia. La legge della gravitazione è dunque una necessaria conseguenza matematica delle nostre supposizioni. Nel nostro caso il numero degli atomi irraggiati dal corpo centrale dà la misura della forza d'attrazione di quest'ultimo, perchè questi atomi possiedono una velocità proporzionatamente minore degli atomi liberi che arrivano dalla parte opposta.

Poichè tutti i movimenti dei corpi celesti osservati fin qui si possono esattamente spiegare con le sole leggi della gravità combinata con un movimento rettilineo preesistente, che dà origine alla velocità tangenziale, se ne può dedurre come logica conseguenza, che gli stessi movimenti, debbano anche ripetersi nel campo delle dimensioni molecolari, perchè ivi si hanno le identiche condizioni iniziali. Le nostre osservazioni ci mostrarono specialmente, come da quegli originarî movimenti rettilinei propri anche degli atomi liberi si generino movimenti curvilinei in orbite chiuse, dando luogo alla formazione di sistemi rotanti, quelli appunto che l'astronomo osserva nel cielo, ed il fisico suppone nel suo mondo molecolare.

Noi ci figuriamo, dunque, che gli atomi, aggruppati in corpi celesti o in molecole, si muovano sotto l'influsso di correnti di atomi liberi, cosicchè l'originario rettilineo movimento di queste masse, da noi già chiamato la loro velocità tangenziale, viene ad essere continuamente alterato dalle correnti di atomi liberi, come il movimento

di una nave per effetto delle correnti marine. La grandezza di questa influenza è dipendente dalla intensità raggiunta dalla corrente atomica, che deve considerarsi come attiva nei varî casi. Per esempio, avendo già dimostrato che l'intero nostro sistema solare si muove verso un punto della costellazione di Ercole con una velocità valutata a 30 Km. al minuto secondo, noi possiamo figurarci che il corrispondente campo dello spazio celeste sia occupato da una immensa corrente di atomi, nella quale tutto ciò che appartiene al nostro sistema solare viene trasportato con una velocità uniforme.

Ciascun atomo del nostro sistema riceve da quella parte un numero relativamente maggiore di urti che dalle altre. Tutte le sue parti sono dunque nella stessa condizione; e come in una nave, tutti i movimenti interni avvengono come se non si movesse affatto, così, gli atomi che costituiscono la nostra Terra, si muovono, prima sotto l'impulso della loro propria velocità tangenziale; e poi per effetto della corrente atomica che il sole con la sua presenza genera nella generale corrente, nel modo stesso che un ostacolo, che faccia resistenza ad una corrente d'acqua, produce un vortice laterale. Tutti questi movimenti sono alla loro volta comuni a tutti gli oggetti che si trovano sulla Terra, e perciò non si accertano, nei nostri ordinari sperimenti fatti alla superficie terrestre. Ma la Terra, alla sua volta, provoca la sua corrente centrale di atomi, i cui effetti noi studiamo come forza di gravità. Gli atomi liberi di tutte queste correnti si lanciano con velocità varie a traverso gli spazi celesti. Atomi

liberi che sono stati respinti dalla Terra, raggiungono Giove e quelli di Giove la Terra; così i due pianeti, come tutti gli altri, agiscono reciprocamente sui loro movimenti. È il medesimo fenomeno che si osserva, se si dispone accanto ad una pesante palla di piombo una palla di midollo di sambuco, la quale viene allora attratta dalla prima. La perturbazione che la palla di piombo produce nella corrente atomica della gravità della Terra, conduce la palla più leggera contro la prima. In simile modo ogni molecola deve agire intorno a sè.

Noi siamo, dunque, come circondati da una fitta grandine di atomi liberi che penetrano in tutti i corpi a noi conosciuti. Così, per esempio, in tubo di vetro a grosse pareti, chiuso e saldato a fuoco, dove noi, con tutti i mezzi meccanici di cui disponiamo, non possiamo far penetrare la più piccola quantità di una sostanza qualsiasi, i corpi cadono colla stessa velocità come nello spazio libero. Questo non ci deve ora far più meraviglia, dacchè sappiamo che tra le molecole della materia a noi conosciuta, devono necessariamente essere intervalli, per mezzo dei quali ci spieghiamo la compressibilità, la dilatazione, l'elasticità, ecc. L'osservazione ora fatta ci mostra soltanto che queste lacune, che in confronto alla grandezza delle molecole sono piccole, sono invece grandissime in confronto degli atomi liberi; e rispetto a questi le molecole sono dei veri mondi.

Una debole idea della straordinaria piccolezza che devono avere questi atomi può esser data dalla seguente considerazione. Si è trovato che un grammo di zucche-

ro, macinato finamente coi nostri mezzi meccanici, si può dividere in circa 150 milioni di particelle: ma con questo siamo ancora ben lontani dell'aver raggiunto i limiti di dimensione delle molecole di zucchero, e questi minuscoli frammenti li possiamo ancora vedere col microscopio. Se invece noi sciogliamo lo zucchero nell'acqua, essi spariscono, perchè nel liquido si suddividono uniformemente in particelle ancora più minute. Se facciamo cadere questa polvere di zucchero in uno spazio vuoto d'aria ciascuno di questi 150 milioni di minuzzoli acquista quel movimento accelerato che noi già conosciamo; ciò vuol dire che ciascuno è incontrato almeno da un atomo libero. Questo esperimento mostra che dentro la più piccola frazione di tempo, che possa essere ancora apprezzata da noi, la massa di un grammo deve ricevere l'urto di almeno 150 milioni di atomi. Questo numero, però, in qualunque caso risulta certamente troppo piccolo, sia perchè i frammenti considerati non sono ancora piccoli come le molecole, sia perchè qui è presa in considerazione solo la differenza di urti che produce il movimento di caduta. Un gran numero di altri urti deve servire a generare i movimenti cosmici, a cui quella polvere prende parte oltre al primo, e non minore deve essere il numero degli urti che si annullano scambievolmente. Quale mondo sterminatamente ricco e complesso si apre agli occhi della nostra mente, dentro a questi spazi molecolari!

Le straordinarie conclusioni a cui siamo giunti con le nostre argomentazioni partendoci da ipotesi non provate

ma pur verosimili, si prestano ad una critica a doppio taglio. Ci si può chiedere: come è possibile che corpi così piccoli, quali devono essere questi atomi liberi, possano produrre forze così immense come quelle che vediamo agire nei movimenti dei corpi celesti? e come d'altronde, nonostante l'intensità di questi effetti, tali correnti di atomi, che tutto riempiono, sono assolutamente insensibili, anzi nulla affatto, per noi?

Prima di tutto, a questo riguardo, ricordiamo, che l'impulso della forza è misurato in questo caso dalla massa in moto moltiplicata per la sua velocità. Una massa molto piccola ma dotata di velocità grandissima può comunicare velocità ad una massa anche grandissima. Ora, si può dimostrare, che la velocità degli atomi deve essere così incalcolabilmente grande come piccolo è il volume.

Se, cioè, la forza di gravità è effetto di questi urti di atomi, essa deve agire sulle masse già in movimento, in modo diverso che su quelle le quali si trovano in quiete rispetto al corpo da cui apparentemente parte l'attrazione. Infatti, un urto che sarebbe centrale per un corpo in quiete, agirà invece lateralmente sopra ad un corpo in movimento; e il suo momento di forza viene decomposto in due componenti, il cui rapporto è uguale a quello delle due velocità. Così, ad esempio, il pianeta Mercurio che nella sua orbita si muove più rapidamente degli altri pianeti più distanti dal Sole, deve, relativamente alla sua posizione, essere attratto dal Sole un po' meno che gli altri pianeti, e ciò sarà rivelato dal suo movimento. Mer-

curio presenta infatti delle perturbazioni di movimento, ma non si può con sicurezza affermare che esse abbiano la causa sopra detta. Dal rapporto che deve passare fra la velocità degli atomi liberi e quella di rivoluzione di Mercurio, si può assegnare un limite minimo alla loro velocità; questa deve essere almeno uguale a quella della luce, ossia circa 300.000 Km. al minuto secondo. Per farsi un'idea della enorme energia che nasce da una tale velocità, immaginiamoci che una palla da fucile, di 20 grammi, sia lanciata con quella velocità contro un treno, supponendo però che l'uno e l'altra siano reciprocamente impenetrabili, ossia assolutamente duri. Il treno sia composto di 10 carri pesanti ciascuno 20 tonnellate; cosicchè la massa della palla, che è 10 milioni di volte più piccola, comunicherà al treno una velocità altrettanto minore della propria. Ne risulta, che una palla da fucile, che avesse la velocità della luce, potrebbe, colpendo un treno di 10 carri e di 200 tonnellate, comunicargli la velocità di 30 m. al secondo, ossia una velocità notevolissima per un treno. Ora se la massa di un atomo è immensamente più piccola di quella della palla di fucile, tuttavia bisogna tener presente che un numero immenso di questi atomi agisce contemporaneamente; ed è, allora, bene spiegabile la grandezza della loro azione.

Ad una osservazione superficiale può sembrare incomprendibile che questa fitta pioggia di atomi rimanga inavvertita da noi; ma, riflettendo meglio, tutto ciò risulta solamente apparente. Ciò che resta in un tubo di vetro, in cui si è fatto il vuoto con una pompa, è certamen-

te materia imponderabile, che coi suoi movimenti produce in primo luogo i fenomeni della gravità; ma non può dirsi invisibile, perchè essa lascia passare la luce. Quel *quid* che si trova ancora nel tubo, deve almeno essere un conduttore della luce. Noi torneremo su questo, e su altre proprietà di quello spazio apparentemente vuoto, nei seguenti capitoli. Noi stessi avvertiamo gli effetti di questa pioggia di atomi, talvolta anche troppo con la sensazione del nostro peso.

Una immagine dei fenomeni che, secondo la teoria qui svolta, si compiono intorno ad una molecola, ce l'offre la Terra, coi milioni di stelle cadenti che ogni giorno precipitano su di essa. La Terra è la molecola, le stelle cadenti sono gli atomi originarii. Se esse arrivano da tutte le parti, non possono influire sul movimento della Terra nella sua orbita. Ma i particolari sciami di meteoriti che occasionalmente si incontrano colla Terra, la deviano come corrente secondaria di atomi che si accompagna a quella principale: per la caduta di questi bolidi, pesanti per lo più pochi grammi, si accresce veramente la massa della Terra, mentre diminuisce quella dello sciame delle stelle cadenti, ma le quantità da considerarsi qui sono così piccole, che per ora praticamente non possono essere apprezzate. Lo stesso potrebbe dirsi sulle conseguenti variazioni della gravità, se è giusta la teoria qui svolta sulla natura della forza di gravità.

Sembrerebbe specialmente, che i corpi non debbano essere completamente penetrabili dalla forza di gravità, poichè un certo numero di atomi liberi vengono tratte-

nuti dalle molecole (come all'incirca avviene nel sistema solare per alcune comete e meteoriti), e questi atomi legati, non son più da considerarsi per i mondi molecolari che seguono: per tal processo devesi produrre a poco a poco un accrescimento delle masse molecolari, come del Sole; e l'accrescimento sarà in apparenza spontaneo, perchè non prodotto dall'aggiungersi visibile di altre masse. Se questo corrisponde alla verità, si potrà in avvenire facilmente provarlo, sia sulla massa terrestre sia sui corpi delle nostre ricerche fisiche, e anche sui campioni di misura, difesi con scrupolosissima cura da ogni influenza esterna all'ufficio internazionale di Parigi.

Se immaginiamo una parte dell'universo, isolata da tutto il resto e contenente quindi una definita quantità di materia e di atomi liberi, dobbiamo ammettere, secondo le nostre ipotesi, che ivi ha luogo una continua diminuzione della velocità di tutte le masse, sostituendosi altre forme di movimento, cioè rotazioni, e rivoluzioni intorno a centri in quiete relativa. La «forza viva» od «energia cinetica» degli atomi liberi, percorrenti lo spazio con straordinaria velocità, va a poco a poco a finire prendendo altra forma. Essa si trasforma in movimenti rotatori secondo orbite chiuse, movimenti che in grande si presentano a noi nei sistemi celesti, mentre in scala minima, se non possiamo vederli, ce li immaginiamo nelle molecole. Non ne possiamo vedere in proporzioni medie tra questi due estremi, perchè la preponderanza dell'attrazione terrestre lo impedisce. Se le palle da cannone o

le pietre lanciate potessero continuare il loro movimento rappresenterebbero questi casi intermedi che non possiamo vedere.

Questi piccolissimi movimenti, per quanto avvengano entro le dimensioni molecolari, possono tuttavia in certe circostanze produrre un lavoro per noi visibile, come infatti abbiamo già notato studiando l'elasticità. La forza in sè non va perduta; solamente essa prende un'altra forma che sfugge alla nostra diretta osservazione. I fisici, anche prima di poterla spiegare come uno stato di movimento interno, l'han chiamata «energia potenziale».

In un sistema materiale isolato, cioè completamente sottratto ad ogni azione esterna, sempre avran luogo trasformazioni successive di energia cinetica in energia potenziale. Se vogliamo ammettere, che i fenomeni del movimento dentro i sistemi molecolari avvengano con le stesse leggi che nei sistemi celesti, possiamo dedurre che in un sistema materiale così isolato, i fenomeni si seguiranno percorrendo una scala evolutiva, in modo che gli ammassi maggiori di atomi, come i maggiori corpi celesti, tenderanno ad acquistare movimenti sempre più lenti; e in ultimo si dovrebbe arrivare alla quiete assoluta, quando tutti gli atomi si fossero insieme uniti. Questa immobilità significa la morte eterna di un mondo o di un sistema materiale qualunque. Da conclusioni di questo genere, benchè svolte in un'altra forma, che noi più tardi potremo seguire, i filosofi naturalisti sono stati tratti a gravi preoccupazioni. Se ad ogni singola parte dell'Universo sovrasta questa minaccia di morte assolu-

ta, lo stesso destino deve toccare anche al tutto. Ma se l'Universo esiste fin dall'eternità, la morte generale dovrebbe oggi essere già sopraggiunta, il che fortunatamente non è avvenuto. Vi è dunque qualche cosa di contraddittorio nelle nostre argomentazioni.

Difatti, noi dobbiamo riconoscere di aver trasgredito al nostro primo proposito di non porre a base delle nostre argomentazioni se non principî di fatto verificabili con l'esperienza. In questo caso, si è fatta l'ipotesi di un sistema materiale isolato e indipendente da tutto il resto: cosa impossibile in realtà, perchè in nessun modo può accadere che un corpo possa essere sottratto a tutte le influenze esterne. Nell'universo tutti i corpi agiscono gli uni sugli altri, e dai corpi celesti infinitamente lontani vengono a noi gli atomi e ne portano l'influsso. Noi vediamo, per mezzo dei nostri grandi telescopi, corpi celesti dai quali un atomo libero, anche avendo la velocità della luce, impiega migliaia d'anni per giungere a noi. Poichè di questi corpi noi vediamo continuamente la luce, gli atomi eterei che si trovano sotto l'azione di uno di questi astri, e che formano come un legame fisico di forze fra quello e noi, devono piovere continuamente su di noi, e così da tutti i milioni di stelle che riempiono il cielo. E da distanze ancora smisuratamente più lontane provengono a noi atomi i cui effetti i nostri grossolani sensi non arrivano più ad avvertire distintamente; nè possiamo dire se e dove a queste azioni siderali si debba assegnare un limite. E perciò, quantunque continuamente atomi liberi vengano a riunirsi in molecole, e pari-

mente aumentino le dimensioni dei corpi celesti e con questo la loro energia, tuttavia non diminuisce il numero degli atomi liberi che agiscono su di essi, e la quantità della loro forza viva.

Di quello che di qui potrebbe dedursi circa alla assoluta eternità innanzi o dopo di noi, o circa l'infinità dello spazio, noi non dobbiamo occuparcene. Sappiamo bensì che quei due principî son contraddittori. Non evitarono il concetto della eternità assoluta coloro i quali, osservando che noi non possiamo sempre in tutti i casi trasformare una energia in un'altra, o che non vi è mai in natura un ciclo di fenomeni perfettamente invertibile, vollero concluderne che l'energia e la vita dell'Universo debbono un giorno avere la fine.

Ed ora, esaminando particolarmente nei seguenti capitoli i fenomeni della materia esamineremo se le nostre ipotesi fondamentali ne saranno confermate.

5. – Le forze molecolari e gli stati di aggregazione.

In ciò che precede noi siamo venuti sempre più acquistando la convinzione che tutta la materia, sia essa solida, liquida o gassosa, è costituita di un aggregato di piccole masse solide che si muovono negli spazi a loro assegnati come gli astri nel cielo. Se consideriamo che la meccanica celeste, i cui risultati formano il più gran trionfo del pensiero umano, non fu ancora in grado di poter prevedere l'effetto scambievole e il conseguente

movimento di soli tre corpi, comprenderemo subito quali difficoltà la fisica teoretica incontri nel campo delle forze molecolari, dove interi sistemi di molecole, paragonabili a quelli della Via Lattea, con tutte le loro appendici planetarie, si intrecciano tra loro in svariatissime maniere. L'analisi matematica, che solo può essere capace di portare a conclusioni sicure sui fenomeni di questo mondo molecolare invisibile, ha appena fatto i primi passi in questo regno tenebroso, perchè solamente le azioni collettive, e per noi visibili, di questo complesso atomico, ci offrono un punto di base per investigazioni che si devono riferire ad un grandissimo numero di singoli fatti. Noi dobbiamo quasi sempre limitarci, nelle nostre osservazioni, a trovare leggi o relazioni fra gli effetti di queste azioni collettive, effetti che non hanno apparentemente nulla che fare con le supposte azioni degli atomi. Anzi, quanto più penetriamo nelle particolarità, tanto più oscura si fa la connessione dei fenomeni esterni visibili coi supposti movimenti atomici e molecolari. Solo in ultimo uno sguardo generale e comprensivo delle leggi trovate potrà persuadere della sostanziale unità di tutti i fenomeni e della loro dipendenza dai semplici movimenti e azioni degli atomi.

Di tutte le aggregazioni di materia su cui il fisico può fare le sue ricerche, i gas sono quelli che hanno i movimenti molecolari più liberi e perciò più semplici: dobbiamo quindi in special modo studiare i gas.

In primo luogo osserviamo, che i gas esercitano, da tutte le parti, una pressione sui corpi dai quali sono rac-

chiusi, o che essi circondano. I vari fenomeni, in parte conosciuti da tutti, della pressione atmosferica, lo dimostrano. Sopra di noi si eleva ed estende un oceano di aria di altezza sconosciuta, che a poco a poco finisce nel cosiddetto *vuoto* dello spazio celeste. Tuttavia noi possiamo valutare esattamente il peso di una colonna verticale d'aria di una data sezione, che va proprio a terminare nello spazio siderale, per mezzo della pressione che essa esercita sulla superficie della Terra.

Per ciò fare si riempie un tubo di vetro di lunghezza sufficiente e chiuso da una parte, con un liquido pesante, che è il mercurio, in modo che l'aria esca del tutto dal tubo, e quindi se ne immerge l'estremità aperta in una vaschetta contenente pure mercurio. Drizzando verticalmente il tubo la colonna di mercurio si abbassa staccandosi dall'estremità chiusa e lascia uno spazio privo d'aria; ma essa, impedita dalla pressione atmosferica che agisce dal di sotto nella vaschetta scoperta, non può abbassarsi oltre un certo punto. Essendo il vetro impenetrabile per l'aria, questa non può premere sul mercurio nella parte superiore del tubo che è chiusa, ma solamente da quella inferiore, aperta; e da questa parte il pesante liquido è spinto in alto nel tubo dalla pressione dell'aria, preci-

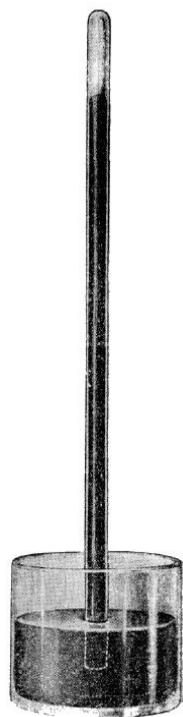


Fig. 68. – Misura della pressione atmosferica.

samente fino a che il peso di questa sulla vaschetta scoperta giunga a fargli equilibrio.

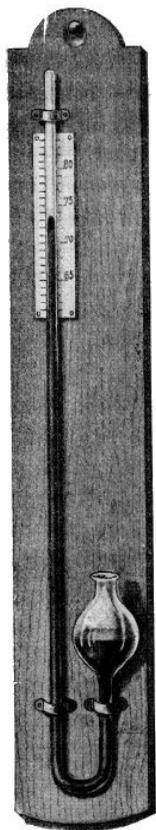


Fig. 69.
Barometro a
sifone.

Ordinariamente, al livello del mare, la colonna di mercurio raggiunge un'altezza di circa 760 mm. Il semplice strumento così formato è il **barometro**, misuratore della pressione atmosferica. La fig. 68 rappresenta tale strumento nella sua forma più semplice; quella seguente (70) la vaschetta del mercurio in un barometro di precisione; nel quale, per mezzo della punta fissa e visibile sul livello del mercurio, si può ottenere sempre esattamente la stessa posizione di questo livello, rispetto alla scala di lettura. Le indicazioni dei barometri, è noto, vanno soggette a continue variazioni. Spesso la pressione dell'aria è, non senza motivo, diversa in regioni vicine, e perciò l'aria si riversa dalla regione dove è più premuta in quella dove lo è meno, e da ciò nasce il vento. Tutti i complessi fenomeni dei quali si occupa la meteorologia sono strettamente connessi con questi movimenti dell'oceano aereo, e noi sappiamo quanto la vita terrestre dipenda da essi. Vi sono persino

delle piante che son sensibili alle condizioni atmosferiche come lo stesso barometro. Per gli usi pratici si è presa come unità di misura questa pressione «normale» di 760 millimetri di mercurio a 0 gradi, e si è chiamata

un'atmosfera.

Se nell'esperienza sopra descritta si sostituisce l'acqua al posto del mercurio, è chiaro che occorrerà adoprare un tubo tanto più lungo quanto l'acqua è specificamente più leggera del mercurio: e si trova che il tubo deve essere lungo non meno di m. 10,33: perchè tale è l'altezza della colonna d'acqua che fa equilibrio alla pressione atmosferica normale. Ne risulta dunque che il mercurio è 10,33:0,76 volte più peso dell'acqua, ossia che il suo peso specifico è 13,6: il che concorda pienamente con le pesate dirette. Il barometro potrebbe perciò anche essere adoperato come bilancia per i pesi specifici.

Sappiamo che un decimetro cubo d'acqua pesa 1 Kg., perciò l'acqua del barometro ora descritto, dato che la sezione trasversale del tubo misuri un decimetro quadrato, peserà 103,3 Kg., ed un peso esattamente uguale dovrà avere la colonna d'aria che sopra un decimetro quadrato della superficie inferiore libera del liquido si innalza fino agli sconosciuti limiti dell'atmosfera. Computando la sezione trasversale massima del corpo di un uomo in piedi in 12 decim. quad., ne segue che dovremmo portare sulle nostre spalle un peso di 1250 Kg., se la pressione dell'aria agisse solamente dall'alto in basso. Ma poichè l'aria circonda in ogni parte il nostro corpo e

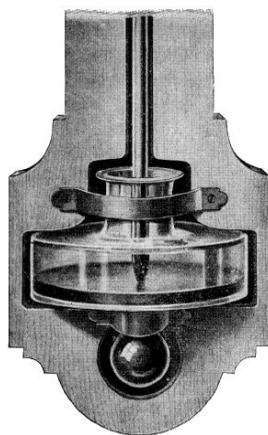


Fig. 70. — Altra vaschetta barometrica.

preme dall'esterno come dall'interno con ugual forza, penetrando i più fini tessuti, tal pressione non può produrre alcun movimento, nè strappare i nostri tessuti, nè fornire lavoro ai muscoli per il movimento delle membra, eccetto tutt'al più il far penetrare nel petto l'aria necessaria durante l'inspirazione. Però la natura ingegnosamente ci facilita, coll'aiuto della pressione atmosferica, il lavoro di certi muscoli, come mostrano certe interessanti osservazioni. Dovendo le nostre gambe sopportare il peso di tutto il corpo, debbono essere solidamente costruite ed avere perciò un peso considerevole. Questo peso dovrebbe ad ogni passo essere sollevato da terra dai muscoli che uniscono la gamba al bacino, se ciascuna gamba di per sè fosse circondata da tutte le parti dalla pressione atmosferica. Ora invece l'osso del femore è collegato al bacino per mezzo di un'articolazione sferica assolutamente impermeabile all'aria, in modo ch'esso, nonostante la libera mobilità, rimane tuttavia fortemente aderente al bacino, quando la gamba viene sollevata da terra. Il suo peso viene così sopportato da tutto lo scheletro, e relativamente anche gravita sopra l'altra gamba che si trova appoggiata sul suolo; mentre il muscolo che collega la gamba libera col bacino ha solo da compiere il lavoro necessario per il movimento ma non ha, oltre a questo, da sostenere il peso. In questo caso la pressione atmosferica agisce solo dal basso in alto, premendo la gamba contro all'incavo osseo «la scodella» del bacino (figg. 71 e 72). Sui cadaveri si è potuto provare l'esattezza di questa osservazione. Se si taglia il muscolo, la

gamba rimane ancora attaccata al bacino, ma cade subito quando venga fatto un buco attraverso il bacino fino alla scodella, in modo che la pressione atmosferica possa agire anche dall'alto. Una disposizione analoga si ha anche per sostenere il peso delle braccia.

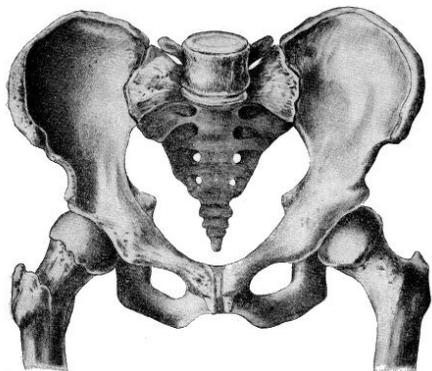


Fig. 71. – Le ossa del bacino.

Il barometro fu inventato dal fisico italiano Torricelli, il quale ne ebbe l'idea, nella costruzione di un profondo pozzo. Il livello dell'acqua si trovava a 30 braccia di profondità: vi si era calato un tubo, ma, benchè la pompa aspirante funzionasse perfettamente, non si potè inalzare l'acqua oltre 28 braccia, l'altezza cioè del barometro ad acqua. Si può inalzare l'acqua anche ad altezza maggiore, ma allora occorre adoperare una pompa aspirante e premente, con valvole, la quale, dopo avere aspirato l'acqua nel cilindro, la fa salire premeandola.

Una volta si credeva che i recipienti del genere di quelli ora descritti, si empissero di liquido, perchè la Natura non tollerava il vuoto. Ma il principio dell'*horror vacui* non potè più sostenersi



Fig. 72. – Articolazione sferica del femore.

dopo che fu scoperto il «vuoto Torricelliano» al disopra della colonna di mercurio del barometro: vuoto che sopra i 760 mm. si può fare grande quanto si vuole, senza che esso possa più, neppure minimamente, sollevare il mercurio. Un tale spazio completamente vuoto di materia pesante, prima d'allora non si era potuto ottenere.

Un altro storico e celebre esperimento dimostra la grande potenza della pressione atmosferica: «gli emisferi di Magdeburg» immaginati e costruiti da Ottone di Guericke. Egli aveva, per mezzo di una pompa, tolto l'aria da una grossa sfera vuota, composta di due emisferi di ferro, levigati in modo da combaciare perfettamente l'uno sull'altro; ed in queste condizioni parecchi cavalli, attaccati dalle due parti, non erano capaci di staccare l'uno dall'altro i due emisferi, i quali invece si separavano subito, appena si lasciava di nuovo penetrare l'aria nell'interno aprendo la valvola (fig. 73).

Sullo stesso principio è fondato il barometro metallico o *aneroide* (fig. 74), che è costituito da una scatola piana, di lamina metallica sottile, da cui fu tolta l'aria. La pressione atmosferica esterna preme come un peso sopra le pareti della scatola incurvandole: ma, essendo questa pressione variabile, anche questo incurvamento delle pareti della scatola sarà maggiore o minore, e questi movimenti, per mezzo di una leva sensibile, mettono in rotazione una lancetta, che oscilla così secondo le variazioni atmosferiche, con altrettanta prontezza ed esattezza come la colonna di mercurio nel barometro. Che la pressione atmosferica agisca in tutte le direzioni si può

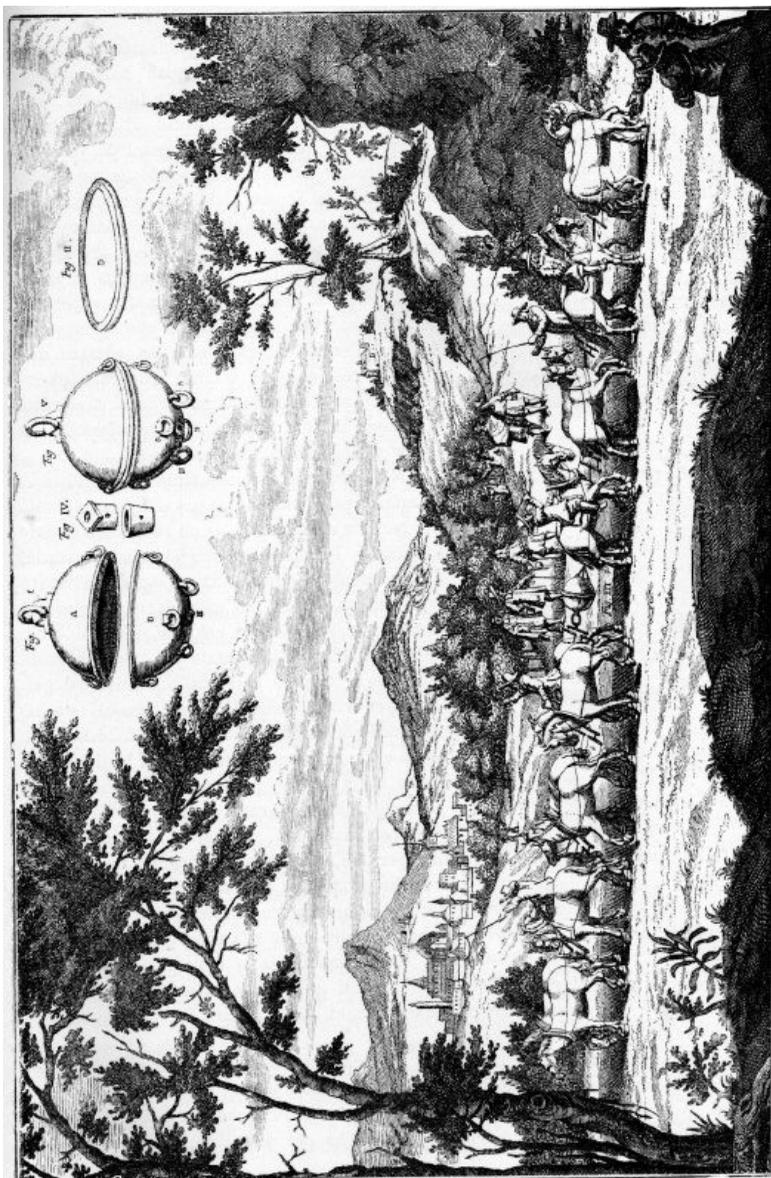


Fig. 73. – Gli emisferi di Magdeburg (Dis. orig.).

riconoscere anche dal fatto che un liquido cadente liberamente in mezzo all'aria, per esempio una gocciola d'acqua, prende la forma sferica, la quale fra tutte è quella che offre a questa pressione la più piccola superficie. Si potrebbe obiettare, che anche nello spazio vuoto le gocce liquide prendono la forma sferica, per effetto, in tal caso, solo della coesione interna. Ma secondo le nostre teorie i due fenomeni non sono in sostanza diversi. L'arrotondamento e l'accentramento delle masse fluide, isolate come i corpi celesti, avviene per effetto degli urti degli atomi, che da tutte le parti li investono; si potrebbe dunque dire, anzi l'abbiamo detto, che si tratta di pressione dell'etere. D'altra parte noi dobbiamo ammettere che la goccia d'acqua nell'aria, o la goccia d'olio nell'alcool di uguale peso specifico, sono esposte da ogni parte agli urti molecolari, l'una dell'aria, l'altra delle particelle di alcool donde nasce la pressione. Noi dobbiamo dunque, così nell'etere cosmico, come nei gas, nei liquidi, ed in fine anche nei corpi solidi, incontrare fenomeni di questa specie, i quali solo gradatamente trapasseranno in fenomeni secondarî o anche spariranno del tutto per effetto del ravvicinamento sempre più stretto delle particelle materiali. Questi fenomeni secondarî generalmente si comprendono nel nome di «attrito interno» e un tale effetto deve pur aver luogo anche nell'etere cosmico. Come fu possibile la dimostrazione che gli spazi celesti non sono completamente trasparenti, e che perciò, di là da un limite, non determinato per ora, non si possono più scorgere gli astri, si troverà an-

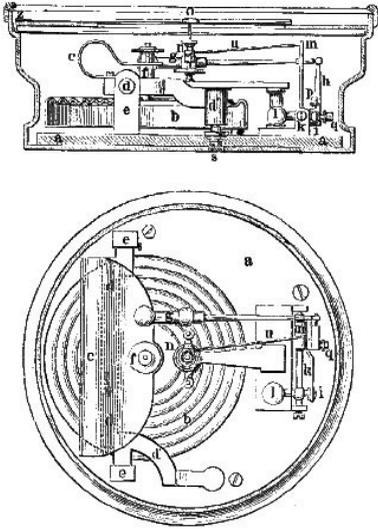


Fig. 74. – Barometro aneroide.

che un giorno, che la gravità pure ha i suoi limiti, e che la sua azione diminuisce più rapidamente che il quadrato della distanza, perchè gli atomi eterei anche nel libero spazio s'incontrano tra loro, e ne viene diminuito il loro effetto di gravitazione. Nelle molecole dei gas un gran numero di atomi eterei sono riuniti insieme, e per ciò han perduto la loro originaria e grandissima velocità. Queste molecole non esercitano le

une sulle altre alcuna azione, perchè non si aggirano intorno in orbite chiuse. Ogni molecola di gas ha ancora, come l'atomo libero, un movimento rettilineo uniforme, fin tanto che non incontra sul suo cammino un'altra molecola. Ogni gas lasciato libero riempie tutto lo spazio disponibile: esso si disperde nel libero spazio celeste, se ciò non gli è impedito dall'attrazione di un grande corpo, come è il caso dell'atmosfera. Questo espandimento è l'effetto del movimento rettilineo delle sue particelle, che non trova alcun ostacolo nello spazio.

Perciò due o più gas si compenetrano tra loro e si dice che essi «si diffondono» l'uno nell'altro; e la diffusione ha luogo tanto più facilmente, quanto più piccola è la densità dei gas. Questo è in pieno accordo coi nostri

fondamenti teorici. Se ai movimenti delle molecole di gas opponiamo un ostacolo, come avviene con le pareti impermeabili dei recipienti, le molecole vengono respinte indietro continuando il loro cammino rettilineo in differente direzione, finchè non urtano di nuovo in altra parete, ed in questa maniera continuamente si agitano a zig-zag dentro al recipiente. Gli urti che in questo modo vengono a colpire ugualmente tutte le pareti, producono quella pressione omnilaterale dei gas, che noi già per esperienza conosciamo. Se diminuiamo il volume del recipiente senza diminuire la quantità del gas, le molecole percorreranno il cammino da una parete all'altra del recipiente, nel medesimo tempo che prima; ma gli urti essendo più frequenti, la pressione contro le pareti del vaso deve essere proporzionatamente più grande. Una facile considerazione teorica dimostra che in base a questa ipotesi l'aumento della pressione deve essere in ragione della diminuzione del volume, ossia, che «la pressione di una data quantità di gas deve variare in ragione inversa del suo volume». Questa è la celebre **legge di Boyle e Mariotte**: legge sperimentale, ma che è pure deduzione necessaria delle precedenti ipotesi sulla costituzione dei gas. Questa legge è pienamente confermata dall'esperienza, tranne per le pressioni estreme, nelle quali hanno luogo irregolarità e differenze; le quali, del resto, esaminate con maggior diligenza, risultano ancora conferme dell'ipotesi. Non è che un'altra forma di espressione della legge di Boyle e Mariotte, il dire che, per una data quantità di gas, il prodotto del volume

per la pressione rimane costante. Misurando la pressione media dell'atmosfera col barometro, e conoscendo la densità dell'aria, verremmo così a conoscere anche il volume dell'atmosfera stessa e quindi l'altezza; e troviamo come «altezza virtuale» atmosferica 7,99 km. Questo calcolo e questo numero presuppongono che la densità dell'aria rimanga dappertutto uguale a quella che si ha alla superficie della Terra; il che notoriamente non corrisponde al vero. Perciò questa altezza ha solo un'importanza teorica, ma intanto troverà applicazione per certe considerazioni da farsi in seguito. In realtà, la vera altezza dell'atmosfera ha un valore almeno dieci volte maggiore.

Noi possiamo sperimentalmente valutare in grammi la pressione che un gas esercita sull'unità di superficie della parete di un recipiente di date dimensioni. Tal pressione non è che la «quantità di movimento» che l'unità di superficie riceve dagli urti molecolari nell'unità di tempo, e perciò viene a dipendere dalla velocità delle molecole stesse e dalla massa totale di gas contenuta nell'unità di volume, ossia dalla densità del gas. Così, per via di semplici ragionamenti meccanici, mediante una formula che è fondamentale per la «Teoria cinetica dei gas», si ha il modo di calcolare le velocità medie delle molecole nei varî gas, presi a determinate condizioni di temperatura. E si trova, per esempio, che a 0 gradi questa velocità è 1840 metri al secondo per l'idrogeno, di 460 per l'ossigeno, 390 per l'anidride carbonica. Tali velocità, relativamente grandi per noi, sono tut-

tavia estremamente piccole in confronto a quelle degli atomi eterei che producono la gravitazione e propagano la luce: dello stesso ordine deve essere la differenza fra la grandezza di tali molecole e quella degli atomi liberi; qualche cosa di simile alla differenza fra la Terra e il Sole. E si vede di qui quanto deve essere complessa la molecola dell'idrogeno o di altro gas elementare, sebbene a noi risulti indivisibile ulteriormente per via fisica o chimica, e quanto poco ci è dato ancora di penetrare in questo meraviglioso universo molecolare.

Altre considerazioni unitamente a ricerche sperimentali sulle proprietà del gas ci conducono a certe conclusioni sulle dimensioni delle molecole e sulle loro distanze. Noi non possiamo qui trattenerci su queste ricerche, da cui per esempio risulta che una molecola di anidride carbonica ha per diametro la quarta parte di un milionesimo di millimetro; lunghezza che è ancora più piccola, circa mille volte, delle più brevi onde luminose che gli atomi eterei propagano tra queste molecole. La distanza media fra le molecole risulta circa 10 volte più grande del loro proprio diametro, almeno in condizioni normali, cioè alla pressione di un'atmosfera e a temperatura media; perchè, come vedremo più avanti, la temperatura influisce sulla media distanza delle molecole. Dalle cifre riportate si può calcolare, che in tali condizioni normali, nello spazio di un millimetro cubo, si trovano non meno di 58 trilioni (58×10^{15}) di molecole di anidride carbonica. Un recipiente di anidride carbonica sembra a noi che non contenga nulla in causa della sua trasparenza,

mentre invece là dentro s'aggira una quantità inconcepibile di astri molecolari con velocità straordinariamente grandi, ed un astronomo potrebbe sopra un millimetro quadrato di quel cielo numerare un numero di stelle 1000 volte maggiore di quello che vediamo noi nella sfera celeste coi più forti cannocchiali.

Un certo gruppo di fenomeni fisici non si può spiegare che con queste teorie sulla costituzione della materia. Si può prevedere, per esempio, che la legge di Boyle e Mariotte, sulla inversa proporzionalità fra il volume e la pressione dei gas, non sarà più esattamente verificata a pressioni molto alte, come abbiamo già accennato. Le molecole in queste condizioni sono così avvicinate tra loro, che si incontrano più frequentemente nelle loro traiettorie rettilinee, e cominciano quindi a formare i sistemi più complessi dai quali con un maggiore ravvicinamento si produce lo stato liquido. Difatti, oggi sappiamo anche che ogni gas può essere ridotto allo stato liquido, mentre soltanto poche decine d'anni addietro si credeva che alcuni gas, i quali allora si chiamavano «gas permanenti», non potessero in alcun modo essere condensati in liquidi, per quanto sottoposti alle maggiori pressioni. Questa falsa opinione derivava dal fatto che tali gas in condizioni normali di temperatura non si potean comprimere, cioè diminuire di volume oltre un certo grado. Le vibrazioni termiche delle molecole, che impareremo poi a conoscere, opponevano a questo punto un ostacolo insormontabile ad una ulteriore compressione; e solamente quando l'arte dello sperimentatore seppe produrre

bassissime temperature, potè essere superato l'ostacolo. Così l'idrogeno, il più leggero dei gas, può liquefarsi sotto la pressione di 20 atmosfere, ma alla temperatura di 234° sotto zero.

Quando le molecole di un gas sono sufficientemente avvicinate le une alle altre per l'innalzamento della pressione o l'abbassamento della temperatura, esse cominciano ad attrarsi e ad aggirarsi reciprocamente, formando sistemi molecolari, nel modo stesso che abbiam visto gli atomi formar le molecole. La distanza tra i singoli sistemi può rimanere abbastanza grande da poter essi, sotto l'azione esterna, passare gli uni fra mezzo agli altri; a queste condizioni corrisponde lo stato liquido. Con un ravvicinamento maggiore questa mobilità o scorrevolezza reciproca non è più possibile, ed allora subentra lo stato solido: nel quale però non deve credersi che il movimento rotatorio all'interno dei sistemi molecolari debba cessare o di per sè diminuire.

Per la mobilità dei sistemi molecolari nei liquidi, in essi le pressioni agiscono e si trasmettono in maniera non diversa che nei gas. Noi possiamo assai bene rappresentarci il meccanismo dei movimenti dei liquidi, immaginandoli costituiti da tante piccole sfere solide scorrevoli, come, per esempio, pallini da caccia. Se essi formassero tutta una massa solida, premerebbero col loro peso solamente sopra la base inferiore: ma poichè invece i pallini, benchè non perfettamente, sono scorrevoli gli uni sugli altri, un certo numero se n'appoggia sulle pareti del recipiente, ed esercitano su queste una

pressione, che va aumentando dall'alto in basso; perchè nello strato superiore soltanto una parte del peso dei pallini preme lateralmente, mentre il resto preme in basso, e il peso del secondo strato si unisce colla pressione del primo, e così via. Se nel recipiente noi facciamo delle aperture a diverse altezze, i pallini da queste usciranno in direzione orizzontale, con velocità tanto maggiore quanto più bassa si troverà l'apertura sotto al livello della superficie. I pallini effluendo liberamente descrivono, conforme le leggi della gravità, parabole (fig. 20), dalle cui dimensioni si possono calcolare le loro diverse velocità iniziali. Ci si accorge subito che i fenomeni in questione van qui soggetti a forti alterazioni, in causa dell'attrito dei pallini. Ma anche nei liquidi ha luogo similmente un attrito interno, la cui influenza è dimostrata da molte esperienze; cosicchè si può dire, che nel nostro esperimento coi pallini si tratta solo di differenze di grado.

La pressione cresce, dunque, in un liquido con la profondità, a partire dalla sua superficie libera, in ragione cioè del peso dei vari strati; e perciò un corpo immerso in un liquido sopporta una pressione maggiore dal basso che dall'alto, ossia la pressione sulla sua superficie inferiore è maggiore che sulla superficie superiore. E ne risulta necessariamente il famoso **principio d'Archimede**, che dice: «ogni corpo immerso in un liquido riceve una spinta dal basso in alto eguale al peso di un volume di liquido eguale al volume del corpo». E si può anche dire più brevemente che «il corpo perde tanto del suo

peso, quanto è il peso del liquido da esso spostato». Ne ometteremo la dimostrazione rigorosa che è elementarissima, e passeremo invece alle applicazioni a considerazioni più generali.

La legge di Archimede ci fornisce un comodissimo mezzo per determinare il peso specifico dei corpi solidi. Basta a tal fine pesare prima il corpo coi soliti mezzi, e quindi, servendoci di una bilancia come quella della

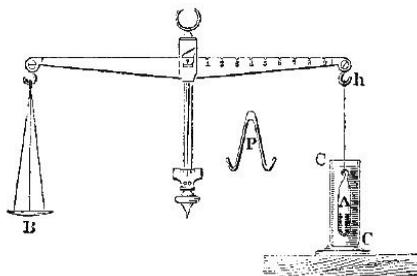


Fig. 75. – Bilancia di Mohr per il peso specifico.

fig. 75, ripesarlo mentre esso è immerso nell'acqua. La differenza tra le due pesate è eguale al peso di un volume d'acqua esattamente uguale a quello del corpo. Dividiamo ora il suo vero peso per questa differenza, ed il quoziente ottenuto sarà il suo peso specifico. Pesiamo, per esempio, un pezzo di ferro di 100 grammi, mentre è immerso nell'acqua, e troveremo che esso allora perde 13,2 gr. del suo peso. Il peso specifico del ferro è dunque $100 : 13,2 = 7,6$.

Il medesimo principio trova anche applicazioni nelle varie forme di **areometri**, destinati a misurare il peso specifico dei liquidi e anche il loro grado di diluizione. Un tubo di vetro chiuso da tutte le parti e zavorrato in basso, galleggia perpendicolarmente in un liquido, e tanto più ne emerge, quanto più denso è il liquido. Una scala graduata sulla parte sporgente del tubo può essere

disposta in maniera che le sue graduazioni diano immediatamente il peso specifico del liquido (fig. 76).

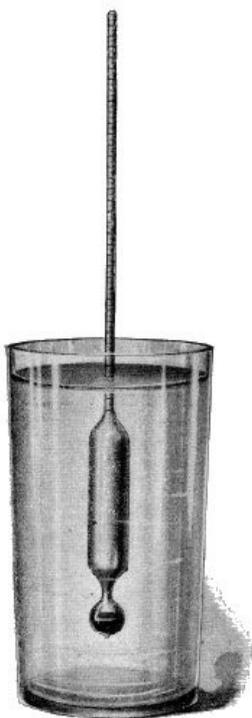


Fig. 76. – Areometro.

Se la densità di un corpo è esattamente uguale a quella del liquido nel quale è immerso, la spinta idrostatica esercitata dal liquido è uguale al peso effettivo del corpo, il quale allora è come se non pesasse. Se invece il suo peso specifico è minore di quello del liquido, sarà sollevato fino alla superficie di questo e vi galleggerà. Perciò il ferro galleggia sul mercurio, mentre invece affonda nell'acqua.

Una corrispondente spinta in alto ha luogo naturalmente anche nei gas, e prende il nome di **spinta aerostatica**. Il gas illuminante, e, ancora più, l'idrogeno, hanno densità minore di quella dell'aria, e perciò i palloni pieni di questi gas si sollevano dalla superficie terrestre, e si spingono in alto fino a che non giungano in strati d'aria così rarefatti, da possedere un peso specifico medio eguale a quello del pallone (fig. 77). Viceversa, tutti i corpi portati fuori dell'aria, aumentano di peso tanto quanto pesava l'aria da essi spostata.

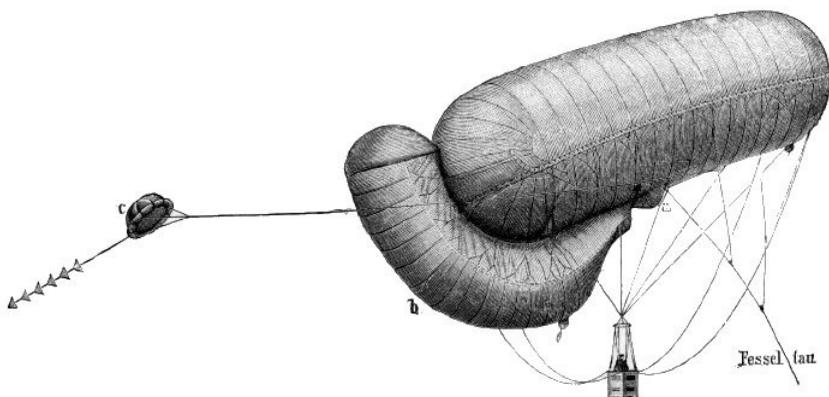


Fig. 77. – Pallone (Sistema Parseval-Siegsfeld).

L'azione, in tutte le direzioni, della pressione nei liquidi è il fondamento di molte importanti applicazioni tecniche. Principale fra queste è il **Torchio idraulico** (fig. 78). Un recipiente chiuso e ripieno d'acqua è munito di due tubi di diversa sezione chiusi con stantuffi impermeabili all'acqua: la pressione che si esercita sullo stantuffo più piccolo viene esercitata con la stessa intensità su quello grande, cosicchè questo viene ad essere premuto con una forza tanto maggiore quanto maggiore è la sua superficie rispetto all'altro. Mentre, dunque, nel piccolo tubo con poco impiego di forza si comprime l'ac-

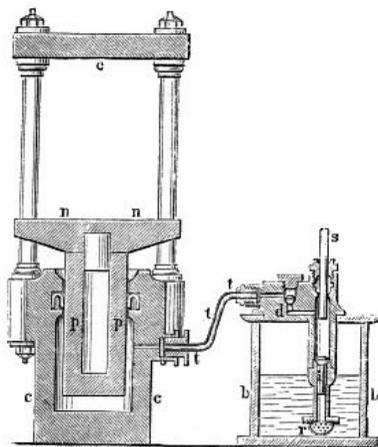


Fig. 78. – Torchio idraulico.

qua, si può in questo modo sollevare dei grossissimi pesi collo stantuffo grande. Così, per esempio, i pilastri metallici della base della torre Eiffel furono, nella sua costruzione, collocati sopra torchi idraulici: ed in questa maniera fu potuto ottenere di mantenere o rimettere in equilibrio imponenti edificzi (fig. 79).

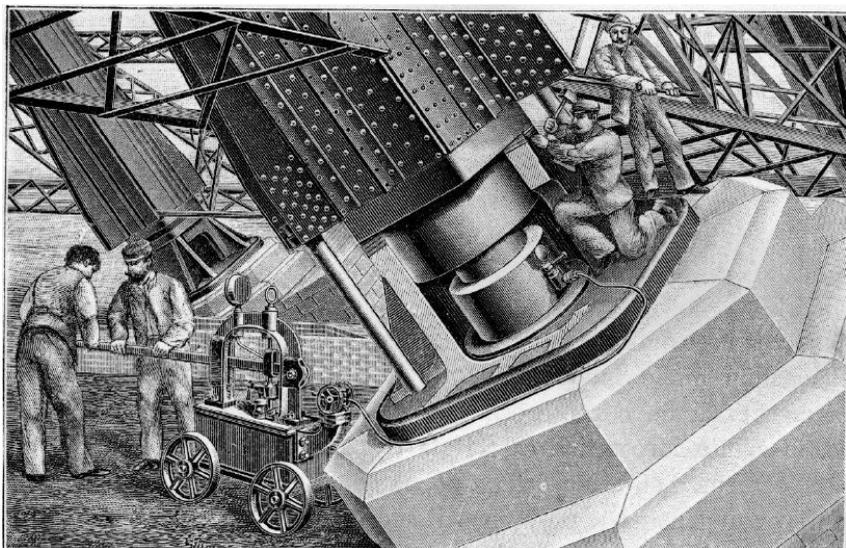


Fig. 79. – Sollevamento idraulico dei pilastri della torre Eiffel.

S'intende subito che nel torchio idraulico, lo stantuffo maggiore col suo carico viene ad essere sollevato di un tratto tanto più corto, quanto più piccolo è il peso che fa la pressione. Le leggi elementari di meccanica, da noi imparate a conoscere a proposito della leva hanno anche qui, come in altri anche più complicati casi, il medesimo indiscusso valore.

L'uso del torchio idraulico mostra chiaramente che l'acqua non è, o solo minimamente, compressibile. L'esperienza ha difatti dimostrato che l'acqua per un'atmosfera di pressione diminuisce il suo volume solo di $\frac{1}{20.000}$. Le maggiori profondità del mare vanno oltre 8000 m., e abbiamo veduto col barometro ad acqua che la pressione di un'atmosfera corrispondeva a circa 10 m. in altezza d'acqua: perciò l'acqua a quelle profondità si trova sotto l'enorme pressione di 800 atmosfere. Tuttavia essa è compressa solo di $\frac{800}{20.000} = \frac{1}{25}$, come è confermato da esperienze fatte a quelle profondità. Eppure negli abissi del mare vivono pesci a cui non occorre alcun apparecchio speciale di difesa contro l'enorme pressione dell'acqua perchè essa circonda da tutte le parti tutti i loro organi. Questi pesci posseggono anche delle vesciche natatorie in cui si trova aria fortemente compressa; e, quando presi nelle draghe vengono tirati a galla, la vescica si gonfia in modo straordinario e per lo più scoppia e rompe il corpo dell'animale molto prima di giungere alla superficie dell'acqua (fig. 80).

È da notare, a questo proposito, la grande diversità di compressibilità tra l'aria e l'acqua. Generalmente i gas si possono comprimere entro limiti molto

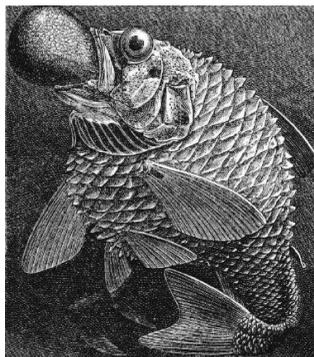


Fig. 80. – Pesce abissale tirato a galla.

vasti, mentre per i liquidi tali limiti sono ristrettissimi. Ma accanto a questa essenziale diversità tra i due stati di aggregazione, si trovano nello stesso tempo anche delle notevolissime somiglianze nel loro comportamento alla pressione. Prima di tutto, il grado di compressibilità dei gas, come quello dei liquidi, è in ogni caso dipendente dalla varia densità delle sostanze, e quindi dal loro peso specifico. L'idrogeno è più comprimibile dell'acido carbonico, l'acqua più del mercurio, l'alcool più dell'acqua: e le nostre ipotesi sulla intima composizione della materia ce ne danno subito la ragione. Un'altra più sostanziale analogia è nel fatto, che è altrettanto difficile portare i liquidi, quanto i gas, ad un più elevato grado di aggregazione per mezzo della sola compressione. Tra i liquidi noi abbiamo continuamente sott'occhio l'esempio dell'acqua, in cui vediamo chiarissimamente che la sola temperatura può portare l'acqua allo stato solido, ossia convertirla in ghiaccio. Ma realmente questo fenomeno è molto sorprendente: poichè noi sappiamo che già soltanto ad un'atmosfera di pressione, l'acqua a 4° è più densa del ghiaccio, e che perciò le sue molecole si trovano allora in media più vicine tra loro che nel ghiaccio, sebbene conservino ancora il loro libero movimento, mentre nel ghiaccio sono tenute saldate dall'interna forza d'attrazione. Ma, secondo la nostra teoria atomica, anche le molecole come i corpi celesti devono attirarsi tra loro con tanta maggior forza, quanto più vicine si trovano l'una all'altra. Devono dunque speciali circostanze influire nel passaggio dall'uno all'altro stato di

aggregazione. Per il passaggio dallo stato gassoso a quello fluido, noi abbiamo già supposto, che i primitivi movimenti rettilinei delle molecole diventino curve chiuse che vanno poi ad allacciarsi reciprocamente. Ma nella formazione dello stato solido subentra poi anche il misterioso fenomeno della **crystallizzazione**: ogni sostanza chimicamente definita raccoglie le sue particelle in una propria speciale e meravigliosa forma simmetrica. Noi potremo cercare a questo proposito una spiegazione teorica del fenomeno, quando più avanti avremo imparato a conoscere altre proprietà della materia.

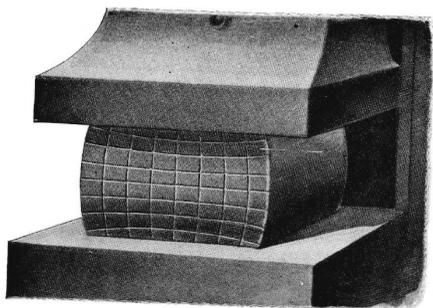


Fig. 81. – Ferro sottoposto alla compressione.

Anche i corpi solidi sono alquanto comprimibili ed hanno, specialmente ad alte pressioni, certe proprietà comuni coi liquidi. Se si comprime fortemente un pezzo di ferro, le sue particelle tendono a portarsi verso tutte le parti libere dalla

pressione, ed esercitano allora una pressione laterale prima non esistente (fig. 81). Se si sottopone un pezzo di ferro allungato, ad una forte trazione, esso si restringe ai lati, e le linee rette parallele prima tracciatevi sopra, diventano curve, come quelle che si possono osservare nei liquidi in movimento (fig. 82). Tutti i corpi solidi divengono, dunque, sotto una forte pressione, più o meno plastici. Di questo offrono un esempio gigantesco i potenti

piegamenti degli strati rocciosi nella formazione delle montagne. La fig. 83 riproduce uno dei più conosciuti di tali esempi, meraviglia d'ogni viaggiatore che passi per le romantiche rive del lago d'Uri. Questi strati sedimentari che prima giacevano orizzontalmente, sono stati spinti e serrati contro la massa solida dell'alpe centrale. Questo movimento dovette certo avvenire molto lentamente, forse nel corso di migliaia di secoli. Gli strati di roccia sono piegati in angoli acuti come materia tenera e perciò prima si pensò che vi fosse intervenuta anche una elevata temperatura, ma non è vero: perchè entro tali

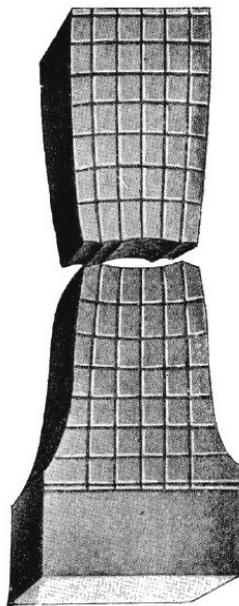


Fig. 82. – Ferro sottoposto a trazione.

rocce si son spesso trovate inclusioni organiche non alterate, se non in quanto erano allungate nello stesso senso degli strati, o deformate in altro modo (figg. 84 e 85). Interessante è pure l'esempio di uno stipite di marmo di una porta dell'Alhambra in Granata (fig. 86). L'edificio caduto in abbandono, venne, a produrre su questo stipite una pressione di circa 1600 Kg., naturalmente a poco per volta nel corso di alcuni secoli, e il pilastro di marmo si piegò di 6 cm. senza spezzarsi, il che sarebbe certamente accaduto, se l'aumento di peso fosse avvenuto improvvisamente. Si può, dunque, in certe circostanze considerare anche i corpi solidi e rigidi, come provvisti

di una certa fluidità o scorrevolezza, che è minima, essendo, in questi corpi, grandissimo l'attrito interno.

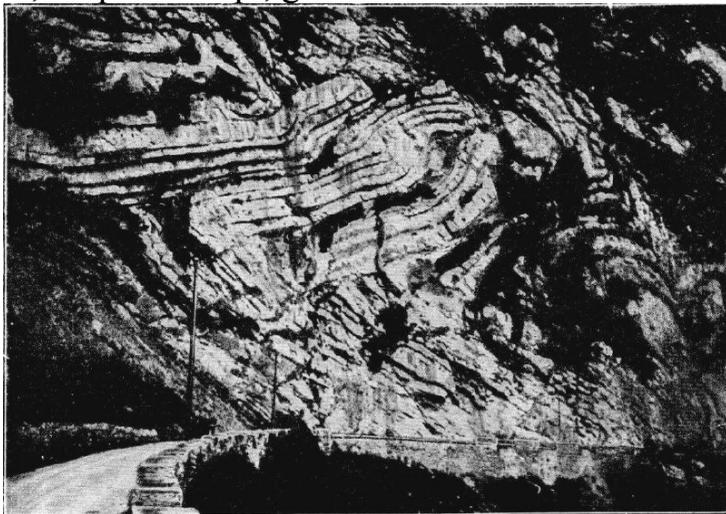


Fig. 83. – Piegamento di strati rocciosi presso il Lago d'Uri (Svizzera)

Un certo numero di corpi solidi possiede, come i liquidi e i gas, una certa elasticità, ma questa proprietà non è in essi generale, come negli altri due stati. Alcuni solidi sono plastici, altri pieghevoli, altri ancora rigidi e fragili, insomma essi mostrano molte diverse proprietà che variano anche secondo le diverse condizioni fisiche. Così il fragile vetro può in certe circostanze divenire pieghevole ed anche straordinariamente elastico. E poichè i corpi solidi trovano applicazione svariatissima nelle costruzioni e nelle macchine, è di grande interesse il conoscer bene queste proprietà. Si determina il modulo di elasticità, l'elasticità di **torsione** e di **flessione** e

«l'elasticità susseguente», per la quale i corpi deformati riprendono con varia lentezza la loro forma primitiva; si determina la resistenza alla compressione, alla trazione ed il limite di elasticità, oltre il quale essi si strappano e si rompono; la resistenza che essi oppongono gli uni agli altri per l'attrito di scorrimento o di rotolamento, e così via. Noi non possiamo qui trattare di questi multiformi fenomeni.

Degni di nota e molto interessanti per le nostre ipotesi generali sono invece le scambiabili azioni della



Fig. 85. – Altra conchiglia (Belemnite) deformata.

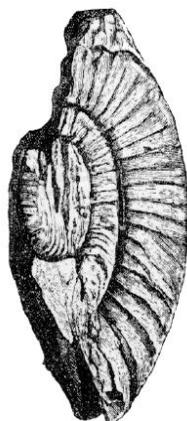


Fig. 84. – Conchiglia fossile (Ammonite) deformata.

materia nei diversi stati di aggregazione.

Che due gas mescolati tra loro debbano diffondersi l'uno nell'altro, è fatto noto ed è conseguenza necessaria delle ipotesi fatte. Ma i gas si diffondono pure nei liquidi e perfino nei corpi solidi. La quantità d'aria che si trova sempre nell'acqua e che è condizione necessaria per l'esistenza di esseri viventi in essa, non è da attribuirsi ad un eventuale miscuglio meccanico, come si ha, per esempio, per l'azione di un vortice che trascina nell'acqua piccole bolle d'aria che a poco a poco spariscono. L'acqua, priva d'aria, assorbe dell'aria nello stesso modo che

emette nell'aria il proprio vapore. Il fenomeno si spiega ammettendo che le molecole d'aria, le quali nel loro movimento rettilineo vengono ad urtarsi sulla superficie dell'acqua, penetrino tra gli interstizî delle molecole di questa, come in una spugna, e vi restino fissate. E, se l'ipotesi è giusta, questo assorbimento dei gas nei liquidi deve essere dipendente dalla densità dei due corpi. Noi ci immaginiamo la superficie di un liquido come un

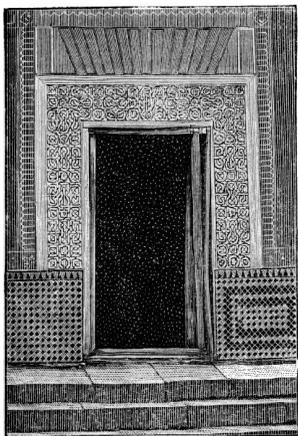


Fig. 86. – Stipite di porta nell'Alhambra.

vaglio: dalla grandezza delle sue maglie, dipende quanti corpi di una determinata grossezza possano contemporaneamente esservi trattenuti. Un liquido più denso assorbirà il medesimo gas in misura minore di un altro meno denso: d'altra parte, potranno penetrare attraverso le maglie, piccole particelle in quantità maggiore, di altre più grandi. E poichè vi sono molte ragioni, sulle quali ritorneremo, per credere che la dimensione delle diverse molecole sia molto differente, così si intende, che anche i gas debbano essere in molto diversa misura assorbiti dal medesimo liquido. Tutto ciò vien confermato dall'esperienza. Per esempio, si trova che l'aria disciolta nell'acqua ha una composizione chimica differente da quella ordinaria, e contiene una maggior quantità di ossigeno, che favorisce la vita acquatica.

L'aria atmosferica contiene circa 21% di ossigeno e 79% di azoto (lasciando da parte i gas ultimamente scoperti), cosicchè il rapporto dei due gas è all'incirca di 1 a 4. Invece l'aria assorbita dall'acqua contiene il 34% di ossigeno e il 66% di azoto; la proporzione dell'ossigeno è raddoppiata, e il rapporto dei due gas è divenuto di 1 a 2.

Sorprendenti fenomeni molecolari, relativi al passaggio attraverso pareti porose, avvengono quando si trovano in contatto corpi solidi con liquidi o gas. Immergendo, per esempio, nell'acqua un palloncino di terra cotta con speciale rivestimento, chiuso al disopra, ma provvisto di un tubo di vetro, vedremo che, benchè lentissimamente, si riempie d'acqua. Il rivestimento è ancora permeabile e i suoi interstizî non sono ancora abbastanza piccoli per le molecole d'acqua. Se poi riempiamo il pallone di una soluzione acquosa di zucchero lasciando lo sempre immerso nell'acqua, vedremo crescere il liquido interno al pallone e salire nel tubo di vetro al disopra del livello del liquido esterno, alzandosi tanto più, quanto più concentrata è la soluzione. Per spiegare questo fenomeno veramente sorprendente, indicato col nome di *osmosi*, bisogna ammettere che i pori della parete di argilla non sono grandi abbastanza per permettere il passaggio alle molecole di zucchero o, per lo meno, oppongono ad esse maggiore ostacolo che a quelle dell'acqua: perciò penetrerà nel pallone un numero di particelle d'acqua maggiore di quello delle particelle zuccherine che ne escono, e questa differenza crescerà con la

densità della soluzione, perchè le particelle di zucchero quanto più numerose saranno, tanto minor libertà di movimento avranno. E ne risulta anche, che generalmente **la pressione osmotica** è proporzionale alla densità delle due sostanze che si trovano contrapposte, siano esse liquido o gas.

Molto istruttivo a questo proposito è il seguente esperimento (fig. 87). Un vaso di argilla (*a*) chiuso, sbocca inferiormente in una bottiglia la quale porta dall'altra parte un tubo di vetro ripiegato e terminato in una punta; la bottiglia contiene acqua, ma non tanta che possa uscire dall'estremità del tubo. Se ora si copre questo cilindro, il quale è pieno d'aria atmosferica, con un

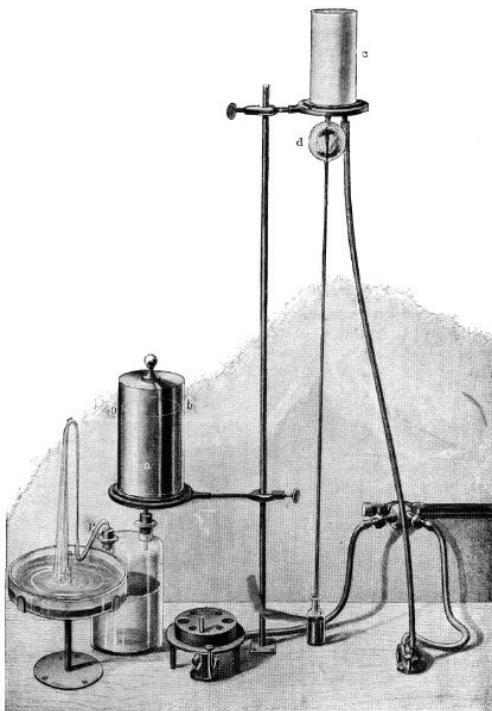


Fig. 87. — La pressione osmotica.

recipiente *b* a modo di coperchio e si riempie questo di idrogeno, o di gas illuminante che contiene molto idrogeno, in maniera da circondare di questo gas il cilindro, si vedrà che subito l'acqua è spinta a guisa di zampillo dalla punta del tubo di vetro: e la pressione si eleva nel

vaso poroso di argilla perchè le molecole di idrogeno possono penetrare attraverso le pareti più facilmente di quelle dell'aria atmosferica, e quindi è più la materia che entra di quella che nello stesso tempo può uscirne. Se, invece, si riempie un altro vaso poroso *c* di gas illuminante, avviene, al contrario, una rarefazione nel suo interno e l'acqua della boccetta viene aspirata in alto nel tubo di vetro così da riempire il piccolo palloncino di vetro *d*.

La pressione osmotica ha una parte importante in molti processi fisiologici. Le membrane animali, le pareti cellulari delle piante, sono altrettanti apparecchi di separazione, per mezzo dei quali ha luogo la selezione di quelle sostanze dell'ambiente che sono necessarie agli organi per la loro attività. Le radici delle piante assorbono in questo modo, con l'umidità del terreno circostante, quelle materie in soluzione che occorrono loro per l'ulteriore sviluppo, e le fanno salire nei vasi conduttori della pianta, così come abbiamo veduto salire il liquido nel tubo sopra il pallone ripieno di soluzione zuccherina; nei nostri polmoni, l'aria, inspirata nei vasi finalmente ramificati, viene messa in comunicazione col sistema dei vasi sanguigni solo per la pressione osmotica, la quale spinge ossigeno attraverso le pareti dei vasi, dove è assorbito dal sangue, mentre le molecole di azoto non possono penetrarvi o, per lo meno, solo in quantità molto minore. Da poco tempo i fenomeni della pressione osmotica in soluzioni molto diluite hanno, per merito del Vant'Hoff, acquistato una grande importanza teorica,

come valido argomento dell'unità delle forze fisiche. Noi ci ritorneremo in seguito parlando dei fenomeni chimico-fisici.

Vediamo dunque nei fenomeni molecolari dei liquidi molta analogia con quelli dei gas, e l'analogia andrà accrescendosi ancor più in seguito; ma quello che tuttavia ci stupisce, è come recenti ricerche han mostrato, che anche i corpi solidi sono più o meno soggetti alle medesime leggi di movimenti di diffusione e di pressione osmotica, come gli altri due stati di aggregazione, soltanto però in grado molto minore e in speciali condizioni. Recentemente (1900) W. Spring ha eseguito delle importantissime esperienze a questo proposito sopra metalli e rocce. Egli sottopose questi corpi a pressioni enormi, fino a 10000 atmosfere, procurando nello stesso tempo che non si producesse il naturale innalzamento di temperatura. Trovò allora che due corpi, per esempio due metalli, di quelli che con la fusione si allegano tra loro, si diffondevano completamente l'uno nell'altro, compenetrandosi e formando così anche a freddo la lega. La compenetrazione, dunque, non era certo avvenuta soltanto alla superficie di contatto. Egli andò anche oltre e collocò dei pezzi di metallo l'uno sopra l'altro senza pressione, e li sottopose ad una temperatura un po' più alta della normale, ma tuttavia molto al disotto di quella del punto di fusione dei due metalli. Questo dovè servire solo ad accorciare la durata dell'esperimento, perchè si sa che la diffusione ordinaria viene accelerata dalle alte temperature. I pezzi di metallo rimasero

così l'uno sull'altro da 3 a 12 ore. I pezzi di metallo della medesima qualità rimanevano saldati insieme, così da formare ora un pezzo solo, e il punto di contatto non era più visibile; mentre le coppie di metalli differenti rimanevano uniti in lega alla superficie di contatto. Questi esperimenti dimostrano nella maniera più palese che anche le piccolissime particelle dei corpi solidi hanno movimenti per mezzo dei quali i loro sistemi materiali si compenetrano reciprocamente e, in conseguenza, si intrecciano legandosi coi sistemi delle masse vicine.

In tutti i processi che si svolgono nei vasi conduttori, per la maggior parte strettissimi degli organismi, ha una parte importante anche un altro fenomeno molecolare, che è conosciuto nel nome di **capillarità**. Questa, ben considerata, risulta analoga strettamente alla pressione osmotica, poichè si tratta in sostanza di una parziale penetrazione degli strati superficiali a contatto, di due corpi di diversa densità. Se si immerge nell'acqua un sottile tubo di vetro, questa vi sale elevandosi sopra al livello del liquido circostante, e tanto più quanto più stretto è il tubo.

Se invece dell'acqua si opera col mercurio, questo entro il tubo rimane al disotto del liquido esterno. Il vetro produce dunque una depressione nel mercurio, e perciò il mercurio in un tubo largo mostra una superficie convessa detta menisco; l'acqua invece, e altri liquidi, presentano lo stesso menisco con superficie concava. Di questa circostanza occorre tener conto nella lettura del barometro, ove si deve sempre considerare il punto più

alto del menisco.

La Fisica matematica, spiega questi fenomeni con l'attrazione scambievole delle diverse materie, e anche noi possiamo accettare questa spiegazione, tenendo presente ciò che secondo le nostre ipotesi vuol dire «attrazione». Per noi i limiti fra i diversi corpi, siano essi gassosi, liquidi o solidi, non sono superficie matematiche come potrebbero sembrare a prima vista; ed anche nei corpi apparentemente più duri e stabili le molecole si muovono e oscillano in orbite definite. Le superficie limiti, come a noi appaiono, rappresentano solo gli spostamenti massimi e le posizioni estreme delle particelle nei loro movimenti. Anche qui giova riprendere il nostro confronto tra i corpi celesti e i mondi atomici. I limiti dei corpi sono formati da uno strato o schiera di astri maggiori circondati da pianeti. Un corpo che si avvicini a questa schiera può, molto prima di giungere nella sfera d'attrazione dei soli, sentire l'influenza di uno dei pianeti ed essere forzato a trattenersi più a lungo che non avrebbe fatto senza questi pianeti perturbatori della sua traiettoria. Così il pianeta Giove ha spesso procacciato comete al nostro sistema solare.

Similmente, le molecole d'acqua nel tubo di vetro giungono nella sfera d'attrazione delle molecole del vetro che si trovano nella loro massima ampiezza di oscillazione e, per il proprio movimento, salgono lungo le pareti del tubo di vetro contro l'azione della gravità. Al contrario, col mercurio che è più denso del vetro sono le molecole del vetro che entrano nella sfera d'attrazione

di quelle del mercurio, e salirebbero in su come quelle dell'acqua se fossero fluide, e fosse invece solido il mercurio. Ma poichè, invece, facendo parte di un corpo solido sono costrette a vibrare intorno a posizioni fisse, così, per l'equilibrio, respingono le molecole liquide del mercurio di tanto quanto ne sono attratte, e quindi il menisco è convesso verso l'alto.

Quanto più stretti sono i tubi capillari, tanto più forte deve divenire questa apparente forza d'attrazione della parete chiusa su se stessa ad anello, e tanto più in alto può essere attirato in essi il liquido. In tal maniera vengono assorbiti e portati in alto i liquidi nei vasi nelle piante. Pare anzi che i sottili vasi capillari compiano negli organismi una parte ancora più importante; poichè è probabile che i processi chimici si svolgano in questi vasi in modo affatto differente che nei recipienti ordinari di laboratorio, per il fatto che la mobilità delle molecole è qui notevolmente alterata. Vedremo più tardi, che nelle reazioni chimiche devono avvenire degli scambi tra gli atomi delle molecole dei diversi corpi posti tra loro in contatto. Ora, con un più intimo avvicinamento delle molecole nei vasi capillari, è possibile che avvengano collegamenti speciali che non si possono riscontrare nelle condizioni ordinarie; e si può anche pensare che la nostra incapacità a riprodurre nei nostri laboratori le combinazioni organiche sia in parte da ricercare nella circostanza, che non è stato possibile fin qui mettere in attività nelle nostre esperienze chimiche, questa ed altre proprietà dei vasi capillari organici. Noi ritorneremo su

questo argomento quando avremo da trattare delle proprietà chimiche dei corpi.

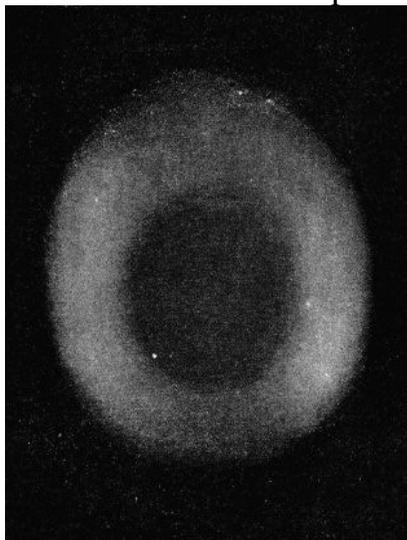


Fig. 88. – Nebublosa anulare.

Questa attrazione tra i corpi in diverso stato di aggregazione ha luogo manifestamente tra le loro superficie di contatto, comunque siano disposte. Se dell'acqua scorre sopra una superficie solida, una parte di essa rimane aderente alla superficie senza scorrere. Sopra a questo strato immobilizzato, ve n'è un altro che solamente in parte resta aderente, e

così via fino agli strati che scorrono liberamente. Gli anelli di fumo che i fumatori si divertono spesso a formare, devono a questa causa la loro origine. Le molecole di fumo che scorrono sulle labbra, per effetto di quella resistenza che ordinariamente si indica col nome di «attrito», vengono rallentate, di modo che le altre molecole un po' più discoste possono sopravanzarle; l'impulso comunicato ad esse col soffio, per questo rallentamento decrescente dei varî strati forma un movimento rotatorio, come si può rigorosamente dimostrare col calcolo matematico.

In modo affatto simile si può con appropriati apparecchi produrre anelli nei liquidi; per esempio, facendo

uscire a colpi, da un'apertura, un liquido colorato, in un altro limpido. Anche nello spazio celeste si vedono configurazioni di questa specie, come l'anello nebuloso della Lira (fig. 88), che forse deve la sua formazione ad una simile causa.

L'osservazione ha insegnato con sicurezza, specialmente negli ultimi tempi, che la maggior parte di queste nebulosità in forma di anello, o di disco, o di lente, ad un esame più attento appaiono come spirali, rivelando anche più chiaramente il loro movimento vorticoso, che del resto ha luogo anche negli anelli, benchè in altra direzione. Queste nebulose a spirale, probabilmente sono state formate in seguito ad un impulso violento, forse prodotto da un corpo rotante che traversa la nebulosa mettendone in moto rotatorio solamente uno strato, il quale poi per un attrito interno trascina con sè in vortice gli altri strati. Così pure si formano i vortici dell'acqua corrente, e quelli dell'aria, che come cicloni o trombe corrono paurosi e disastrosi sulla superficie terrestre. Noi vediamo che la natura, dai suoi massimi movimenti cosmogonici fino ai più piccoli, afferma la sua potenza creativa in forma eguale, in una sublime unità di forze e di leggi.

Questa apparente attrazione tra le molecole differenti dei corpi deve essere, e lo abbiamo veduto, tanto più considerevole quanto più sono differenti le distanze dei sistemi molecolari nei due corpi, o con altre parole, quanto più sono differenti le loro densità. Perciò è giustificato l'ammettere, che quest'attrazione debba essere

maggiore tra solidi ed aeriformi, che tra solidi e liquidi. Si prova, infatti, che ogni corpo solido è circondato da uno strato d'aria immobile. Se, per esempio, noi premiamo insieme due lastre piane di vetro, esattamente combacianti, si osserva che esse rimangono attaccate fra loro. Questo non dipende dal fatto, che le molecole superficiali del vetro toccandosi si attraggono, come accade nell'interno delle lastre medesime; invece, è dimostrato da fenomeni ottici, che tra le lastre rima-

ne un sottilissimo strato d'aria, così aderente alla superficie, da non lasciarsi penetrare da alcun'altra molecola d'aria. È dunque la pressione atmosferica che, in tal caso, premendo soltanto esternamente sulle due lastre, le tiene perciò unite, come gli emisferi di Magdeburgo. In un bicchiere d'acqua, da cui, per mezzo della pompa pneumatica, venga tolta una parte dell'aria disciolta, col diminuire della pressione sovrastante, si vedono le prime bolle d'aria lungo le pareti; perchè a queste, per la loro speciale attrazione, aderisce più aria, di quella che, altrimenti, potrebbe essere assorbita dall'acqua.

I fenomeni di attrazione ora descritti, avendo luogo alla superficie dei corpi, debbono nella grandezza del loro effetto dipendere dalla grandezza delle superficie agenti. Ora, si hanno molti corpi che, in piccole dimensioni di volume, posseggono una grandissima superfi-

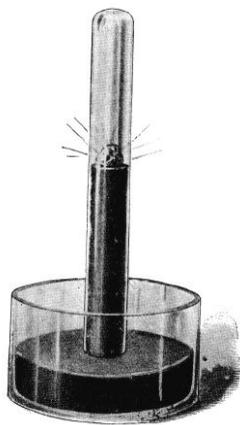


Fig. 89. – Assorbimento dei gas.

cie; come, per esempio, una spugna, la quale può ritenere tra i suoi pori una quantità d'acqua, quasi come un recipiente di eguale volume. Per i gas, il carbone agisce come una spugna: ma, a causa della comprimibilità dei gas, ha luogo il sorprendente fenomeno, che il carbone può trattenere tra i suoi pori un volume di gas molto maggiore del suo proprio. Se si mette un pezzetto di carbone in una campanella di vetro, ripiena di un volume di acido carbonico, dieci volte maggiore di quello del carbone, ed inferiormente immersa nel mercurio, tutto quanto il gas viene assorbito, ed il mercurio viene aspirato fino all'estremità superiore del recipiente. E, per il calore svolto nel condensamento del gas, il carbone può esser portato all'incandescenza (fig. 89). Anche da un altro esempio, molto conosciuto, possiamo vedere quanto più fortemente agisce questa attrazione molecolare della semplice gravitazione. Con un processo speciale, si può dare al platino una forma così suddivisa, da ridurlo ad una specie di spugna. Questa spugna di platino esercita sui gas, in virtù della sua grande superficie, una forza d'attrazione così potente, che la pressione generata nella condensazione, produce un fortissimo riscaldamento della spugna. Dirigendo un getto d'idrogeno sulla spugna, questa arriva tosto all'incandescenza ed infiamma il rimanente gas. Su questo principio è fondato «l'accenditore spontaneo» che un tempo piaceva molto (fig. 90).

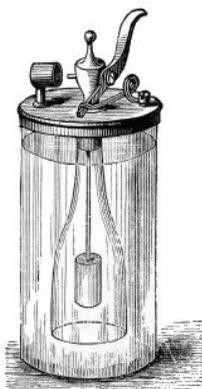


Fig. 90. – Accenditore spontaneo (Doberein).

Questa attrazione molecolare tra sostanze diverse, che, nella nostra ipotesi atomica, spieghiamo come un intrecciamento dei movimenti interni delle molecole, è pure la causa della cosiddetta **tensione superficiale**, che nel laboratorio della Natura organica compie un'importante funzione. L'effetto della tensione superficiale si può paragonare a quello di una membrana elastica, sulla superficie dei liquidi. In virtù di questa tensione, corpi più pesanti dell'acqua possono galleggiare alla sua superficie.

Una goccia d'olio sull'acqua, nel contrasto delle attrazioni tra acqua e olio e tra olio ed aria, forma, distendendosi, una pellicola straordinariamente sottile, la cui colorazione iridescente permette, con mezzi ottici, la misura del suo spessore e anche della grandezza delle molecole. Ciò nonostante, questo velo d'olio ha una resistenza tanto grande, che, come s'è dimostrato ultimamente con esperimenti pratici, può essere

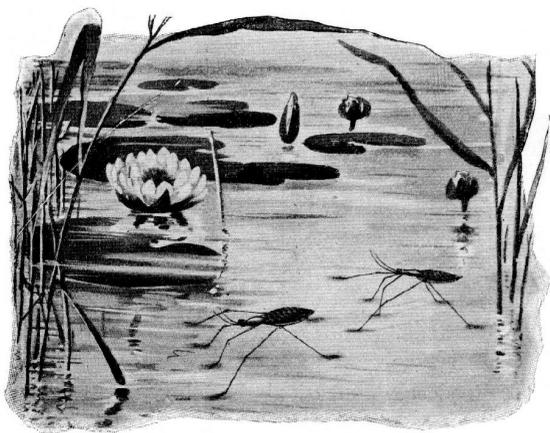


Fig. 91. – Insetti acquatici.

di aiuto ai naviganti che si trovano in balia delle onde furiose. Questo sottilissimo strato d'olio non può certamente diminuire di per sè stesso la forza meccanica delle onde, ma però esso serve a tenere unita e compatta l'acqua alla sommità delle onde, in modo che esse non si rompono e non possono prodursi i flutti schiumeggianti pericolosi per le piccole navi. Certi insetti possono camminare sulla superficie dell'acqua, in forza della tensione superficiale prodotta dall'untuosità delle loro zampe (fig. 91). È inoltre molto verosimile, che la formazione delle sottili membrane delle cellule e dei vasi degli organismi, abbia almeno la prima spinta da questa tensione superficiale. Anche le bolle di sapone hanno la medesima origine. E vogliamo infine ricordare, che anche lo stabile contorno di un getto d'acqua nell'aria è parimente dovuto alla tensione superficiale.

6. – Il suono.

Come abbiamo detto nel precedente capitolo, le molecole dei gas si muovono con grande velocità, e la grandezza di questa velocità varia con la qualità del gas, cioè con la grandezza delle sue molecole. E abbiamo veduto che la velocità molecolare dell'ossigeno è di 460 metri al secondo. Per l'aria atmosferica, la teoria cinetica dei gas dà una velocità media di 480 m., alla temperatura di 0°. Ma non si deve credere che una molecola d'aria, che in un certo momento si trova vicino a noi, dopo un mi-

nuto secondo si sia allontanata di 480 m. Questo movimento è piuttosto vibratorio che progressivo, perchè le molecole si urtano continuamente e si respingono. Se ora, ad una parte di queste molecole d'aria, con un qualunque mezzo meccanico, diamo un impulso speciale, in modo ch'esse siano costrette a muoversi un poco più rapidamente, esse arrivano con maggiore velocità presso le molecole vicine, comunicano l'impulso a queste e vengono, perciò, respinte indietro con diminuita velocità, rimanendo eguale la velocità media dell'oscillazione. Per via di tali diverse velocità, in questi movimenti in avanti e indietro, in un dato punto verranno a trovarsi più molecole d'aria, in un altro meno, che nello stato normale; l'impulso provoca dunque una condensazione e poi una rarefazione del gas, che si propagano in esso con la velocità stessa delle molecole.

Per provare coll'esperimento questa conseguenza della teoria, battiamo un colpo sopra una membrana tesa, come quella di un tamburello. La membrana subirà una improvvisa compressione, e le molecole d'aria che la circondano saranno forzate a seguirla nei suoi movimenti. Per un istante, l'aria si comprime da una parte del tamburello e si rarefà dall'altra. Poniamo ora, vicino al primo, un altro tamburello, e facciamoci appoggiare leggermente una palla appesa ad un

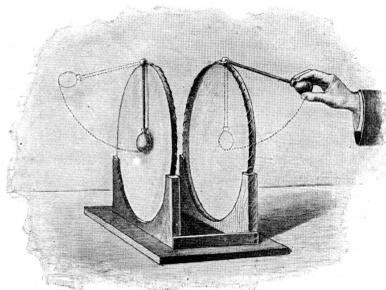


Fig. 92. — Trasmissione dell'urto nell'aria.

filo (fig. 92). La condensazione che si propaga nell'aria viene a premere la seconda membrana, in modo eguale alla prima direttamente colpita, e perciò dà un impulso alla palla. Certamente questo spostamento avviene con forza minore di quella richiesta per il primitivo urto, e si può persuadersene, attaccando anche al primo tamburello una simile pallina, sollevandola di un determinato angolo dalla verticale e, quindi, lasciandola cader giù sulla membrana. La pallina si allontana dalla seconda membrana, di un angolo tanto più piccolo, quanto maggiore è la distanza fra le due membrane; e la diminuzione è proprio in ragione del quadrato della distanza. È la legge stessa della gravità; e questa coincidenza deriva, secondo le nostre idee, dalla identità della causa trattandosi, in ambedue i casi, di urti di particelle. L'effetto dell'urto del primo tamburello deve, del resto, distribuirsi tutto intorno nello spazio, perchè i movimenti delle molecole avvengono egualmente in tutte le direzioni. Tutte queste conseguenze delle nostre premesse generali sono confermate dall'esperienza.

Per verificare e misurare la velocità di propagazione della condensazione aerea, non è bastante il nostro esperimento. Bisogna ricorrere ad azioni più forti del colpo sul tamburello, se vogliamo valutare la velocità di questa trasmissione a grandi distanze: perchè, diminuendo l'effetto in ragione del quadrato della distanza, in circostanze simili alle precedenti non potremmo osservare più niente. A questo scopo ci serviremo di un cannone, che nello sparo, per l'improvviso sviluppo dei gas della

polvere, produce una così potente compressione dell'aria, che possiamo osservarne l'effetto sopra la pelle di un tamburello collocato a più chilometri di distanza. Il tempo corso fra il lampo dello sparo e lo spostamento delle pallina, ci dà la misura della velocità di propagazione della condensazione dell'aria.

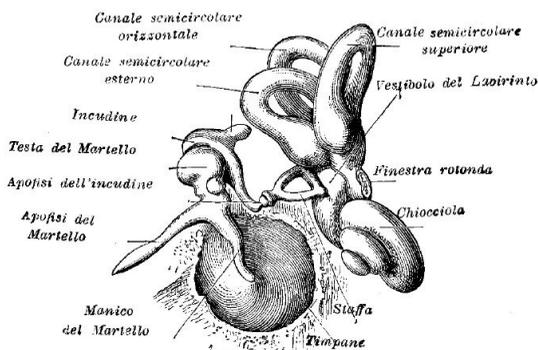


Fig. 93. — Il timpano e gli ossicini dell'orecchio.

Il valore così trovato non concorda interamente con quello dedotto dalla teoria cinetica dei gas; l'esperienza dà invece 333 m. Ma altri esperimenti dimostrano, che questa velocità di propagazione è alterata

dai fenomeni di calore che insieme si producono e influiscono in tal modo, che, per l'aria nelle condizioni normali, occorre moltiplicare per circa 1,2 la velocità teorica. Così, anche su questo punto, la teoria viene a trovarsi in perfetto accordo coll'esperienza.

Contemporaneamente allo spostamento della pallina sul tamburello, noi udiamo una detonazione, ed abbiamo perciò da considerare anche il fenomeno del suono. Questa impressione sensoria viene raccolta dall'orecchio, nel quale pure si trova la membrana del timpano ed un battente, i quali necessariamente devono sentire l'influenza di quella condensazione d'aria nella stessa

maniera del tamburello (fig 93) Presso la membrana del timpano vi è una parte del «martello» che fa qui l'ufficio di battente, ed è posta nel mezzo della membrana; questa, mediante una disposizione, si mantiene ben tesa e perciò sensibile alle differenze di pressione. La testa rotonda del martello si appoggia sull'«incudine», ed a questa poi è attaccata la «staffa». Sotto di questa si ha la finestra ovale, che consiste in un'altra membrana tesa, e porta nel «Labirinto», che è una specie di canale a pareti ossee, riempito completamente di liquido, nel quale termina, con una certa disposizione particolare, l'estremità del nervo acustico. Si comprende subito, che, per mezzo dell'organo dell'udito, qui descritto, una pressione esercitata dall'aria sulla membrana del timpano, deve comunicarsi per mezzo della finestra ovale al liquido del labirinto, dove ne vengono eccitate le estremità del nervo auditivo; per cui questa impressione, come qualunque altra, vien trasmessa al cervello. Così nasce l'impressione acustica che noi chiamiamo **suono**. Già su questo processo abbiamo parlato nella nostra introduzione.

Con l'organo straordinariamente sensibile dell'udito si possono apprezzare variazioni di pressione d'aria, di una tale tenuità, che col senso della vista, anche coll'aiuto dei più delicati apparecchi, non potremmo mai osservarne gli effetti. Può sembrare a prima vista strano, che la natura ci abbia dato un organo speciale per avvertire tali variazioni repentine della densità dell'aria. Ma, senza di esso, i fenomeni naturali dei quali dobbiamo ora occuparci non ci interesserebbero quasi affatto. In-

vero, essi avrebbero una sufficiente spiegazione nei movimenti molecolari dei gas, da noi trattati; ma noi sappiamo bene, per esperienza, quanto quest'organo dell'udito è necessario per la conservazione e la difesa della maggior parte degli esseri viventi. L'occhio può solamente vedere innanzi a sè, ma l'udito è sempre attivo; e poichè ogni movimento, anche un respiro, produce un rumore, esso ci avverte della presenza di un altro individuo, che può per noi essere la minaccia di un pericolo. L'udito, in generale, ci fornisce notizie da distanze assai limitate, in confronto dell'occhio; ma da ogni parte intorno a noi, senza che noi dobbiamo rivolgere il nostro senso verso una data direzione, come avviene per la vista; la quale, invece, gode del vantaggio d'una più precisa osservazione, anche alle maggiori distanze.

L'orecchio, come tutti gli altri organi dei sensi, serve soprattutto alla conservazione nostra personale, ed è costruito in maniera corrispondente a questo scopo ma, accanto agli organi atti a percepire un semplice rumore, ne troviamo altri di meravigliosa finezza e complessità, destinati evidentemente ad un fine più elevato. A questi appartiene la «chiocciola» e «l'organo del Corti», il quale, come dimostrò Kölliker, consta di circa 3000 finissimi filamenti nervosi che, come le corde di un microscopico strumento musicale, hanno una diversa e graduata lunghezza. Noi possiamo perciò subito congetturare, e più tardi ne avremo piena conferma, che questo organo accoglie quelle impressioni acustiche, che si distinguono dai rumori per molteplici caratteri, e che con la loro

fusionione armonica producono piacevole impressione al nostro senso. La percezione e la distinzione di particolari suoni è, nelle sempre più complesse condizioni di vita degli esseri più elevati, un dono ben desiderabile, ma niente affatto necessario per la conservazione della vita. E poichè questi organi delicati mancano negli animali inferiori, se ne può arguire, che i nostri sensi, i quali originariamente sono per noi soltanto avvisatori dei pericoli che ci circondano, quanto più progrediamo nel nostro sviluppo tanto più servono anche al nostro godimento. Queste stupefacenti e ingegnosissime costruzioni della Natura hanno precisamente per fine il nostro godimento e piacere della bellezza dei fenomeni naturali; piacere, che è necessario come l'istinto della propria conservazione e che anzi diventa un vero e proprio stimolo di quest'istinto. Così, queste raffinatezze degli organi dei sensi, che a primo sguardo sembrano inutili perchè servono solo ad un elevato godimento della vita, sono i suoi indiretti ma essenzialissimi conservatori.

In che differisce dunque la sensazione di un suono da quella di un rumore? Per poter rispondere, bisogna, prima di tutto, esaminare come si genera fisicamente un suono musicale.

Prima, però, dopo quel che abbiamo detto sulle funzioni del sistema nervoso e sulla percezione delle impressioni dei sensi, dobbiamo ricordare, che è necessario un certo tempo, perchè l'impressione ricevuta dagli organi dei sensi si trasmetta alla nostra coscienza. Recenti ricerche, specialmente quelle di Richet, hanno di-

mostrato, che questo intervallo di tempo, per tutte le impressioni dei sensi, da qualunque organo si partano, è circa di $\frac{1}{12}$ di secondo. Questo ritardo dunque non è affatto la conseguenza di un funzionamento irregolare o difettoso dell'organo, come sarebbe, per esempio, il cosiddetto «giuoco» nelle viti; ma è una proprietà dell'organo centrale del nostro sistema nervoso. Se, per mezzo di un apparecchio elettrico di registrazione, segniamo il momento esatto, del sopraggiungere della condensazione aerea che spinge il battente del tamburello e produce in noi la sensazione del suono, si trova che anche l'impressione visiva del movimento battente, segue il fatto fisico ad $\frac{1}{12}$ di secondo di distanza. Perciò, se una successione di tali fenomeni acustici facesse vibrare in su e in giù quel battente più di 12 volte al secondo, noi non vedremo più distinto il battente staccarsi, ma si avrebbe un'impressione complessiva di tutte le sue fasi di oscillazione, e non apparirebbe più una palla ma un arco continuo, dell'ampiezza stessa dello spostamento del pendolo. Lo stesso accadrebbe del fenomeno acustico concomitante a questo. Un rullio, che venga a percuotere la membrana del timpano, nel quale i colpi si seguano a meno di $\frac{1}{12}$ di secondo, non ci darà più l'impressione di colpi separati, ma di un suono continuo molto profondo, nel quale si fondono tutte le singole impressioni. Parimente, se quel rullio agisce direttamente sulla nostra pelle, a causa della velocità della successione degli urti, non avvertiamo più sulla parte colpita le singole pressioni, ma una sola complessiva impressione.

Le ricerche sulla formazione dei suoni, dalla fusione di singoli e separati colpi acustici, si fanno con molta esattezza mediante la **sirena**. Essa è costituita da un disco, provvisto di fori disposti a cerchi concentrici ed in numero determinato in ciascun cerchio. Il disco vien fatto girare con movimento uniforme e con velocità conosciuta; poi, per mezzo di una soffiaria, si dirige contro i fori un sottile getto d'aria, in modo che, ogni volta che il getto incontra un foro, una certa quantità d'aria passa per questo e produce dall'altra parte del disco una condensazione. Se in un cerchio vi sono 12 fori, ed il disco compie una rotazione esatta in un secondo, allora sappiamo che, in un secondo, 12 urti di aria devono giungere al nostro orecchio, e il doppio, se il disco acquista velocità doppia, e così via. Si trova, così sperimentando, che con soli 12 urti non si sente ancora nulla, mentre con 16 si ode chiaramente un suono. Se dinanzi alla corrente di aria passano in un secondo 24 fori, si produce allora un suono che corrisponde al *sol* più basso della nostra scala, col quale appunto comincia la serie delle note musicali usate.

Quanto più cresce la velocità della sirena, tanto più alte diventano le note. Può parere strano, da principio, che, facendo l'operazione corrispondente riguardo all'altro nostro senso del tatto, non avvenga un simile cambiamento. Noi possiamo aumentare la velocità di un fremito o rullio che agisca sensibilmente su parte della nostra pelle, ma non ci avverrà di notare alcun cambiamento nella natura dell'impressione, che sappiamo già

cominciare da quella velocità definita di sopra. Ma, se quest'ultima aumentasse in maniera da dar luogo a fenomeni calorifici, si comincerebbe a sentire la gradazione della sensazione di calore con le diverse velocità: in modo assolutamente eguale si comporta il senso della vista. Se noi facciamo oscillare una palla di metallo lucido, con sufficiente rapidità, il punto lucente della palla produce ai nostri occhi l'impressione di una linea luminosa che rimane invariata, per quanto si aumenti la velocità del movimento. Ma anche qui, senza dubbio, vi deve essere un limite teorico. Se fosse praticamente possibile imprimere alla palla una velocità uguale a quella delle onde della luce, essa irradierebbe anche una luce propria, la quale crescerebbe o diminuirebbe colla velocità della palla. Noi vediamo, dunque, che gli organi dei sensi avvertono le gradazioni della rapidità delle impressioni, soltanto dentro determinati limiti. Sopra e sotto a questi limiti, o non è percepita alcuna impressione, o un'impressione invariabile. L'orecchio è quello che inizia questa serie di gradazioni. La sua capacità di percezione di azioni rapidamente susseguenti, comincia proprio dove cessa la possibilità dell'osservazione distinta di queste, per mezzo della vista. Perfezionando il nostro esperimento della sirena, si può dimostrare, che l'orecchio cessa di avere la sensazione del suono, quando la rapidità delle vibrazioni supera circa 38000 al secondo. Le note musicali usate non vanno generalmente oltre le 3900 vibrazioni; e questa altissima estrema nota della scala è il *si* con 4 tagli.

Sebbene con un numero di vibrazioni maggiore di 38000 non udiamo più nulla, si può tuttavia dimostrare, che tutte le proprietà fisiche dei suoni continuano ad aver luogo anche per una maggior frequenza di vibrazioni. Il König ha potuto provarlo spingendo le sue esperienze fino a 90000 vibrazioni al secondo. Deve dunque trovarsi, nel nostro orecchio, un apparato che risuona per ogni numero di vibrazioni compreso entro certi limiti. Questo è «l'organo del Corti», che noi abbiamo già imparato a conoscere.

In tutte le ricerche acustiche è, al fisico, di molto aiuto la sensazione armonica prodotta dall'unione di certe note, le cui combinazioni svariatissime formano l'arte musicale; quell'arte che la Natura inventò prima dell'uomo e solamente per dare la gioia dell'esistenza alle sue creature. Si sa, che, data una certa nota fondamentale, noi distinguiamo da un numero qualunque di altre note «l'ottava», la cui consonanza colla nota fondamentale produce in noi una particolare sensazione piacevole. L'apprezzamento di queste consonanze avviene con una sicurezza straordinaria e veramente meravigliosa, cosicchè una piccola differenza è molto più sgradevole di una grande. Si dice allora che le note sono «dissonanti», e, quale sgradevole sensazione se ne abbia, tutti sappiamo.

L'esame fisico di due suoni, all'ottava l'uno dell'altro, fatto coll'aiuto della sirena, ci dimostra che l'ottava più alta è sempre prodotta da un numero di vibrazioni esattamente doppio di quelle dell'ottava bassa. Se la sirena ha due giri concentrici di fori, e l'uno ne contiene

un numero doppio dell'altro, e se ambedue si sottopongono al getto d'aria, si producono due note, che sono e rimangono sempre all'ottava, per quanto si possano far variare in altezza, cambiando la velocità di rotazione del disco.

Uguali osservazioni si possono fare nelle corde degli strumenti musicali. Tese fortemente e urtate di poi, esse prendono un movimento vibratorio soggetto alle generali leggi della meccanica, e lo comunicano all'aria circostante, producendovi così un corrispondente numero di condensazioni e rarefazioni, come la sirena o il tamburello. Per l'esperienza degli strumenti musicali, sappiamo, che una corda di una data materia dà una nota tanto più alta, in primo luogo, quanto è più sottile, ossia quanto più piccola è la sua massa; in secondo, quanto più forte è la sua tensione; ed infine, quanto più essa è corta. Le quattro corde di egual lunghezza del violino danno note diverse perchè diversa è la loro grossezza: per accordare lo strumento, si regola l'altezza delle note tirando o allentando le corde, mentre suonando se ne cambia la lunghezza con la diversa posizione delle dita. La spiegazione di tutto questo la troviamo nelle nostre considerazioni meccaniche, dove abbiamo veduto, che la velocità di propagazione di un'onda, lungo una corda, è data da $v = \sqrt{\frac{T}{m}}$, essendo T la tensione della corda, ed m la massa dell'unità di lunghezza. Poichè una vibrazione completa si compone di un movimento di andata e ritorno dell'onda lungo la corda, noi otteniamo il numero di

vibrazioni che la corda, compie in un secondo, dividendo la velocità di propagazione per il doppio della lunghezza. Chiamando questa l , risulterà dunque il numero delle vibrazioni $n = \frac{v}{2l}$. Per mezzo di queste due formule noi possiamo prestabilire l'altezza della nota resa da una corda. Per poter comparare la teoria colla pratica, ci serviamo dell'apparecchio detto «sonometro» (fig. 94). Esso consiste essenzialmente in un filo metallico o di materia animale, al quale è attaccato un peso con cui si può far variare la sua tensione. Lungo la corda, due regoli di sostegno, a e b , possono essere spostati, per dare alla parte vibrante lunghezze diverse.

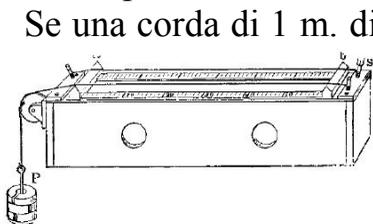


Fig. 94. — Sonometro.

Se una corda di 1 m. di lunghezza, con una certa tensione, dà precisamente il *la normale* fissato nella Convenzione di Parigi, si sa allora e si può verificare, che la corda compie 435 vibrazioni al secondo. Questa unità musicale è stata stabilita, come il metro per la lunghezza, al fine di ottenere in musica una generale uniformità nella valutazione delle altezze. Il vecchio diapason tedesco dava 440 vibrazioni per il *la normale*, rimanendo cioè un po' più alto di quello francese oggi generalmente adottato. Ponendo il regeletto a metà della corda, le vibrazioni han da percorrere metà di lunghezza della corda, impiegando metà del tempo, e perciò la corda darà 870 vibrazioni al secondo. Il che è confermato dalla

esatta determinazione del numero delle oscillazioni, come dal nostro orecchio, il quale sente con perfetta chiarezza l'ottava della nota fondamentale. L'ottava superiore si forma se la corda è ridotta ad $\frac{1}{4}$ della sua primitiva lunghezza; e fa allora 1740 vibrazioni. E se vien ridotta ad $\frac{1}{8}$, sempre serbando la tensione medesima, fa 3480 vibrazioni, che corrispondono alla nota *la*₄.

Ma non danno armonia solo due note che stanno tra loro nel rapporto di ottava; noi distinguiamo, ancora, gli intervalli di «quinta» di «quarta» di «terza», ecc. Anche qui i rapporti del numero delle vibrazioni sono molto semplici e sempre di numeri interi. Nell'ottava, i numeri delle vibrazioni stanno tra loro come 1 : 2; nella quinta come 2 : 3; nella quarta come 3 : 4; nella terza maggiore come 4 : 5; nella terza minore 5 : 6; ecc. Nella stessa proporzione, ma inversa, devono dunque essere le lunghezze di due corde, della stessa qualità e tensione, perchè, vibrando insieme, diano questi accordi. Questo sorprendente fatto, scoperto ai tempi di Pitagora, aveva prodotto una meraviglia così straordinaria, che si credè addirittura di avere trovato il segreto della Natura. Di qui scaturì l'alto concetto dell'armonia delle sfere, che, fino ai tempi della riforma delle scienze, dominò tutte le teorie fisiche, ed ispirò perfino un Keplero, a ricercare le leggi dei movimenti celesti, che anch'egli credeva poter trovare in tali semplici rapporti numerici. Questi rapporti numerici fanno essi soli presentire la grande unità dei fenomeni naturali; misteriosa anche per noi, che anche oggi la cerchiamo, non come i pitagorici in semplici

rapporti di numeri, ma in semplici leggi matematiche. Noi non sappiamo ancora come avvenga, che semplici rapporti del numero delle vibrazioni destino in noi così piacevole sensazione; ma siamo persuasi che questo godimento proviene dalla tendenza universale della Natura verso l'unità e l'ordine.

In tutti gli strumenti musicali, che hanno una scala progressiva di note invariabili, come il pianoforte, non è possibile avere un perfetto accordo di quinta, quarta, ecc., se si vuol mantenere esatta l'ottava. Se infatti, rispetto al fondamentale *la* di 435 vibrazioni, cerchiamo la terza maggiore che ne fa $\frac{5}{4}$, otteniamo il numero 543,8, che corrisponde al *do diesis* esatto del violino. Se poi, prendendo il *do diesis* come nota fondamentale, cerchiamo di nuovo la terza maggiore, avremo per questa nota 679,8 vibrazioni, che nella scala comunemente usata corrispondono al *fa*. Questo *fa*, però, sta colla fondamentale *la* nel rapporto di una «sesta minore» che nella scala pura corrisponderebbe a $\frac{8}{5}$ delle vibrazioni della nota fondamentale, ossia in questo caso a 696. Passa dunque una differenza di più di 16 vibrazioni, tra il *fa* derivato dal *la* e quello derivato dal *do diesis* come fondamentali: e simili differenze si trovano ugualmente per le altre note. Si dovette dunque per gli altri strumenti a scala fissa, inventare una scala a progressione regolatrice, detta **scala temperata**.

Perciò, nel pianoforte, soltanto le ottave rimangono nell'esatto rapporto di 1 : 2; per la quinta la proporzione è di 2 : 2,997; per le quarte 3 : 4,004; per le terze mag-

giori 4 : 5,039, ecc. Tali differenze sono distribuite in modo, che siano tanto più piccole quanto più semplici sono i rapporti, perchè in questi l'orecchio le avvertirebbe molto più facilmente.

Le vibrazioni delle corde mettono, dunque, in vibrazione l'aria circostante; e noi, già trattando della meccanica generale dei movimenti, abbiamo imparato a conoscere un certo numero di proprietà del movimento ondulatorio, che perciò devono aver luogo anche nei fenomeni del suono, se sono giuste le nostre ipotesi generali. L'esperienza ci insegnò, che le ondulazioni riflesse sono respinte indietro e si compongono colle seguenti generando i nodi, le onde stazionarie, e i fenomeni d'interferenza. Presentano i fenomeni acustici eguali proprietà?

Che anche il suono viene respinto indietro lo sa qualunque fanciullo che abbia una volta ascoltato l'eco. Le onde sonore prodotte dalla nostra voce, se arrivano ad un muro, o ad un altro ostacolo qualsiasi alla loro espansione, tornano indietro in forma identica e con la stessa velocità di 333 m. al secondo. Spesso si sente anche un eco multiplo, che, il più delle volte, avviene, perchè il suono è respinto verso di noi da parecchi ostacoli, disposti, rispetto a noi, in modo da rimandarci successivamente le onde sonore secondo la legge già esposta della riflessione. Questa legge ha una conferma sperimentale nell'interessantissima grotta siracusana, detta l'*orecchio di Dionigi*, fatta a vòlta elissoidale; come anche nel Tabernacolo dei Mormoni presso il gran Lago salato negli Stati Uniti.

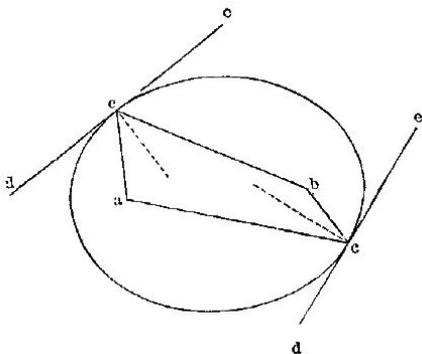


Fig. 95. – Riflessione nell'ellisse.

Quello che si mormora, anche a bassa voce, in uno dei due punti focali della grotta, si ode chiaramente all'altro punto, come se si parlasse proprio lì; mentre nei punti intermedi più vicini non si sente niente. Questo fatto ha la sua spiegazione

in una proprietà geometrica dell'ellissi. Se, da ciascuno dei due fuochi *a* e *b*, si tira una linea retta fino ad un medesimo punto *c* della periferia, le due rette *ac* e *bc* formano sempre due angoli uguali $dca = ecb$ colla tangente *de* condotta all'ellissi in quel punto (fig. 95). In queste condizioni è dunque soddisfatta la legge di riflessione; e tutti i fasci di onde sonore, che da uno dei fuochi vanno alle pareti della volta ellittica, si incontrano insieme all'altro fuoco e quindi sommano la loro azione. L'esperimento suole essere ripetuto, in forma un po' diversa, ne' gabinetti di fisica, con due specchi concavi. Tutti i raggi che, partendo da un certo punto, posto davanti ad uno specchio, incontrano questo, ne vengono riflessi parallelamente; si può dunque raccogliere questi raggi in un secondo specchio eguale, posto ad una distanza qualunque, e da questo essi vengono allora riflessi e riuniti in un altro punto (fig. 96). Un orologio da tasca posto in uno dei due punti detti, fa udire i suoi battiti all'altro punto, quasi così bene come se fosse diretta-

mente tenuto all'orecchio; mentre invece non si ode più niente, se si allontana l'orologio, o l'orecchio, anche di poco, dai punti corrispondenti.

Occupandoci altrove delle oscillazioni di una fune tesa, abbiamo osservato le formazioni dei nodi per la riflessione delle onde alle estremità fissa della fune. Lo stesso deve accadere anche in una corda



Fig. 96. – Riflessione con gli specchi.

che vibra. Infatti, quando la corda è eccitata con l'archetto, e non nel punto di mezzo, avviene facilmente, che vi si producono delle vibrazioni secondarie più piccole di quella principale, che riflesse dalle estremità fanno nascere dei nodi sulla corda. La forma della corda vibrante può allora paragonarsi al profilo trasversale di un'onda marina, che mostra molte altre piccole onde come increspature. Queste vibrazioni secondarie dipen-

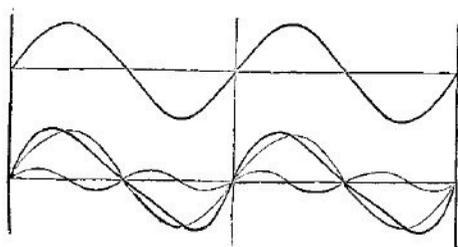


Fig. 97. – Composizione delle oscillazioni.

dono dalla specie del corpo vibrante, e la loro diversa distribuzione nel corpo sonoro è causa principale di ciò che chiamiamo il **timbro** dei suoni e degli strumenti musicali. Le vi-

brazioni secondarie producono le cosiddette «note superiori». Una corda, per esempio, può dare, insieme col

suo suono normale, quello di numero doppio ed anche triplo di vibrazioni, i quali, come mostra il diagramma della fig. 97, corrispondono a spostamenti proporzionalmente più piccoli. Si deve sentire allora, insieme con la nota fondamentale, anche la sua prima ottava superiore, sebbene assai debolmente; e anche la quinta di questa, più debole ancora. Questo accordo conferisce alla corda il suo timbro particolare. Queste note secondarie, in certi dati casi rinforzano quella principale, in altri la indeboliscono. Noi possiamo rappresentare ciò graficamente, riunendo, come abbiamo fatto nel nostro disegno, le linee di onda che si intrecciano tra loro, in una sola che è quella superiore. Questa è la forma che prende realmente la corda vibrando.

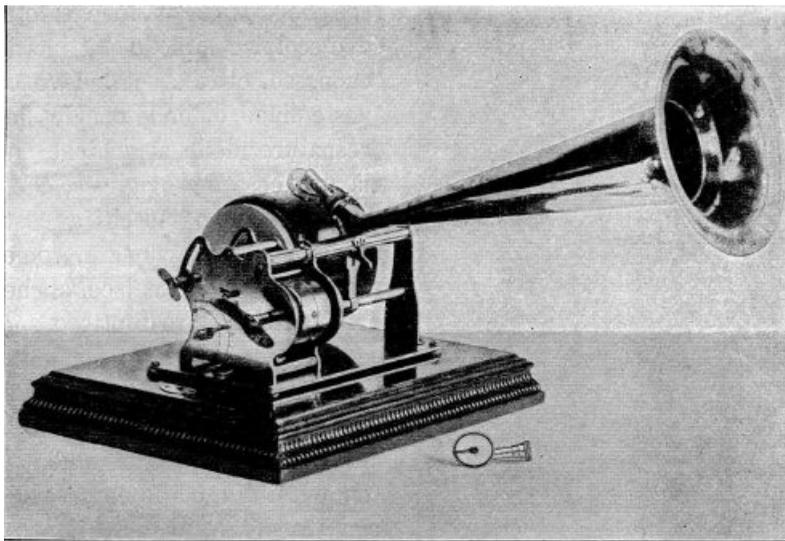


Fig. 98. – Il fonografo.

Una conferma di ciò l'abbiamo in uno strumento, giunto negli ultimi tempi ad una grande notorietà, cioè il **fonografo** (fig. 98), che fu portato alla sua massima perfezione dal geniale inventore Edison (fig. 99). Esso consta,

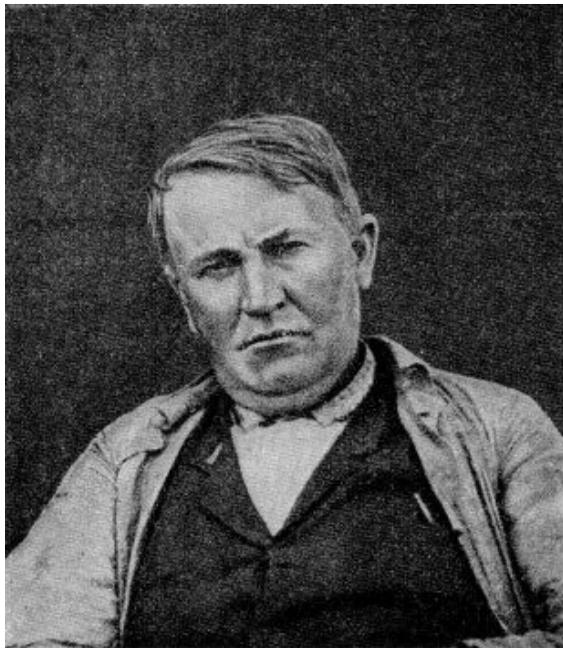


Fig. 99. — Thomas Edison.

essenzialmente di una membrana elastica che può essere di diverse sostanze, come lamina di metallo, vetro, mica. Nel mezzo della membrana è applicata una punta che tocca con dolce pressione sopra un cilindro ricoperto di paraffina; il quale ruota, spostandosi anche la-

teralmente, e la punta vi incide un sottile solco a spirale. Questo solco avrà sempre la stessa profondità, finchè la pressione esercitata sul cilindro rimarrà uguale. Ma, se la membrana vien posta in vibrazione per effetto delle onde sonore, la punta produrrà incisioni più o meno profonde nella paraffina. Facendo poi, di nuovo, rotare il cilindro, e riportando la punta alla posizione di partenza, le si fa ripercorrere il solco tracciato, e perciò essa con

la membrana ripete le stesse vibrazioni che avevano prodotto le incisioni. Queste vibrazioni si comunicano all'aria e alla nostra membrana del timpano, come se fossero originate dalla primitiva sorgente sonora. Si può, con questo apparecchio fissare fenomeni sonori di qualsiasi specie, e dopo un certo tempo riprodurli e udirli in tutti i loro effetti.

La ricerca della forma delle incisioni nel cilindro, mostra che queste corrispondono proprio a quelle linee d'onde di cui abbiamo sopra dato il disegno. E l'orecchio distingue bene, nei suoni ripetuti dal fonografo, il timbro dei diversi strumenti; si sente benissimo se un pezzo di musica è suonato da uno strumento a corda, o di metallo o di legno, poichè ogni categoria di strumenti musicali è contrassegnato da una diversa combinazione di note superiori. Ma ogni possessore di un fonografo avrà anche sentito, che l'apparecchio non in tutti i casi può riprodurre esattamente il timbro. Vi si avvertono spesso note estranee, che danno suoni stridenti, metallici, nei toni acuti specialmente. Si è creduto da molti che questo dipendesse dalla forma o dalla qualità del padiglione, destinato a rinforzare, tanto le vibrazioni sonore che giungono alla membrana, quanto quelle ripetute dalla medesima. Si dubitò che l'imbuto metallico generasse particolari note armoniche. Ma, evidentemente, l'inesatta riproduzione non dipende da un'aggiunta, ma da una mancanza di note. Non tutte le fini vibrazioni delle armoniche superiori che l'orecchio avverte ancora, possono essere incise sul cilindro. Basta considerare che la

punta del fonografo, nelle note, deve scolpire mille e più incisioni al secondo, ed, oltre a ciò, deve completare queste linee di onde con le finissime increspature delle armoniche superiori. È già una cosa meravigliosa, che i moderni meccanici siano riusciti a costruire una macchina di tale finezza, come il fonografo. Per ciò si capisce, anche, che esso sia ancora alquanto difettoso, specialmente per le note più alte, poichè per queste quelle onde sono estremamente piccole. E si comprende anche, che il timbro generalmente diventi metallico, perchè gli strumenti di metallo danno relativamente meno armoniche di tutti.

Col fonografo si può fare un esperimento che è per noi molto istruttivo. Se nella riproduzione di un pezzo musicale si fa andare il cilindro dell'apparecchio, più o meno rapidamente di quando il pezzo fu fissato nel cilindro, il tono diventa più alto o più basso, senza che le armonie della composizione musicale ne vengano in alcun modo alterate; si può così trasportare il pezzo di musica in un altro tono qualunque senza fare altro che cambiare quello della velocità del cilindro. Comprendremo subito questo, se ci ricordiamo, che le armonie dipendono solo dai rapporti dei numeri delle vibrazioni e non dal loro valore assoluto. Così se facciamo ruotare il cilindro con velocità doppia di quella originale, tutto il pezzo di musica viene innalzato esattamente di un'ottava. Il fenomeno non è diverso da quello già osservato sulla sirena. Si comprende però nello stesso tempo, quanto sia importante che il cilindro del fonografo abbia sempre

una velocità perfettamente costante, poichè altrimenti, un pezzo anche chiarissimo viene ad essere riprodotto malamente, quando per l'ineguaglianza del movimento i numeri delle vibrazioni delle note che si succedono perdono i loro rapporti numerici donde deriva l'armonia voluta.

L'esistenza delle armoniche superiori può anche essere rilevata da un altro importante fenomeno acustico, cioè la «**risonanza**». Per intenderlo ritorniamo al nostro esperimento del tamburello, che colpito produce una condensazione d'aria, per la quale un altro tamburello è posto in ugual movimento. Analogamente, anche le onde sonore emesse dai corpi vibranti tendono a comunicare il movimento vibratorio a tutti i corpi che le circondano. Le potenti note dell'organo mettono in vibrazione tutti gli oggetti vicini. Invece, il movimento vibratorio prodotto dalle altre note è, in condizioni ordinarie, assolutamente inavvertibile. In certi casi però le loro piccole azioni vengono a sommarsi, e allora, almeno alla finissima sensibilità dell'orecchio, divengono molto facilmente riconoscibili. Per illustrare meglio il fenomeno, ricorriamo ad un noto esempio appartenente ad altro campo.

La moderna ingegneria costruisce grandi ponti sospesi, sopra fiumi o bracci di mare. Queste opere sono soggette a potenti tensioni interne che possiamo valutare colle leggi di meccanica già svolte. Le suddette tensioni e la necessaria elasticità del materiale danno così a questi ponti le proprietà delle corde vibranti; ed essi hanno

vibrazioni proprie di grandezza determinata, le quali eccitate da un urto durano lungo tempo, anche senza che altri urti sopravvengano. Questi ponti sono così solidamente costruiti che si potrebbero riempire di gente senza che ci fosse alcun pericolo di danno. Al contrario, in certe circostanze, anche un piccolo numero di persone, come un drappello di soldati, potrebbe esser pericolosissimo per una simile gigantesca costruzione, se essi traversassero il ponte marciando a passo cadenzato: perchè potrebbe accadere, che le oscillazioni proprie del ponte stessero in un rapporto semplice col ritmo del passo di marcia. Se per esempio, il ponte oscilla con lo stesso periodo, si abbasserà nell'istante medesimo in cui il passo dei marcianti gli dà un nuovo impulso nello stesso senso, e così si accresce continuamente l'ampiezza dell'oscillazione. La forza che viene così esercitata da quei pochi uomini, coi loro passi regolari, può dunque centuplicarsi, e finalmente il ponte può sotto il loro peso spezzarsi, benchè in condizioni normali sia in grado di sopportare un peso 100 volte maggiore.

Lo stesso avviene nelle corde vibranti. Le onde sonore dell'aria sono per esse i soldati che marciano a passo. Se queste incontrano corde capaci di ugual numero di vibrazioni, le loro azioni si sommano, e così pongono a poco a poco le corde in vibrazione. Ci si può persuadere eccitando una corda di un violino, mentre un altro violino accordato col primo si trova vicino: questo violino, che nessuno ha toccato, risuona e continua anche quando le vibrazioni eccitatrici dell'altro sono cessate

da un certo tempo. Si capisce facilmente, che anche le note armoniche di una nota fondamentale possono essere prodotte per risonanza. Se una corda dà un numero di vibrazioni doppio di un'altra, allora, ogni due vibrazioni, una verrà rinforzata dall'altra corda, e dalla nota fondamentale sarà eccitata l'ottava superiore. È facile osservare il fenomeno col pianoforte. Alzando lo smorzatore in modo che le corde possano vibrare liberamente, si tocchi ripetutamente e con forza una nota, smorzandola poi subito con un dito senza toccare le altre; allora si udrà distintamente la prossima ottava superiore della nota. Che, realmente, proprio la corda appartenente a questa nota entra in vibrazione, si può mostrare visibilmente per mezzo dei cosiddetti «cavalierini» di carta, che si pongono sulle corde. Essi rimarranno allora tutti fermi, e soltanto sarà respinto quello della corda dell'ottava, se si batterà la sua nota fondamentale. Si può variare l'esperimento, lasciando libere di rispondere solo le ottave superiori; ed allora per un orecchio fine, la nota generata per risonanza avrà un timbro un po' diverso da quello di prima, quando erano libere di vibrare tutte le corde. Questo ci prova che nella risonanza sono eccitate anche altre note superiori oltre l'ottava, come già si poteva pensare per principî meccanici già esposti. Adoperando, invece di corde vibranti, dei corpi le cui superficie possano metter in vibrazione consonante, una maggior quantità d'aria che una sottile corda, ma che tuttavia abbiano un numero proprio di vibrazioni ben determinato, si può rinforzare per l'orecchio una data nota,

così da distinguerla anche in mezzo ad una mescolanza di molte altre più forti; così fece l'Helmholtz nelle sue celebri ricerche sulle note armoniche e sul timbro dei suoni.

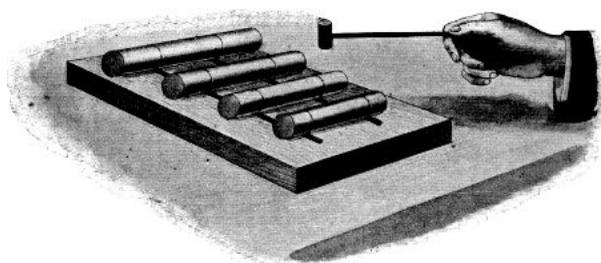


Fig. 100. – Aste sonore per le note acutissime.

Le «casse armoniche» dei diversi strumenti hanno, al contrario, la proprietà di vibrare sotto l'effetto di qualunque

nota. Esse perciò rinforzano tutte le note mediante la loro grande superficie, la quale, a sua volta, mette l'aria in vibrazioni consimili.

L'effetto della risonanza è stato anche utilizzato per accertare e misurare quelle rapidissime vibrazioni che più non danno impressione di suono all'orecchio. Se una sbarretta metallica, che vibrando per un colpo produce una nota già molto acuta, si colloca sopra sostegni fissi così disposti che le sue vibrazioni, come avviene per la posizione delle dita nel violino, vengano a raddoppiarsi e a triplicarsi, si può giungere al punto che il numero di queste vibrazioni superi i limiti della percezione uditiva; e allora udremo solamente il colpo secco dell'urto senza nessun suono (fig. 100). Potrebbe darsi però, che in queste condizioni, veramente, l'asticella non vibrasse più o anche che le sue vibrazioni non avessero energia sufficiente per farsi sentire. In questo caso,

per risolvere la questione, si fa penetrare l'estremità dell'asticella in un tubo di vetro, dando alla colonna d'aria contenuta nel tubo una determinata lunghezza collo spostamento di un tappo applicato dall'altra parte. Colla vibrazione della colonna d'aria dentro il tubo, l'effetto meccanico di quelle vibrazioni è notevolmente aumentato, ma tuttavia non si ode alcun suono. Se però si sparge nel tubo della polvere leggiera, come quella di lycopodio o anche di sughero, essa sarà respinta da quei movimenti d'onde più forti che abbiamo indicato al nome di «ventri» e si raccoglierà nei «nodi». Si generano così delle speciali figure, che si sono chiamate dal nome del loro scopritore «**figure di Kundt**» (fig. 101). La misura della distanza dei nodi ci dà la lunghezza d'onda delle vibrazioni, e da questa si può ricavare anche la velocità di propagazione.

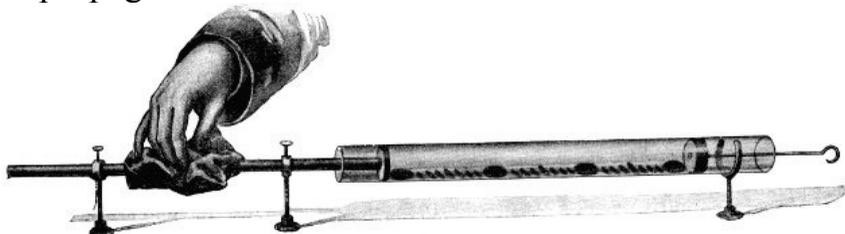


Fig. 101. – Figure di Kundt.

Insieme con queste, possono essere menzionate anche le cosiddette **figure di Chladni**, che si formano in modo simile per la distribuzione della sabbia sopra lastre di metallo vibranti. I punti nodali delle corde diventano qui «linee nodali» la cui forma è tanto più avviluppata

quante più note armoniche si mischiano con la nota fondamentale. Si osservino (fig. 102) questi intricati e graziosissimi disegni di linee simmetriche; pensando che, mentre questi si formano sulla lastra, le particelle dell'aria debbono similmente aggrupparsi nello spazio a tre dimensioni, ci si potrà fare un'idea della straordinaria complessità di questo mondo molecolare che sfugge alla nostra diretta osservazione.

Per formare le *figure di Kundt* con la polvere, ci siamo serviti di un tubo di vetro, che col suo tappo mobile ha proprio la forma di uno zufolo. Una moderata corrente d'aria, che sfiori la parte aperta del tubo, come quella che in tali strumenti si produ-

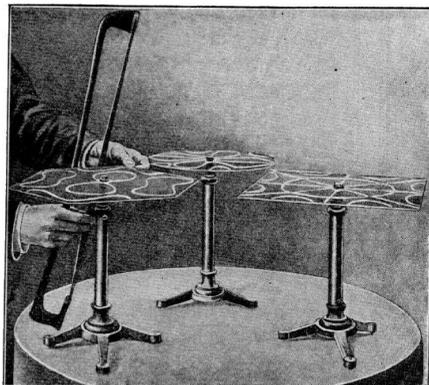


Fig. 102. – Figure di Chladni.

ce con la bocca, produce una nota la cui altezza è dipendente dalla lunghezza del tubo, la quale si può variare spostando il tappo. Le vibrazioni si producono dove il getto d'aria rade l'orlo del tubo, e si comunicano alla colonna d'aria contenuta nell'interno, la quale prende un movimento vibratorio con periodo dipendente dalla lunghezza del tubo. La colonna d'aria vibra nel senso dell'asse del tubo: al fondo chiuso, il movimento vibratorio è nullo e vi corrisponde un *nodo*; all'apertura il movimento è massimo e vi corrisponde un *ventre* dell'ondulazione: cosicchè, nel caso più semplice, la lunghezza

dell'onda sonora è quattro volte la lunghezza del tubo, e quindi il numero delle vibrazioni sarà dato da $n = \frac{v}{4l}$ dove $v = 333$. Un tubo chiuso, per dare il *la* di Parigi di 435 vibrazioni, deve essere lungo 0,192 m. Un tubo lungo 16 volte tanto, cioè circa tre metri, darebbe il *la* più basso di 4 ottave.



Fig. 103.
Canna d'organo.

Il tubo rende un suono, anche se aperto alle due estremità, alle quali allora corrispondono due ventri dell'onda; e perciò la lunghezza del tubo corrisponde alla metà di una lunghezza d'onda, ossia la lunghezza dell'onda sonora è il *doppio* della lunghezza del tubo; cosicchè il suono prodotto è l'ottava alta dell'altro, ed il numero delle vibrazioni è dato dalla formula $n = \frac{v}{2l}$. Un tubo aperto ai due estremi, per dare la stessa nota di uno chiuso, deve essere lungo il doppio. Le due qualità di tubi sonori si distinguono inoltre, per la diversità delle note armoniche che possono dare, ed anche dal timbro differente; per cui vengono adoperati a diversi effetti nella musica.

I particolari della costruzione dei tubi sonori applicati ai diversi strumenti non devono più oltre interessarci. Essi sono tutti basati sullo stesso principio, e il mo-

dello più semplice ne è la canna d'organo rappresentata nella fig. 103.

È facile l'osservazione, che le canne sonore danno le loro vibrazioni in maniera affatto differente dalle corde. Queste vibrano *trasversalmente*, cioè nel verso perpendicolare alla loro lunghezza, e le onde d'aria generate si allargano parallelamente alle corde. Nei tubi, al contrario, le onde si propagano nel verso della lunghezza o *longitudinalmente*. Si possono bensì, anche sulle corde, produrre vibrazioni longitudinali, sfregandole in maniera speciale in direzione della loro lunghezza. Vengono così a generarsi, all'interno, delle condensazioni che si propagano lungo le corde, con una velocità dipendente dall'elasticità, e si produce un suono stridulo che non è in alcun rapporto con la nota data dalle vibrazioni trasversali. Dunque, non solo nell'aria, ma anche in qualunque altro mezzo elastico, possono propagarsi vibrazioni e prodursi suoni, come già era da supporre. E su questo ritorneremo in seguito.

I fenomeni delle vibrazioni sonore debbono quindi interessarci, anche perchè essi, essendo i più lenti nella serie apparentemente illimitata delle vibrazioni naturali, sono i più accessibili alla nostra osservazione. E per le vibrazioni di ordine superiore, delle quali più avanti avremo da occuparci, ci forniscono molte analogie e molti punti comuni che

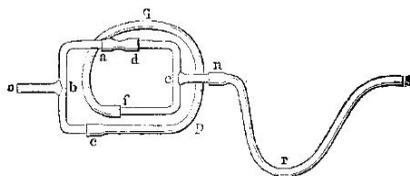


Fig. 104.
Interferenza del suono.

di quelle ci facilitano la comprensione. Questo accade specialmente per il fenomeno della **interferenza**, già trattato da noi a proposito delle onde d'acqua; per questo fenomeno avviene, che due serie di onde uguali, che si incontrano con l'intervallo esatto di mezza lunghezza d'onda, vengono interamente neutralizzate; perchè le particelle materiali che per effetto di una serie di onde sarebbero spostate in un certo senso, ricevono, dall'altra, impulsi uguali e contrari, e perciò rimangono assolutamente in quiete. L'interferenza delle onde sonore può, con una conveniente disposizione sperimentale, produrre il singolare fenomeno, che una nota aggiunta ad un'altra non la rinforzi, ma ambedue si estinguano. L'esperimento è stato fatto da Norremberg, come mostra la fig. 104, facendo passare un suono nei due bracci di un tubo ramificato, uno dei quali è più lungo dell'altro di mezza lunghezza d'onda. Allora, dove i due bracci si riuniscono, si incontrano sempre dall'una parte un'onda condensata, dall'altra una rarefatta. Quindi, al comune sbocco dei due tubi, non arriva alcun suono, che subito, invece, si avverte se si chiude l'uno o l'altro dei due bracci del tubo. Così è provato, anche nel suono, questo importantissimo fenomeno del movimento ondulatorio.

Un *fenomeno* affine a questo è quello detto dei **Battimenti**. Se due note pochissimo differenti in altezza, per esempio di un semitono, vengono insieme sonate, si sente, che la loro intensità aumenta e diminuisce ad intervalli determinati, onde il suono risultante presenta delle oscillazioni ingrate caratteristiche. Esse si formano

perchè in certi dati punti i ventri delle due serie di onde si sommano e perciò rinforzano il suono, mentre in altri si ha interferenza parziale.

Una rappresentazione schematica delle due serie d'onde,

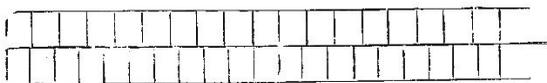


Fig. 105. — Spiegazione dei battimenti.

come quella della fig. 105, e anche semplici considerazioni geometriche, dimostrano, che la distanza fra due punti nei quali i centri delle due serie si incontrano, è uguale alla velocità del suono divisa per la differenza del numero delle vibrazioni dei due suoni; e perciò, in un secondo, arriva all'orecchio un numero di «battimenti» eguale alla differenza medesima⁸. Così, due diapason, di cui l'uno dia le 440 vibrazioni del corista tedesco, l'altro le 435 di quello di Parigi, fanno nascere 5 battimenti al secondo, se sono eccitati contemporaneamente.

8 Infatti indicando (Fig. 105) con l_1 la maggiore lunghezza d'onda e con l_2 l'altra, la coincidenza di due centri avverrà dopo un certo numero n delle prime onde corrispondente in lunghezza a $n + 1$ delle altre; quindi la distanza fra i due punti di coincidenza sarà data da $nl_1 = (n + 1)l_2$. Da cui si ricava $n(l_1 - l_2) = l_2$

e $nl_1 = \frac{l_1 l_2}{l_1 - l_2}$. Sostituendo ora a l_1 , il suo valore $\frac{v}{n_1}$ e a l_2 il

corrispondente $\frac{v}{n_2}$ (dove v è la veloc. del suono e n_1 n_2 i nume-

ri delle vibrazioni), la detta distanza diventa $\frac{v}{n_1 - n_2}$ (N. d. T).

Per mezzo di un apparecchio ingegnoso si può avere una grafica e automatica riproduzione delle vibrazioni di un diapason. A questo scopo, si attacca superiormente al diapason un piccolo specchio sul quale si fa riflettere un punto luminoso. Il raggio riflesso dello specchio riproduce allora tutti i movimenti dal diapason, e forma una linea tanto più lunga quanto più è lontana la superficie sulla quale viene a proiettarsi. Si può, quindi, farlo cadere sopra una carta fotografica nella quale il punto luminoso oscillante si disegna in modo stabile. Se si fa riflettere questo raggio luminoso in un secondo specchio, unito ad un altro diapason, allora i movimenti vibratorî dei due diapason si compongono,

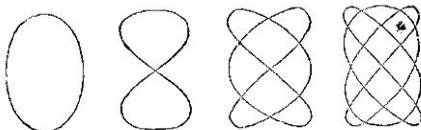


Fig. 106. – Curve di Lissajou.

ed il raggio traccia una figura che nel caso più semplice è un cerchio; mentre, combinando opportunamente i due movimenti vibratorî, si hanno curve intrecciate come quelle della fig. 106, che, dal nome dell'inventore dell'apparecchio, si chiamarono **Figure di Lissajou**.

Quando la differenza delle vibrazioni di due note emesse insieme è maggiore di 12, il nostro orecchio non può più percepire separatamente i battimenti prodotti; i quali allora si fondono in un suono unico, la *nota differenziale*, che viene ad aggiungersi con le altre due. Così, come una singola nota ha le sue armoniche superiori, più note combinate insieme danno origine a note più

basse e sempre più ricco si presenta il quadro delle vibrazioni, che si intrecciano complessamente tra loro, e che nella musica ci trasportano ed entusiasmano.

Per considerazioni che avremo da fare più avanti, è di grandissimo valore anche un altro fenomeno acustico che ognuno di noi ha già osservato. Se un treno ci passa davanti fischiando, osserviamo che la nota del fischio si abbassa improvvisamente, appena la locomotiva è passata davanti a noi, rimanendo poi invariata. Se noi potessimo fissare i due suoni, si troverebbe che nessuno di essi corrisponde al fischio della locomotiva quando è ferma, ma che questo è una media di quei due. Troveremo cioè, cosa che poteva prevedersi, che il movimento della sorgente sonora fa cambiare l'altezza del suono, il quale diviene più alto coll'avvicinamento, più basso coll'allontanamento. Infatti, nel primo caso, alla velocità del suono si aggiunge quella della sorgente sonora, nel secondo caso si sottrae. Ed avviene lo stesso, se è, invece, l'ascoltatore che si muove, mentre il corpo sonoro sta fermo.

Se la velocità con la quale il corpo sonoro si avvicina è di v metri al secondo e n sono le vibrazioni, una semplice considerazione dimostra, che, durante questo tem-

po, devono giungere al nostro orecchio $n\left(\frac{333+v}{333}\right)$ vibrazioni: per l'allontanamento, bisogna sostituire, invece, $-v$. I nostri treni più rapidi hanno una velocità di circa 30 m. al secondo. Supponiamo che il fischio della

locomotiva che ci viene incontro, dia il *re* di 1161 vibrazioni: se noi pure ci troviamo in un altro treno che va incontro al primo con la stessa velocità, la somma delle due velocità, ossia la velocità dell'avvicinamento è di 60 metri. La nota udita sarà di

$$\frac{333+60}{333} \times 1161 = 1370 \quad \text{vibrazioni, cioè innalzata}$$

quasi di una terza minore. e sarà un *fa*. Nell'allontanamento essa diverrà di altrettanto abbassata, e salirà dunque dal *fa* al *la* superiore: e la variazione sarà di quasi un'intera ottava. Così abbiamo la possibilità di valutare approssimativamente la velocità di un treno in corsa, soltanto per mezzo del nostro senso uditivo.

Fenomeni simili avvengono in tutte le vibrazioni, e vedremo più tardi quale importante applicazione se ne è fatta per quelli della luce. Per mezzo di questo principio detto *Principio di Döppler*, possiamo giungere a sicure conclusioni sui movimenti dei corpi celesti che si trovano a smisurate distanze, e che corrono incontro alla Terra o se ne allontanano.

Poichè l'aria d'ogni parte ci circonda, si capisce bene che noi studiamo principalmente in questa i fenomeni del suono. Ma sarà egualmente chiaro, che tutti questi fenomeni osservati nell'aria, avvengono anche in un altro qualunque mezzo elastico, perchè in ogni mezzo così fatto si possono propagare le vibrazioni. Non ci deve fare meraviglia che una campana posta sotto il vaso della macchina pneumatica non suoni più, mentre può dare

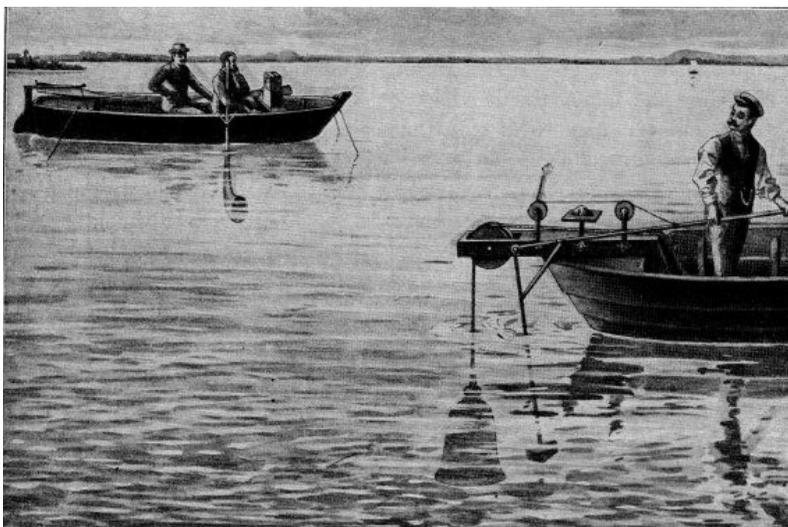


Fig. 107. – Misura della velocità del suono nell'acqua.

un suono anche sotto l'acqua. Naturalmente la velocità di propagazione è diversa secondo la densità e l'elasticità del mezzo; e, teoricamente, la velocità di propagazione del suono nell'acqua dovrebbe essere di 1410 m. al secondo, cioè oltre 4 volte di più che nell'aria. Alcune ricerche che si fecero nel lago di Ginevra (fig. 107), battendo una campana sommersa e raccogliendo ad una certa distanza il suono mediante un tubo acustico parimente immerso nell'acqua, diedero per risultato una velocità di 1435 m., cifra che corrisponde assai bene, tenuto conto dell'incertezza di alcuni dei dati per il calcolo teorico, ed anche degli errori possibili nelle osservazioni. Nei corpi solidi poi, dotati di grande elasticità, la velocità di propagazione del suono è ancora maggiore. Così si trova in media, di 4030 m. per il ferro, valore

confermato anche dall'esperienza. La considerevole altezza del suono di asticelle o corde fatte vibrare in senso longitudinale, rivela subito la grande velocità di propagazione del suono in questi corpi e ci permette di anche misurarla.

Dopo avere imparato a conoscere le principali proprietà delle vibrazioni sonore, diviene più facile comprendere la percezione che ne riceviamo per mezzo del nostro organo

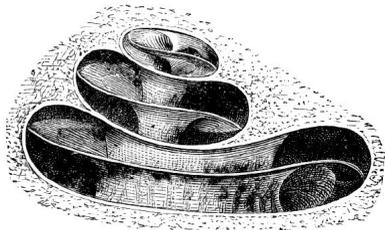


Fig. 108. - La chiocciola.

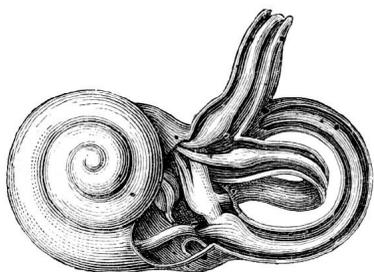


Fig. 109. - Il labirinto.

uditivo. Le onde d'aria vengono condotte alla membrana del timpano per mezzo di una specie di imbuto che le condensa e quindi le rinforza. Per quanto complicati siano i movimenti vibratorî che con l'aria

arrivano alla membrana del timpano, questa può sempre accoglierli e riprodurli. Essa, come le casse degli strumenti musicali, è capace di rispondere a qualunque specie di vibrazioni. Il martello attaccato nel mezzo della membrana del



Fig. 110. - La chiocciola coi nervi uditivi.

timpano agisce, mediante la staffa, come una leva sensibile di straordinaria finezza, che trasmette le vibrazioni, rinforzate, al liquido acquoso, contenuto nell'interno del labirinto, il quale conduce il suono meglio dell'aria. Il labirinto è in comunicazione con la cosiddetta *chiocciola*, ed in entrambi va a terminare un gran numero di filamenti nervosi che si riuniscono in un comune fascio di nervi auditivi (flag. 108, 109, 110, 111). Per mezzo di questo, l'eccitamento esterno è trasmesso alle cellule cerebrali, come abbiamo già detto nella nostra introduzione. Le estremità dei nervi auditivi nel labirinto e nella chiocciola, hanno una speciale rigidezza, quasi vetrina, e quindi sono molto elastiche. Hanno lunghezze molto diverse, e, specialmente nella chiocciola, formata di tre

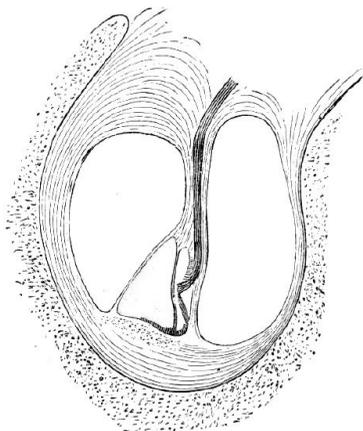


Fig. 111. – La chiocciola.
Sezione trasversale.

avvolgimenti che vanno diminuendo di grandezza, esse sono disposte l'una avanti l'altra in ordine di lunghezza decrescente, come le corde di un pianoforte. Questo meraviglioso sistema si chiama, dal primo che lo descrisse, *organo del Corti*. Dopo le conoscenze acquistate sulle corde degli strumenti musicali non ci può essere alcun dubbio, che ciascuno

di questi filamenti nervosi, per effetto di risonanza, è

posto in movimento vibratorio solamente da un suono di un determinato numero di vibrazioni; come, appunto, delle tante corde di un pianoforte, si mette in vibrazione soltanto quella il cui numero di vibrazioni corrisponde a quello del suono eccitatore. Queste fibre nervose di varia lunghezza decompongono un suono complesso nei suoni elementari che lo costituiscono e che determinano parziali eccitazioni dei singoli nervi. Il movimento generato dalla risonanza è dunque bastante per provocare l'eccitazione dei nervi; la quale, di qualunque specie sia, una volta trasmessa dal nervo acustico, dà sempre alla nostra coscienza la sensazione del suono. L'eccitazione multipla, simultanea o successiva delle cellule cerebrali, determina il senso dell'*armonia* e della *melodia*.

La somiglianza dell'organo del Corti con uno strumento musicale fece, fin da principio, supporre ch'esso avesse il compito di percepire specialmente i veri suoni, a differenza dei semplici rumori; cioè, che esso fosse proprio il nostro organo musicale. E non può essere diversamente. Tuttavia, non è esso il solo organo capace di trasmettere le sensazioni musicali, perchè gli uccelli canori, che pure hanno un eccellente udito musicale, non posseggono l'organo del Corti, il quale si trova soltanto negli animali superiori. Le estremità nervose, ammassate nelle cosiddette ampolle del laberinto, possono dunque ugualmente trasmettere le impressioni musicali; e sembra, perciò, che quel delicatissimo organo del nostro orecchio debba servire solo ad un raffinamento tutto speciale del nostro senso musicale, che la Natura ha do-

nato all'uomo per aumentare e completare i godimenti del senso dell'udito. L'organo del Corti non è dunque indispensabile nell'organismo umano, a meno che non si consideri un elevato piacere dei sensi come **una necessità psichica**. Si può dire, anzi, che il fenomeno del suono non ha alcuna azione importante nel meccanismo del mondo fisico: le vibrazioni sonore, le più lente di tutte, restano limitate nel sottile involucro aereo della nostra atmosfera.

Noi non possiamo chiudere questo capitolo, senza parlare di un altro organo che non trasmette, come l'orecchio, le vibrazioni sonore al centro del sistema nervoso, ma che, invece, genera di tali vibrazioni: cioè, della *laringe* e degli organi ad essa connessi, per la produzione della voce.

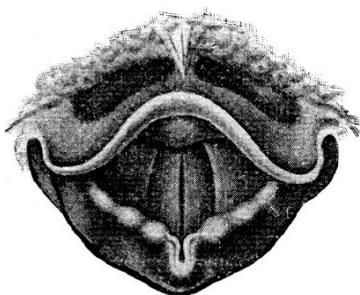


Fig. 112.

Laringe con glottide chiusa.

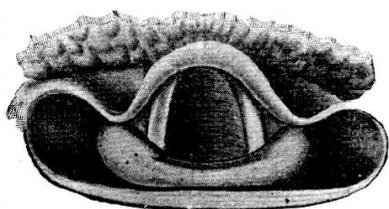


Fig. 113.

Laringe con glottide aperta.

L'apparato vocale si può nelle linee generali paragonare ad una canna d'organo, per quanto concerne i suoi effetti fisici. In alcune di queste canne, le onde sonore nascono dalle vibrazioni di una linguetta, la quale, per

effetto di una corrente d'aria costante vibra con una velocità dipendente dalla sua lunghezza ed elasticità. Nella

laringe, questo compito è eseguito dalle *corde vocali*: l'aria cacciata dai polmoni, passando, comunica ad esse un movimento vibratorio che produce il suono. Ma mentre la linguetta delle canne sonore è invariabile, e perciò non può dare che una sola e medesima nota, le corde vocali invece possono notevolmente modificarsi. Esse possono essere allungate ed accorciate, e può, an-

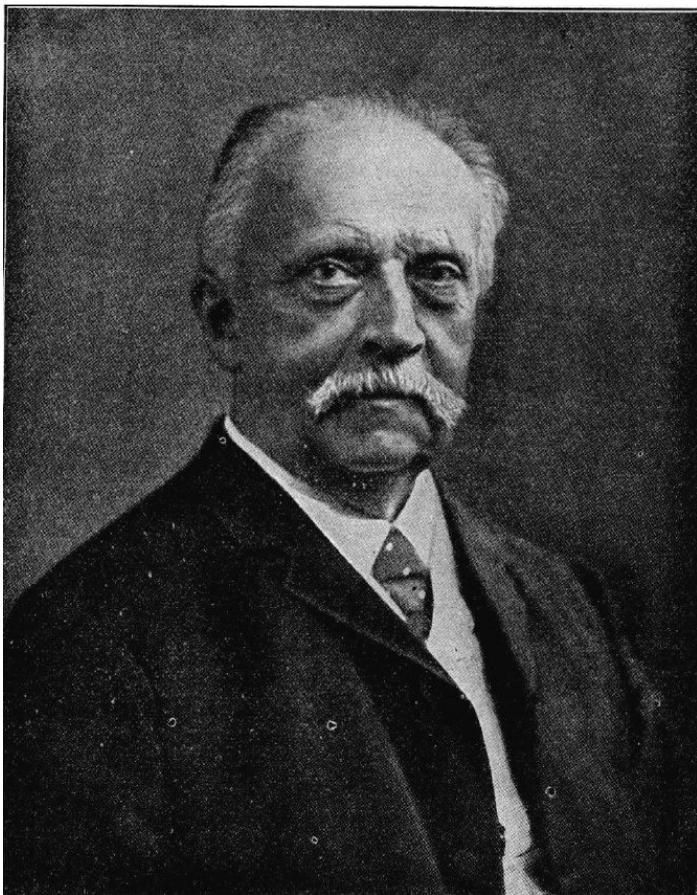


Fig. 114. – H. von Helmholtz.

che, allargarsi o restringersi lo spazio che le separa, cioè l'apertura laringea; cosicchè noi, con questo solo strumento, possiamo produrre con grande esattezza qualunque nota a nostro piacere, dentro l'intervallo di oltre due ottave, comprendente 150 diverse gradazioni sonore. A tanti diversi strumenti riuniti insieme, quante sono le canne dell'organo, corrisponde dunque questa unica fisiologica canna. La laringe si potrebbe paragonare ad un violino con una corda sola, dal quale tuttavia un abile artista può ottenere bellissimi effetti musicali. Noi dobbiamo all'Helmholtz le ricerche più importanti fisiche e fisiologiche sugli organi dell'udito e della voce.

Peraltro, la voce umana non consiste solamente di note pure, ma ha anche molte diversità di timbro. Queste sono prodotte dall'effetto di risonanza delle varie cavità che si trovano in connessione colla laringe. La gabbia toracica forma una eccellente cassa armonica, la quale produce le *note di petto*, mentre, cantando in *falsetto*, vibrano solo la cavità boccale e nasale. La cavità nasale e quella toracica non possono notevolmente cambiare la loro forma, e perciò hanno un solo e costante timbro di voce; ma la bocca, invece, coi suoi organi annessi può assumere diversissime forme, e così, alla nota fondamentale emessa dalla laringe vengono ad aggiungersi svariate note armoniche. Sebbene si possa cantare ogni nota sopra ciascuna delle cinque vocali, tuttavia l'influenza del timbro nelle diverse vocali è diversa ed aumenta gradatamente in quest'ordine: *U, O, A, E, I*. Le ricerche fonografiche fatte da H. Hermann e F. Auerba-

ch, ci fan vedere che le note armoniche nell'*U* si trovano soltanto nella prima e seconda ottava della fondamentale: nell'*O* e nell'*A*, principalmente sono nella seconda; nell'*E*, nella seconda e terza; e finalmente nell'*I*, solamente nella quarta ottava. La cavità boccale produce, dunque, con le diverse forme che noi le diamo per la pronuncia delle vocali, l'effetto di quei risonatori che vibrano, in consonanza, solo con una determinata e precisa nota, e, fra tutte le altre note armoniche che accompagnano una fondamentale, rinforzano solamente quella. Abbiamo riportato le curve tracciate dal fonografo, cantandovi le cinque vocali colla stessa nota (fig. 115). Semplicissime si presentano le onde per l'*U*, e vi si vede chiaramente una piegatura a metà delle linee discendenti, per cui la nota armonica risulta nella prima ottava, con metà di lunghezza d'onda. Nelle linee discendenti si nota un ripiegamento nell'ultimo quarto della loro lunghezza, corrispondente all'armonica della seconda ottava. Tutte queste curve appaiono, ad un rapido esame, così essenzialmente diverse le une dalle altre, che si potrebbero, senz'altro, adoprare come segni di scrittura per le corri-

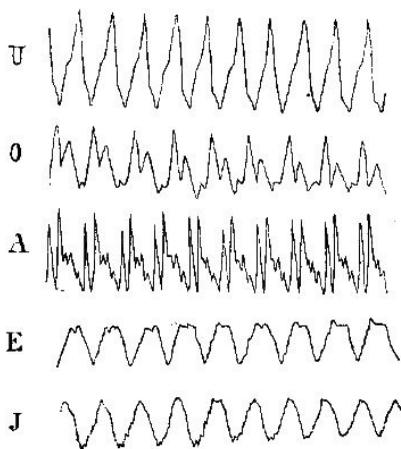


Fig. 115.
Fonografie delle vocali.

spondenti lettere: come, del resto, si era seriamente pensato di servirsi di queste ondulazioni, che pronunziate, da se stesse automaticamente vengono registrate, per mettere in movimento una macchina tipografica, nella quale una data serie di onde agisse soltanto sopra una data lettera, e, con questo mezzo, la parola pronunciata si stampasse da se stessa in caratteri ordinarii. Teoricamente, un simile apparecchio è possibile: pur tuttavia la finezza della distinzione fra le serie di onde, specialmente per i suoni prodotti dalle consonanti, richiederebbe una tale perfezione di costruzione, che praticamente non sembra possibile.

7. – Il calore.

Mentre il suono, nell'ordine de' grandi fenomeni naturali ha una parte relativamente secondaria, il calore, invece, ci si presenta come la più generale e originale tra le forme di energie naturali; quella che, insieme con la gravitazione, ha formato l'universo, e che incessantemente opera a mantenerlo o trasformarlo, agendo in tutti i fenomeni. Una smisurata emanazione di calore parte dal fuoco centrale del nostro sistema celeste, cioè dal Sole, e solo la 2735 milionesima parte di questa energia calorifica, cioè la parte infinitesima che incontra la nostra piccola Terra, è sufficiente per mantenere in perpetuo movimento la potente macchina della nostra atmosfera, dove l'acqua di tutti i mari sale e scende, conti-

nuamente, tra le nubi e la superficie terrestre. Ma il nostro Sole non è che una piccolissima stella nel sistema della Via Lattea, e tutta la sua energia raggiante, per noi smisuratamente grande, sparisce di fronte a quella posseduta dalla schiera di soli, che, ai nostri deboli occhi, si fondono in un ponte luminoso gettato attraverso la volta celeste. Molti di quei soli sono indubbiamente circondati da pianeti simili alla nostra Terra.

E, in ogni parte, il calore suscita e mantiene la vita nelle sue forme più svariate, appena che sotto il suo influsso la materia si unisce a costituire tessuti organici. Il calore è veramente la condizione universale della vita. Il grado della sua azione segna il momento in cui la vita può cominciare, e così pure quello in cui essa deve cessare e far luogo alla morte. Un piccolo cambiamento nella distribuzione del calore sulla superficie terrestre può ridurre alla miseria e alla disperazione una popolazione intiera. La generale presenza del calore, ne' suoi diversi gradi e forme, fa sì, che gli effetti di quasi tutte le altre forze naturali sono da esso dipendenti, perchè queste agiscono sempre insieme e sotto l'influenza del calore; e se nell'infinita varietà de' fenomeni naturali vogliamo riconoscere le immutabili leggi fisiche, è necessario stabilire dapprima l'azione del calore e la parte ad esso dovuta in tutti i fenomeni, per poterla poi separare dagli effetti delle altre forze naturali. Anche nella nostra introduzione, abbiamo dovuto già considerare la temperatura come un fattore necessario, prima ancora di averla compiutamente definita. Così abbiamo veduto, in

particolare, che i passaggi dall'uno stato d'aggregazione all'altro sono dipendenti dalla temperatura; che la velocità del suono, calcolata teoricamente, si accorda con quella data dall'esperienza, tenendo conto di certi risultati della teoria del calore, e che poi questa velocità cambia con la temperatura. A causa di questi multiformi effetti dell'energia calorifica, sempre presente e sempre attiva, ed anche per la facoltà che ha questa proteiforme forza di trasformarsi in tutte le altre forme dell'energia, non è facile assegnare al calore il suo giusto posto in un quadro sintetico delle forze naturali. Spesso è assegnato al calore l'ultimo posto, perchè, per comprendere completamente i suoi svariatissimi effetti e la sua trasformabilità, occorre conoscere bene anche tutte le altre forme di energia. Tale inconveniente è veramente comune ad ogni sistema di classificazione delle energie fisiche, le quali non agiscono separatamente, ma sempre e per tutto si intrecciano ne' loro effetti; ma trattando del calore si sente più che altrove, quanto la distinzione o separazione dei movimenti naturali sia arbitraria o, per lo meno, dipendente dalle proprietà dei nostri organi dei sensi. Perciò, qualunque sia l'ordine seguito avviene, che la intelligenza dei primi fenomeni che si prendono a studiare risente sempre un certo danno dalla incompleta conoscenza di molti altri, connessi ai primi e che solo più tardi potremo studiare. Questa difficoltà non potremo evitarla neppure noi, che ora ci accingiamo a trattare del calore; tanto più che lo collochiamo quasi al principio, nella serie delle forze naturali. Solo gli abbiamo fat-

to precedere la gravitazione, per la sua indipendenza dalle altre forze; e il suono, perchè, per la grande evidenza dei suoi fenomeni, costituisce un opportuno studio preliminare.

a) Misura della temperatura.

Se vogliamo prima di tutto dare una definizione del Calore, che ci è necessaria per delimitare il campo delle nostre ricerche, ci si presenta subito una difficoltà. Nella vita comune, ognuno sa molto bene che cosa s'intende per caldo e per freddo; poichè il calore agisce direttamente sopra di noi col senso del tatto, e ci indica se un corpo è più o meno caldo d'un altro. Ma già nella nostra Introduzione abbiamo dimostrato, a proposito della parte che i nostri sensi hanno nella conoscenza che per essi acquistiamo del mondo fisico, quanto incerto e malsicuro sia, a questo riguardo il senso tattile, anche dentro ai limiti ordinari di temperatura, e come sia assolutamente insufficiente oltre questi limiti; cosicchè, per esempio, noi non possiamo più distinguere corpi caldissimi da corpi freddissimi. Che cosa è dunque il calore? Non si domanda ora, ben s'intende, qual sia la vera sua natura, che non potremo intendere se non dopo lo studio particolare dei suoi fenomeni, ma si vuole solamente mettere in chiaro, quali sono i fenomeni calorifici, che ora dobbiamo considerare e studiare. Così, apprendemmo dapprima, dal nostro senso, che cosa fosse un suono, e dopo siamo riusciti a conoscerne la sua natura fisica, ed anche

come esso divenga una sensazione fisiologica. L'orecchio è un organo di meravigliosa finezza, la cui sensibilità ha determinato senz'altro i limiti del campo delle nostre investigazioni. Invece, data la insufficienza e limitazione del senso del tatto per il calore, questo non possiamo definire se non ricorrendo ad una circonlocuzione. Contentiamoci, dunque, di definire, per ora, come fenomeni calorifici, tutti quelli che possiamo osservare nei corpi, come effetto di quelle azioni che son capaci di produrre in noi, almeno in certi limiti, le sensazioni del caldo e del freddo.

Tra tutti i varî effetti del calore, il più evidente ai nostri occhi è quello di far cambiare il volume de' corpi; fenomeno, che ci permette di portare i nostri metodi di ricerca dal campo del tatto a quello della vista, utilizzando la dilatazione termica come un sistema per la misura del calore. Così, nel termometro vediamo salire il mercurio, se, col solo contatto della nostra mano, gli comunichiamo una parte del nostro calore naturale; e ne concludiamo, che questo calore nostro è maggiore di quello dell'aria da cui il termometro stesso è circondato. Ma perchè le nostre osservazioni acquistino una certa precisione, ci occorre un sistema conveniente di misura: e per questo, accanto al tubo in cui sale e scende il mercurio collochiamo una scala graduata, le cui suddivisioni, equidistanti ed eguali, possono essere della grandezza che vogliamo, come in un punto qualunque può essere quello di partenza per la loro numerazione, ossia lo *zero*. Oltre a questo, si richiede, che il tubo del termometro

abbia dappertutto uguale sezione; cosicchè, se vediamo salire il mercurio nel tubo per un egual numero di gradi, possiamo dire che una eguale dilatazione è avvenuta in esso, e quindi, anche, se l'effetto è proporzionale alla causa, che una eguale quantità di calore ha agito su di esso, per quanto diverse possano essere le maniere con cui quest'effetto fu ottenuto. Possiamo, dunque, considerare il calore, come qualche cosa, che può essere aggiunta o tolta ad un corpo, e che produce effetti proporzionati alla sua quantità; precisamente come di due corpi, diciamo, che hanno uguale massa, se la gravità agisce su di essi con uguale forza; per quanto poi nelle loro qualità possano essere diversissimi tra di loro.

Ma, di fronte alla comune abitudine di misurare la quantità di calore coi gradi del termometro, bisogna, prima di tutto, mettere in chiaro, che l'uso di questo solo strumento ci manterrebbe in un circolo vizioso: perchè noi terremmo come conosciuto e dimostrato quello che appunto vogliamo dimostrare; cioè che eguali quantità di calore producono nelle nostre misure uguali effetti. Certamente cause uguali devon sempre produrre uguali effetti; ma, per il cambiamento delle condizioni, non sempre questi ultimi si presentano a noi nello stesso e identico modo. Il volume de' corpi solidi e liquidi aumenta col calore, come vedremo, ma però non sempre in un semplice rapporto di proporzione con la quantità del calore comunicato. Se ciò avvenisse anche nel mercurio, è chiaro, che eguali gradi della scala termometrica non misurerebbero più uguali quantità di calore. Comin-

ceremmo, cioè; con concetti errati, che ci condurrebbero ad errori in tutte le altre conclusioni. Anche qui dobbiamo giungere alla verità, un poco alla volta, con metodi approssimativi; e il calore, specialmente per le sue multiformi manifestazioni, ci offre i più svariati mezzi di confronto e di riprova per tali metodi approssimativi. Si può trasformare una determinata quantità di calore, misurabile col termometro, in lavoro meccanico, impiegandolo, col mezzo d'una macchina a vapore, a sollevare un peso, e fare il confronto tra il lavoro ottenuto e la corrispondente quantità di calore consumato. Vedremo, in seguito, la parte che ha il calore anche in certi fenomeni elettrici, cosicchè anche questi ci forniscono nuovi mezzi di confronto e di misura. Tutte queste esperienze hanno dimostrato, che la dilatazione del mercurio, dentro i limiti di temperatura nei quali è possibile l'uso del termometro a mercurio, è in ragione di un certo stato o grado del calore, da cui similmente dipendono tutti gli altri fenomeni termici. Possiamo, dunque, veramente considerare il termometro a mercurio come un buon misuratore del calore, che con uguali gradi della sua scala indica uguali gradi dell'energia calorifica.

E perciò occorre, che le indicazioni di questo strumento, per noi fondamentale, possano, in ogni luogo e tempo, confrontarsi tra loro; ossia, dobbiamo stabilire, con una determinata convenzione, il modo di tracciare le divisioni della sua scala, e il punto di essa dal quale si abbia a cominciare la numerazione.

Si sarebbe potuto, senz'altro, stabilire, che ogni grado

fosse d'un millimetro; ma in tal caso, per avere da due termometri, eguali indicazioni, avremmo dovuto costruirli con tubi esattamente uguali di dimensioni ed anche di forma. Per evitare le grandi cause d'errore in cui saremmo incorsi con questo metodo, si è rinunciato, nella termometria, al sistema metrico, con tanto vantaggio usato nelle altre misure, per adottare un altro sistema fornitoci dalla stessa azione del calore, e che perciò in ciascun termometro può facilmente esser soggetto ad una facile e quasi automatica verificaione. Si è dunque convenuto di fissare il punto di partenza della scala, là dove la sommità della colonna del mercurio si arresta nel tubo, quando esso è immerso in un miscuglio di acqua e di pezzetti di ghiaccio; ossia, con altre parole, la numerazione de' gradi di calore si fa cominciare dalla temperatura del ghiaccio fondente, poichè l'esperienza ci ha insegnato, che questa temperatura, a parità di tutte le altre condizioni esterne, è sempre identica e corrisponde sempre ad una eguale posizione della colonna di mercurio. Questo è dunque lo zero della nostra scala di temperatura. L'altro punto fisico della scala è stabilito là dove il mercurio si ferma, quando il termometro è immerso nell'acqua che bolle sotto la pressione atmosferica normale. Tra il punto di fusione del ghiaccio e quello d'ebollizione dell'acqua così stabiliti, si possono intercalare quante suddivisioni si vogliono; ma, per le ricerche scientifiche, si usa esclusivamente la scala che porta tra questi due estremi 100 divisioni o gradi; questa è la scala detta di *Celsius* o *centigrada*, della quale anche

noi ci serviremo sempre, salvo indicazione speciale di alcuna altra delle scale ancora in uso. Poichè si adopera ancora, specialmente in Germania, il termometro di Reaumur, nel quale l'intervallo sopra indicato è diviso in 80 gradi, invece di 100; e in Inghilterra e in America, il vecchio termometro di Fahrenheit, in cui il punto di

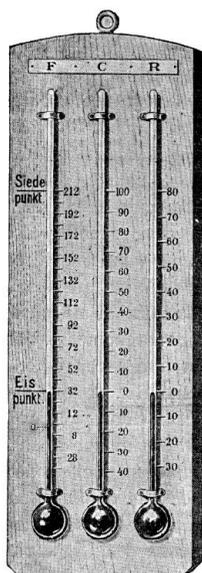


Fig. 116.

Le tre scale termometriche.

fusione del ghiaccio corrisponde a 32, e, tra questo e quello di ebollizione dell'acqua, sono 180 gradi, cosicchè quest'ultimo è al grado 212 (fig. 116). Lo zero della scala di Fahrenheit corrisponde al 18° (Celsius). Questo termometro ha, dunque, solo il piccolo vantaggio, che, nella maggior parte dei casi, adoperandolo per gli usi della vita comune, non dà valori negativi; ma per le ricerche scientifiche presenta, invece, molti svantaggi, e sarebbe perciò desiderabile, che per queste si adoperasse esclusivamente il termometro centigrado.

Come poi si costruisca un termometro a mercurio e come si correggano gli errori, dovuti specialmente alla diversa dilatazione delle varie specie di vetro adoperato, non possiamo qui dilungarci a descrivere. Col termometro a mercurio non si può certo misurare qualunque temperature. A $-39,5^{\circ}$ il mercurio si congela e non può più quindi indicarci le temperature più basse, mentre la fisica moderna ha biso-

gno in certi casi di misurare temperature oltre -200° . Così, pure, a $+357^{\circ}$ il mercurio bolle e non possiamo perciò adoperarlo per temperature superiori. Perciò, ed anche per altre ragioni, i Fisici adoprano la dilatazione de' gas, e quindi, nel caso più semplice, quella dell'aria atmosferica, per la determinazione della temperatura. Quelli che una volta erano chiamati gas permanenti hanno la prevalenza, prima, perchè soltanto a temperature estremamente basse passano allo stato liquido, e poi, perchè, per eguali variazioni di temperatura, si dilatano molto più dei liquidi e dei solidi. Nel termometro ad aria (fig. 117), al posto del mercurio si trova l'aria, la quale è in un recipiente perfettamente simile a quello del termometro a mercurio, col suo bulbo sferico ed il tubo, ed è separata dall'aria circostante per mezzo d'una certa quantità di mercurio, che giunge, per esempio, al punto C. In causa della dilatazione dell'aria nel recipiente AB, il mercurio viene spinto in alto nel tubo D, e così, con la sua posizione, ci indica i cambiamenti di temperatura dell'aria, rinchiusa in AB. Ma siccome il mercurio, nel tubo D aperto, è sottoposto alle variazioni di pressione atmosferica, bisogna, in ogni misura fatta col termometro ad aria, tener conto anche della pressione atmosferi-

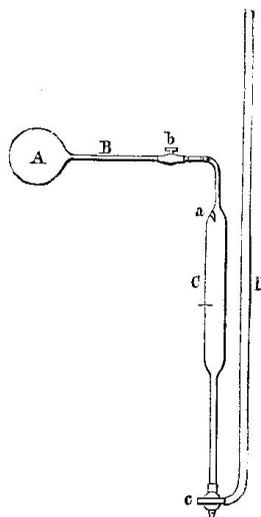


Fig. 117.
 Termometro ad aria.

ca, mentre, negli altri termometri, questa osservazione è necessaria soltanto una volta, nella determinazione del punto di ebollizione, e, a voler essere rigorosissimi, anche in quella dello zero.

b) Le leggi dei gas.

Accingendoci allo studio e alla misura degli effetti del calore ne' diversi corpi, con l'aiuto del termometro e di altri simili strumenti, noi dobbiamo ancora cominciare dai gas: perchè è da immaginarsi, che in essi, rappresentanti lo stato di massima libertà e mobilità della materia, le leggi che cerchiamo si presentino, anche per i fenomeni del calore, nella forma più semplice. Si trova, infatti, che, tra l'accrescimento della temperatura e quello del volume d'un gas, c'è un rapporto d'una semplicità sorprendente. Ogni gas, qualunque sia la sua costituzione chimica, per l'aumento d'un grado di temperatura, si dilata d'una quantità costante, che è $\frac{1}{273}$ ovvero 0,00366 del suo volume alla temperatura di 0°. Questo rapporto che si chiama *coefficiente di dilatazione*, è, dunque, un numero costante per tutti i gas ed a tutte le temperature, come per il primo riconobbe Gay Lussac; di certe limitazioni a questa legge parleremo in seguito. Dunque, una certa quantità d'aria, d'idrogeno, di anidride carbonica, o di qualunque altro gas, che a 0° occupi il volume d'un m.³, portato alla temperatura, di 273°, occuperà 2 m.³ supponendo che, durante quest'innalza-

mento di temperatura, non si opponga alla dilatazione del gas alcun altro ostacolo che la stessa pressione atmosferica, alla quale esso era sottoposto prima, e che si suppone invariata. In linguaggio scientifico, si dice, che il numero 0,00366 è il *coefficiente di dilatazione dei gas a pressione costante*. Ma se un gas, con un innalzamento di temperatura di 273° , passa, con regolare aumento, dal volume di 1 m.^3 a quello di 2 m.^3 , noi possiamo anche dedurne, che una eguale diminuzione di temperatura da 0° a -273° , deve produrre una contrazione del gas, per cui il volume deve ridursi da 1 m.^3 a zero, cioè ad un volume nullo; ossia la massa del gas, a questa temperatura di -273° , avrebbe una densità infinita. Un ulteriore abbassamento di temperatura non potrebbe, dunque, avere più alcuna influenza sul volume della materia originariamente gassosa; o, in altre parole, non potrebbe più produrre alcun movimento nelle sue singole particelle, le quali sarebbero completamente compresse le une contro le altre, in quel *minimum* teorico di volume. Si è perciò chiamata questa temperatura di -273 , lo «*zero assoluto*», e la temperatura contata da esso «*temperatura assoluta*», che si suole indicare con la lettera T ($T = t^{\circ} + 273$).

Da esperienze fatte sopra corpi non gassosi, sulle quali ritorneremo, sembra verosimile, che questi debbano raggiungere la loro massima densità già molto prima di questo zero assoluto. A questa temperatura vengono dunque a mancare completamente le leggi fisiche, poichè, con la *densità assoluta* che vi corrisponde, non è

più possibile alcuna azione chimica o fisica. Se alcuna parte dell'universo, isolata da ogni influenza esterna, si raffreddasse nello spazio celeste, senza dubbio freddissimo, fino a -273° , essa dovrebbe rimanere per tutta l'eternità in questo stato di morte e di inerzia. Poichè tutti i corpi lasciati a sè stessi diventano sempre più freddi, e mai spontaneamente più caldi, come con maggior precisione spiegheremo più tardi, così, dunque, si dovrebbe ammettere, che l'intero universo, considerato come un tutto riunito, va sempre più raffreddandosi, e si avvicina verso quello zero assoluto di temperatura nel quale, per tutte le cose create, subentra la morte infinita; un'ecatombe universale, nella quale, non può più seguire una nuova creazione. Il nostro Sole ha, presentemente, una temperatura certamente non molto lontana da 8000° , mentre ne' primi tempi della creazione deve avere avuto una temperatura molto più elevata. La Terra, quando si staccò dalla massa solare, aveva la temperatura stessa del Sole; oggi, invece, alla sua superficie ha una temperatura media di pochi gradi sopra zero. Questo mostra che ci andiamo avvicinando a quello zero assoluto, e che, della immensa quantità di calore di cui era provvista la nostra Terra alla sua nascita, essa ne ha perduto già molte migliaia di unità e che ne restano solo circa 300. Quindi a noi sovrasta il nulla assoluto, poichè la materia senza movimento, senza energia, senza proprietà, fuori delle leggi fisiche, è il nulla. Noi ritorneremo su questo grande problema, quando avremo conosciuto più a fondo la natura del calore e delle restanti forze della

Natura. Fino a non molto tempo addietro, si credeva di non poterci, sperimentalmente, avvicinare in modo considerevole a questo misterioso zero assoluto. Si credeva che esso fosse un'astrazione teorica, ammettendo, tuttavia, che i corpi, avvicinandosi ad esso, si comportassero ben diversamente che dentro il limite delle temperature consentite dall'esperienza. In altre parole, si credeva, che il coefficiente di dilatazione dei gas non fosse costante fino a questi limiti estremi, ma che dipendesse dalla temperatura stessa, come avviene ne' corpi solidi. Siamo, invece, riusciti ad ottenere temperature inferiori a -250° , e si è trovato, che, anche a questi limiti estremi, la semplice legge di dilatazione dei gas è ancora valida, purchè si mantenga lo stato gassoso. Certamente, a questa temperatura, tutti quei gas, che prima si erano considerati come *permanenti*, sono già divenuti corpi liquidi o solidi, tanto l'abbassamento di temperatura, in corrispondenza alla legge esposta, li ha compressi. La fig. 118 mostra un pezzo d'aria solidificata che a quella bassissima temperatura acquista una tale elasticità da far rimbalzare un martello.

Sarà bene intanto di spiegare il fenomeno della dilatazione termica, valendosi delle cognizioni già acquistate sulle proprietà della materia. Se noi comprimiamo

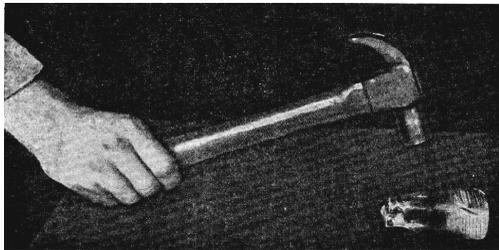


Fig. 118. – Aria solida.

un gas meccanicamente, per esempio, caricando di pesi uno stantuffo scorrevole dentro il cilindro ove è racchiuso il gas, e produciamo così una diminuzione di volume, eguale a quella che avverrebbe per una data sottrazione di calore, noi adoperiamo una forza determinata e misurata da quei pesi. Una quantità di calore, che, comunicata al gas, lo riconduca al volume primitivo fa, quindi, equilibrio a questa forza: l'azione del calore è dunque, di per sé stessa, una forza, la cui intensità possiamo misurare per mezzo della gravità, la quale ci ha fornito l'unità di misura di tutte le forze naturali.

Prima che si divulgasse la teoria della composizione atomica della materia, si supposeva che il calore fosse una specie di fluido immateriale, uno di quelli «imponderabili» che avevan tanta parte nelle vecchie concezioni sui fenomeni fisici. Questo fluido doveva essere assorbito dai pori della materia, passando ad un corpo da un altro, in cui esso si trovava in eccesso di pressione, fino a che si fosse ristabilito l'equilibrio. I fenomeni fin qui osservati sui gas si possono, del resto, fino a un certo punto, spiegare con questa ipotesi. I gas sarebbero da considerare come spugne, che si gonfiano tanto più quanto più assorbono di questo fluido. La teoria costruita su questa ipotesi del fluido calorifico, poteva anche dar ragione di parecchi altri fenomeni; ed anche oggi continuiamo a servirci di questa immagine del passaggio del calore dai corpi caldi in quelli freddi, per trarne le opportune conclusioni.

Ma astraendo dal fatto, che vi sono altri fenomeni i

quali non possono spiegarsi in questa maniera, come, per esempio, la generazione di calore nell'attrito, la teoria atomica, con la quale, fino ad ora, nessun fenomeno naturale è stato trovato in insolubile contraddizione, ha dovuto sbarazzarsi assolutamente delle materie imponderabili, le quali, secondo questa teoria, sono di per sè stesse una contraddizione. Ogni estrinsecazione di energia deve essere spiegata come un movimento delle più piccole parti della materia stessa sulla quale le forze agiscono. Anche il calore adunque dev'essere una specie di movimento.

Le considerazioni esposte come introduzione alla teoria cinetica dei gas, ci sono qui ora di valido aiuto e guida. Noi vedemmo là, che le molecole d'un gas posseggono dei rapidissimi movimenti rettilinei, per cui, se il gas è rinchiuso in un recipiente, esse colpiscono le pareti dell'involucro rimbalzando, e producono coi loro urti la pressione del gas. Anche il nostro corpo si trova continuamente circondato da un gas, cioè dall'aria atmosferica: non sarebbe, ora, possibile che questi urti delle molecole di aria contro la nostra pelle fossero la sola cagione della sensazione di calore? È un fenomeno comunissimo, che l'urto produce calore, come fa il colpo del martello cadendo sull'incudine. Quello che accade in questo caso in grandi proporzioni, potrebbe avvenire anche in proporzioni piccolissime. La pressione e la temperatura del gas sarebbero allora un solo e medesimo fenomeno, e le leggi trovate per la prima dovrebbero valere anche per l'altra. Noi vogliamo sviluppare più ampia-

mente questo concetto.

La principale e fondamentale di queste leggi è quella di Boyle e di Mariotte, di cui già abbiamo parlato (v. pag. 118*), cioè, che il volume di una data quantità di gas è inversamente proporzionale alla pressione che grava sopra di esso. Lo stesso dovrebbe dunque essere della temperatura, e ciò sembra confermato dai fatti. Se si ha dell'aria chiusa in un recipiente sotto una determinata pressione, e ne lasciamo scappar fuori una certa quantità, la temperatura dell'aria rimanente diminuisce. Ma se si fa passare l'aria che sfugge, in un secondo recipiente precedentemente vuotato dall'aria, in quest'ultimo, come per il primo ha dimostrato Joule, la temperatura aumenta in modo che il calore totale del gas rimane invariato.

Se ad un gas chiuso in un recipiente somministriamo del calore, il volume di questo gas tende ad aumentare. Ma poichè questo non è possibile per la resistenza delle pareti solide del recipiente, allora si eleva la corrispondente pressione. Ma noi non possiamo, secondo la teoria cinetica dei gas, spiegarci un elevamento di pressione che con l'aumento della velocità delle molecole del gas. La temperatura d'un gas ci rivela dunque qualche cosa sulla velocità delle sue molecole, la quale allo zero assoluto deve essere pure nulla. La legge di Boyle e di Mariotte è espressa dall'equazione $vp = v_0p_0$, in cui v_0 e p_0

* Tutti i rimandi sono da riferirsi all'edizione cartacea [nota per l'edizione elettronica Manuzio].

indicano il volume e la pressione d'una data quantità di gas in un determinato stato, mentre v e p sono i corrispondenti valori del volume e della pressione in un altro stato qualunque, alla stessa temperatura. Per fare entrare in questa relazione anche la temperatura, stabiliamo che v_0 e p_0 siano il volume e la pressione d'una data quantità di gas a 0° e alla pressione di un'atmosfera, mentre v e p i valori corrispondenti per una certa temperatura t del termometro centigrado. Allora abbiamo l'equazione $pv = p_0v_0(1 + \alpha t)$, in cui α è il coefficiente di dilatazione del gas, eguale cioè a $\frac{1}{273}$. La legge, espressa da questa equazione, è detta dal suo scopritore «Legge di Gay-Lussac» e l'espressione matematica di essa si chiama «la formula dei gas». Introducendo la temperatura assoluta T , l'equazione si riduce alla forma anche più semplice $pv = mRT$, dove m è la massa del gas, e R una costante caratteristica d'ogni specie di gas. Per la unità di massa si ha dunque $pv = RT$. Questa deve, evidentemente, in qualche modo contenere la media velocità delle molecole del gas, la quale cresce con la temperatura, e perciò, rimanendo costante il volume, aumenta la pressione del gas. Infatti, si può facilmente dimostrare, come hanno fatto Krönig e Clausius, che la velocità media delle molecole d'un gas è uguale alla radice quadrata di $3RT$; perciò le velocità delle molecole dei diversi gas ad eguale temperatura, stanno tra loro, come le radici quadrate della loro costante R , o, ciò che è lo stesso, in ragione inversa della radice quadrata delle loro densi-

tà relative. La costante R ha per l'idrogeno il valore 423,13, per l'azoto 30,17, per l'ossigeno 26,55, per l'acido carbonico 19,26. Così si possono calcolare le velocità molecolari dei gas, le quali, come già abbiamo detto, alla temperatura di 0° sono di 1840 metri al secondo per l'idrogeno, di 392 m. per l'anidride carbonica. Il loro rapporto è appunto $1844:392=\sqrt{423,13:19,26}$.

La densità d'un corpo è uguale alla sua massa divisa per il suo volume, ossia $d=\frac{m}{v}$; e poichè la massa è proporzionale al peso, così si può dire, che quanto 1 cm³ di ferro ha più peso d'un cm³ d'acqua, altrettanto nel ferro la materia deve essere più densa che nell'acqua. Ciò vale anche per i gas. Se nella formula dei gas $p v = RT$, poniamo $v=\frac{m}{d}$ e, per la massa 1, $v=\frac{1}{d}$ avremo

$\frac{p}{d}=RT$, ovvero $d=\frac{p}{RT}$; da cui risulta che le densità dei gas, ad uguale pressione e temperatura, stanno tra loro in ragione inversa delle loro costanti R. La determinazione sperimentale delle densità dei gas porta, dunque, alla conoscenza delle rispettive costanti, e così, anche, alla determinazione delle velocità molecolari. Risulta, inoltre, dalla teoria dei gas, che ad uguale temperatura e pressione le singole molecole di qualunque gas devono avere in media uguali distanze fra loro, ossia che in volumi eguali di gas, alla stessa temperatura e pressione, è contenuto un egual numero di molecole (Legge di Avogadro). Perciò, se un gas a parità di condi-

zioni fisiche è più denso di un altro, vuol dire, che anche ciascuna delle sue molecole deve aver maggior massa e peso di quelle dell'altro. Le densità dei vari gas stanno dunque fra loro, come le masse o i pesi delle loro molecole; e le densità relative dei gas ci esprimono anche i relativi pesi molecolari, che possiamo riferire ad una molecola di un dato gas presa come unità. Così la determinazione delle densità dei gas permette, in base al principio di Avogadro, di trovare il loro peso molecolare, e anche i pesi atomici dei vari corpi semplici. L'esperienza ci mostra, che la densità dell'ossigeno è 16 volte quella dell'idrogeno, ossia, che una molecola di ossigeno ha una massa 16 volte maggiore di una di idrogeno e pesa, quindi, 16 volte di più. Su questa conclusione non vi può esser dubbio alcuno, ma niente essa ci dice del peso assoluto di ciascuna di queste piccolissime particelle di materia. Introducendo il peso molecolare m nell'equazione dei gas e cambiando opportunamente i valori numerici delle relative costanti, si ottiene la formula

$$pv = \frac{0,0819 \cdot T}{m}$$

che si riferisce ad un un grammo di cia-

scun gas, e in cui la pressione è data in atmosfere, il volume in litri e il peso molecolare dell'idrogeno è stabilito uguale a 2.

Diamo un esempio dell'applicazioni di questa formula.

Noi desideriamo sapere quale volume occupa 1 grammo di idrogeno ad una atmosfera di pressione, alla temperatura 0° . Faremo allora $T = 273$, $m = 2$, $p = 1$; la no-

stra formula ci darà $v = 273 \times 0,0819 : 2 = 11,15$ litri. Per avere il volume di 1 grammo di un altro gas qualunque, dovremo dividere, invece che per 2, per il peso molecolare del gas; o, ciò che è lo stesso, per la densità del gas rispetto all'idrogeno, prendendo per la densità di quest'ultimo il valore 2; o anche potremo dividere 11,15 per la metà del peso molecolare del gas in questione. Per esempio, per l'ossigeno che ha un peso molecolare di 32, dovremo dividere questi 11,15 litri per 16, e troveremo che 1 gr. di ossigeno a 0° e sotto un'atmosfera di pressione occupa un volume di 0,699 litri. Se ora vogliamo portare l'idrogeno alla temperatura di -250° ; allora diviene $T = 23$; e il volume diminuendo in proporzione della temperatura, diventa $v = 11,2 \times 23 : 273 = 0,94$ litri. L'idrogeno con tale raffreddamento si è dunque ridotto in $\frac{1}{12}$ del suo primitivo volume.

La determinazione del peso atomico e molecolare, per mezzo delle densità dei gas è divenuta della massima importanza per l'intera teoria sui fenomeni molecolari; e anche i fenomeni chimici, che si trovano in pieno accordo coll'ipotesi atomistica e coi valori dei pesi atomici trovati nel modo che abbiamo detto di sopra, hanno una completa spiegazione solo in questa ipotesi, della quale avremo da occuparci ampiamente.

c) Calore e lavoro meccanico.

Il calore, come forza, è capace di eseguire lavoro; e a tal fine viene oggi praticamente adoperato in più modi,

principalmente nelle macchine a vapore. Noi vogliamo ora cercare di misurare il calore come forza motrice, rispetto al lavoro meccanico che può darci. A questo scopo, si rinchiude un litro d'aria alla normale pressione atmosferica e a 0° in un tubo che abbia una sezione trasversale di 10 cm^2 , cosicchè l'aria occupi il tubo per l'altezza di 1 m. All'estremità superiore la pressione atmosferica può sempre agire sulla colonna d'aria interna, pur restando questa separata dall'aria esterna, per mezzo di uno stantuffo mobile. Riscaldiamo ora quest'aria a 100° mantenendola sotto la pressione costante atmosferica; noi sappiamo che l'aria del tubo si dilata di $\frac{100}{273}$

del volume primitivo e che il volume diventa $\frac{373}{273}$ di litro, ossia litri 1,366, che corrispondono ad un uguale altezza in metri nel tubo; lo stantuffo si sarà inalzato nel tubo fino a questa altezza percorrendo circa 37 cm. Sopra lo stantuffo che ha 10 cm^2 di superficie, agisce la pressione dell'aria esterna che equivale al peso di una colonna di mercurio di m. 0,76 d'altezza e che sopra 1 cm^2 di sezione pesa 1033,3 gr.; dunque, fatta astrazione dell'attrito e peso dello stantuffo, il calore comunicato all'aria ha fatto il lavoro necessario per sollevare Kg. 10,33 di m. 0,366.

Ora risulta, che la quantità di calore che si richiede, togliendola ad una qualunque sorgente, per inalzare di un dato numero di gradi la temperatura di un corpo, cambia notevolmente sia con le condizioni fisiche sia

con la qualità del corpo stesso. Perciò noi dobbiamo, prima di proseguire nella nostre considerazioni, stabilire una misura pur convenzionale dell'energia calorifica. Noi prenderemo, come unità, la quantità di calore necessaria per inalzare 1 gr. d'acqua da 15° a 16° di temperatura e la chiameremo *caloria*. Il numero di calorie necessarie per inalzare un grammo di un altro corpo di un grado di temperatura, si chiama il *calorico specifico* della relativa sostanza.

Il calorico specifico si trova, osservando di quanto un dato peso di una sostanza può riscaldare o raffreddare un ugual peso d'acqua, se si mettono a contatto, essendo fra essi una certa differenza di temperatura. Se si immerge in un litro d'acqua a 15° , un ugual peso, ossia 1 kg di ferro a 70° , quando la temperatura sarà ugualmente distribuita, tanto l'acqua come il ferro hanno circa 20° . Il ferro vi è dunque raffreddato di 50° mentre l'acqua si è riscaldata di 5° . Per produrre nell'acqua lo stesso aumento di temperatura che nel ferro, occorre una quantità di calore 10 volte maggiore; ossia la capacità calorifica o *calorico specifico* del ferro è 0,1 facendo quella dell'acqua uguale a 1. Se invece si mescolano 2 litri d'acqua, l'uno a 15° , l'altro a 70° , il miscuglio prende la temperatura di 42° media tra 15° e 70° , cioè in uno dei due litri d'acqua la temperatura si abbassa di quanto sale nell'altro. Dunque, alla stessa differenza di temperatura corrisponde nel ferro una quantità di calore 10 volte minore che nell'acqua. Ma l'esperienza mostra, che l'aria si riscalda più lentamente, ossia richiede maggior calo-

re, quando è costretta a sollevare il peso dell'atmosfera soprastante, che quando, riscaldandosi senza dilatazione, non deve compiere questo lavoro.

Il calorico specifico dipende dunque dalla pressione, e se questa aumenta mentre il corpo si riscalda, in modo da mantenere costante il volume, il calorico specifico è minore. Sembra anche che un corpo denso assorba meno calore di un altro più leggero, a parità di massa. Lo abbiamo già visto nel ferro, che, con un peso specifico circa 7 volte maggiore di quello dell'acqua, ha un calorico specifico che è circa 10 volte minore. Per essere ben chiari, quando un calorico specifico si intende a pressione costante, lo indicheremo col simbolo C_p ; mentre indicheremo con C_v il *calorico specifico a volume* costante. Per l'aria si trova $C_p = 0,2375$ e $C_v = 0,1690$; ciò significa, che ad un grammo d'aria, alla pressione di un'atmosfera, noi dobbiamo dare 0,2375 calorie, ossia 0,2375 parti del calore che basta ad inalzare di un grado la temperatura di un grammo d'acqua, per ottenere lo stesso effetto. Se, invece, questo grammo d'aria è chiuso in un recipiente, cosicchè col riscaldamento non possa dilatarsi, allora bastano soltanto 0,169 calorie. La differenza fra questi due calorici specifici corrisponde manifestamente al lavoro meccanico fatto dal gas nel sollevare lo stantuffo su cui grava l'aria esterna. Questa deduzione fu fatta per la prima volta dal medico Roberto Mayer, che si considera, quindi, come il fondatore della Teoria meccanica del calore. E noi ripeteremo ora il suo ragionamento che lo condusse a determinare il cosiddet-

to *equivalente meccanico* del calore: seguendolo nella sua forma originaria, che non potrebbe essere più chiara. Ci varremo però dei dati fisici più esatti che oggi possediamo.



Fig. 119. – Roberto Mayer.

Un centimetro cubo d'aria pesa gr. 0,001293; riscaldiamolo di un grado mantenendolo alla pressione di un'atmosfera; esso si dilaterà, come sappiamo, di $\frac{1}{273}$ e di tanto sarà inalzato un peso di 1033 gr. corrispondente alla pressione atmosferica sopra 1 cm². Per ottenere questo effetto, mentre l'a-

ria si riscalda di 1°, sono necessarie tante calorie quante ne risultano dal prodotto della sua massa per il calorico specifico dell'aria a pressione costante, ossia $0,001293 \times 0,2375 = 0,0003070$ calorie. Ora, questo cm³ d'aria, per il solo inalzamento di temperatura senza il lavoro meccanico, richiede invece tante calorie quante ne risul-

tano dal prodotto della massa per il calorico specifico a *volume costante*, ossia $0.001293 \times 0,169 = 0,0002815$ calorie. La differenza tra queste due cifre, ossia $0,0000885$ calorie, corrisponde al lavoro meccanico, cioè al sollevamento di 1033 gr. per $\frac{1}{273}$ di cm. Dunque una caloria corrisponde al sollevamento di gr. 1033 per cm. $\frac{1}{273} : 0,0000885 = 41,4$: ovvero di 1 gr. per $41,4 \times 1033 = 428$ metri. Quest'ultimo numero ci dà l'*equivalente meccanico del calore*, per cui possiamo dire che, una caloria, cioè la quantità di calore che riscalda un grammo d'acqua da 15° a 16° , se vien trasformata in una maniera qualsiasi in lavoro, è capace di sollevare il peso di un grammo di 428 metri; essa corrisponde dunque al lavoro di $0,428$ chilogrammetri. Per farci un'idea della grandezza di questa energia del calore, consideriamo che un comune fornello a gas, col quale in un minuto si riscalderanno 500 gr. d'acqua, di circa 15 gradi, avrà fornito all'acqua in questo tempo $15 \times 500 = 7.500$ calorie, colle quali avremo potuto sollevare 1 gr. a $7500 \times 428 = 3,210,000$ cm. oppure 100 Kg. a $32,1$ metri; ammesso, che per mezzo di questo calore potessimo far funzionare una macchina termica perfetta, cioè senza alcuna perdita. Ricordando le nostre prime ipotesi sulla natura dei fenomeni calorifici, considerati come un movimento delle più piccole particelle della materia, dobbiamo riconoscere l'alta importanza di questa dimostrata relazione numerica tra il calore e il lavoro meccanico, con la quale noi otteniamo anche un mezzo di misura dell'energia cinetica dei movimenti molecolari, i quali

d'altra parte sfuggono alla nostra diretta osservazione.

d) Calorico specifico e atomico.

Si affaccia ora una domanda: quale è il modo, il meccanismo molecolare per cui il calore diventa lavoro?

Il calore somministrato ad un corpo può, intanto, produrre due fenomeni di diversa specie: in primo luogo innalza la temperatura del corpo; poi dilatandolo lo rende capace a compiere un lavoro esterno. Questi due effetti, secondo i nostri concetti fondamentali, debbono avere la loro causa originaria solo in due diverse specie di movimento delle molecole di quel corpo. Di queste due specie ne conosciamo già una, cioè il movimento rettilineo progressivo delle molecole dei gas, da cui ha origine la loro pressione contro le pareti dei recipienti. E poichè questa pressione cresce in ragione della temperatura è, dunque, solo questo movimento rettilineo progressivo delle molecole di un gas che determina il suo stato di temperatura.

Abbiamo già veduto quanto grande è questa velocità molecolare dei gas; quasi 2000 metri al secondo per l'idrogeno, per l'aria più di 300. Nonostante queste velocità i gas non si diffondono che assai lentamente nel mescolarsi fra loro, perchè la loro espansione trova ostacolo, non solo nelle pareti dei recipienti, ma nelle loro stesse molecole. Si pensi che, come già abbiamo detto, in un solo millimetro cubo di anidride carbonica, in condizioni normali di pressione e temperatura, son contenu-

te 58,000 bilioni di molecole, e si comprenderà facilmente, che queste nei loro movimenti rettilinei devono urtarsi a vicenda, rimbalzare le une sulle altre un numero enorme di volte e, quindi, assumere un movimento oscillatorio intorno ad un punto medio di equilibrio. Si è calcolato che una molecola d'aria in ciascun secondo, a pressione e temperatura normali, si urta colle vicine molecole non meno di 4700 milioni di volte. Ecco, dunque, le due cercate specie di movimento, quello rettilineo e quello oscillatorio. Il nostro parallelo, che mai vogliamo perdere di vista, tra i movimenti molecolari e quelli cosmici, ci fa supporre che questo movimento oscillatorio sarà per lo più circolare, paragonabile a quello dei corpi celesti intorno al loro comune centro di gravità. Se i diametri delle loro orbite si allargano, ciascuno di questi sistemi molecolari occupa un maggior spazio, e quindi anche l'intero corpo si dilata compiendo un lavoro esterno. La dilatazione, cioè l'allargamento di queste orbite molecolari, è una misura del lavoro e la velocità media delle molecole una misura della temperatura. Se si riscalda un gas mantenendo costante il volume, le orbite delle sue molecole non possono estendersi; tutto il calore allora può solo essere utilizzato a pro della velocità delle molecole, ossia all'inalzamento della temperatura. Ma se, poi, il gas così riscaldato si lascia dilatare sotto pressione costante, e si vuole che la velocità media in queste maggiori orbite, ossia la temperatura non diminuisca, allora dovremo fornire nuovo calore alla massa, poichè il movimento ad uguale velocità, in orbite mag-

giori, richiede maggiore energia. Questo valore in più è quello che corrisponde alla differenza $C_p - C_v$, che ci ha dato l'equivalente meccanico del calore. Essa è dunque una misura per il movimento circolare delle molecole nelle loro orbite. La propagazione del calore fra i corpi dobbiamo considerarla come eguagliamento delle velocità delle loro molecole. Quando immergiamo un pezzo di ferro caldo nell'acqua fredda, le molecole del ferro vibrano con maggiore rapidità di quelle dell'acqua, e venendo a contatto devono le prime comunicare una parte della loro maggiore velocità alle seconde, e ciò continuerà fino a che tutte le molecole del ferro e dell'acqua non abbiano acquistato la stessa velocità, ossia la stessa temperatura. Quanto più compresse e vicine tra loro verranno portate le particelle di un corpo, sia che ciò avvenga per una pressione esercitata dall'esterno, sia per le attrazioni molecolari interne, da cui dipendono i cambiamenti dello stato di aggregazione, tanto meno può l'aumento della velocità, dovuto a comunicazione di calore far crescere ancora le orbite molecolari: e perciò tanto più la quantità di calore comunicata andrà impiegata nell'innalzamento della temperatura, quanto meno lo sarà nella dilatazione e nel lavoro esterno. Così, infatti, quanto più un corpo è denso, tanto meno differenti devono essere i due calori specifici, a pressione costante e a volume costante, e tanto più piccola la sua attitudine ad eseguire lavoro meccanico. L'esperienza conferma queste pressioni teoriche. I gas hanno la massima facoltà di dilatazione e perciò sono i corpi più

adatti a trasformare il calore in lavoro nelle macchine: nei corpi solidi la dilatabilità è così piccola che appena possono praticamente distinguersi tra loro i due calorici specifici.

Relativamente ai calorici specifici dei corpi solidi si presenta, inoltre, un interessantissimo rapporto ed importante per la nostra teoria cinetica. Risulta, che *il prodotto del calorico specifico per il peso atomico è costante*. Si chiama questo prodotto *calore atomico*; e la corrispondente legge, la legge di Dulong e Petit. Si capisce subito la sua necessità: per comunicare ad un corpo una data velocità si deve dare ad esso tanta più energia quanto maggiore è la massa del corpo secondo un'elementare legge di meccanica⁹. Il calorico specifico misura appunto l'energia colla quale può essere comunicata alle piccolissime particelle di una sostanza una data velocità proporzionale alla temperatura. Il peso atomico indica il peso relativo degli atomi delle varie sostanze, rispetto agli atomi della sostanza presa per confronto, la quale suole essere l'idrogeno.

Ecco qui alcune cifre dimostrative di questa legge:

	<i>Peso atomico a.</i>	<i>Calorico specifico c.</i>	<i>Prodotto a. c.</i>
Litio	7.0	0.941	6.60
Magnesia	24.4	0.250	6.09
Nichel	58.5	0.109	6.38

⁹ Così l'Autore. Ma i calorici specifici sono invece, in ragione *inversa* del peso atomico, e ciò distrugge la sua pretesa spiegazione. (N. d. T).

Ferro	107.9	0.057	6.15
Cerio	141.5	0.045	6.33
Piombo	205.9	0.031	6.49
Uranio	239.0	0.028	6.65

Da questa tabella si vede, che, per quanto differenti siano i pesi atomici dei diversi elementi chimici, tuttavia, moltiplicandoli per i rispettivi calorici specifici, si ha presso a poco un prodotto costante. Facendo la media di 45 elementi chimici solidi, si trova 6,26, che è appunto il *calore atomico medio*.

Se poi ci immaginiamo gli atomi degli elementi chimici composti alla loro volta da particelle ancora più piccole, da quelle che già avanti abbiamo chiamato *atomi primitivi*, i quali non devono più avere altra proprietà se non quella dell'estensione e del movimento, allora il peso atomico indicherebbe il numero di questi atomi originari in ciascuno dei diversi atomi chimici, e il calorico atomico dovrebbe esprimere l'energia di movimento di quegli atomi originari.

La tabella data di sopra per i calori atomici non mostra, pertanto, un perfetto accordo per i vari elementi. La differenza media in questi 45 elementi esaminati ascende circa al 5% dello stesso valore medio. Alcune di queste differenze possono invero attribuirsi all'incertezza delle determinazioni sperimentali, ma certo non tutte. Tre elementi solidi: il Carbonio allo stato di diamante, il Boro e il Berillio, che non figurano tra gli elementi indicati sopra hanno calori atomici che sono, per il primo

circa la quarta parte e per gli altri due la metà del valore medio. Inoltre risulta, che i calorici atomici dei gas sono molto più piccoli e si accordano tra loro meno assai di quelli dei corpi solidi, e ciò è tanto più notevole in quanto abbiamo fin qui trovato nei gas una maggiore semplicità di leggi e di rapporti. Tutto questo ci prova che la legge di Dulong e Petit deve bensì essere vera e legittima, ma che per ogni sostanza intervengono ancora particolari azioni e condizioni che la complicano, per cui i singoli calorici atomici sono soggetti a variazioni e il loro valore deve essere corretto. Non possiamo ricercare la causa di queste particolari azioni, se non nella differente struttura delle molecole dei diversi elementi chimici.

Nel nostro parallelo coi corpi cosmici, abbiamo fino a qui per semplicità paragonato le molecole a singoli corpi celesti che rotino intorno ad un centro di gravità; ma sappiamo che le molecole sono alla loro volta composte di atomi. Finchè si tratta degli atomi dei chimici, sappiamo bene come essi possono, con relativa facilità, essere separati e isolati dalle loro combinazioni molecolari. Gli atomi sono in certo modo come corpi di terzo ordine, cioè satelliti nei sistemi molecolari.

Generalmente, questi sistemi atomici sono alterati soltanto dalle forze chimiche che agiscono nelle finissime maglie del tessuto della materia; ma il calore, come fa crescere le orbite molecolari intorno ai loro centri di equilibrio, così agisce nello stesso modo sulle orbite e rotazioni degli atomi nel sistema di ciascuna molecola,

rallentando i legami della affinità chimica, facilitando così la disgregazione delle molecole, ossia la decomposizione dei composti chimici nei singoli elementi. Le eccezioni alla regola, nei valori dei calorigi atomici, mostrano solo che la legge vera è da stabilirsi ancora. Così, per esempio, recenti studi ci apprendono che le differenze tra i calorigi atomici dei diversi gas spariscono sempre più quanto più questi divengono densi per l'abbassamento della temperatura, cioè nelle condizioni in cui, secondo le nostre ipotesi, devono essere diminuite le azioni intermolecolari che sono la causa di quelle differenze. E per il carbonio, che, allo stato di diamante si è certamente formato cristallizzandosi in condizioni affatto speciali di temperatura e di pressione, il calorigo atomico cresce alle elevate temperature e si avvicina allora al calore medio degli altri elementi solidi. Il calore atomico del carbonio a 0° è 1,76 e diventa 5,5 a 1000° cioè molto vicino al valore medio normale di 6,26. Qualche cosa di simile avviene per il Boro.

Fra le azioni che influiscono a variare la legge di Dulong e Petit si devono considerare anche le reciproche forze d'attrazione delle molecole, poichè tra i loro atomi devono trovarsi e agitarsi, secondo le nostre ipotesi, anche gli atomi primordiali assai più piccoli, da cui dipende l'attrazione universale. Si ammette che nei gas, in condizioni normali, le molecole siano a tale distanza tra loro che sia insensibile l'effetto della loro reciproca attrazione; oppure, per seguire ancora la nostra teoria, che le molecole non facciano ombra l'una all'altra, rispetto

alle correnti degli atomi eterei.

Nei liquidi, invece, la forza d'attrazione molecolare è già ben manifesta; e nei corpi solidi può arrivare fino a produrre una tenacità quasi invincibile. L'azione di questa forza, insieme all'effetto del calore, è la causa del passaggio dei corpi dall'uno all'altro dei loro tre diversi stati d'aggregazione.

L'abbassamento di temperatura, da solo, non potrebbe mai produrre la condensazione di un gas. Esso diminuisce solamente la velocità di movimento delle molecole. Se un gas si trovasse nel libero spazio celeste, nonostante la bassissima temperatura di questo, si manterrebbe



Fig. 120. – Nebulosa
(da fotografia).

tuttavia in uno stato di estrema rarefazione, come le tante nebulose del firmamento, le quali appunto consistono di gas, delle stesse specie di quelli a noi conosciuti, in uno stato di straordinaria rarefazione (fig. 120).

La lenta condensazione di queste masse di gas, che produce la formazione dei mondi,

non avviene solo per effetto della diminuzione del calore, ma per l'attrazione interna delle masse stesse; e l'addensamento della massa è, in questo caso, come vedremo, una nuova sorgente di calore.

Se noi vediamo, qui sulla terra, i gas condensati col raffreddamento, ciò avviene per effetto della pressione atmosferica che agendo sul gas ne comprime le molecole per quanto lo permettono i loro movimenti, fino a che le molecole si avvicinano tanto da poter esercitare una scambievole attrazione: gravitazione e calore agiscono dunque in opposizione fino a che può esserci un relativo equilibrio fra le loro azioni. Ma noi sappiamo, che la forza d'attrazione cresce col ravvicinamento, cioè in ragione inversa del quadrato delle distanze; e, perciò, si intende bene, che il passaggio dall'uno all'altro stato di aggregazione avvenga relativamente presto. E si intende anche, che tal passaggio deve essere dipendente dalla pressione esterna, mentre nello spazio celeste, fuori della nostra atmosfera esso non avverrà più, a meno che per le dimensioni e le distanze delle masse cosmiche, l'effetto della forza d'attrazione non prevalga su quella del calore.

e) Gli stati d'aggregazione e la temperatura.

Il passaggio allo stato superiore, d'aggregazione, cioè, di maggiore libertà e mobilità, come è dal liquido al gassoso, avviene a ogni temperatura fino ad una data massima pressione. L'acqua, sotto la pressione normale,

bolle a 100°; ma anche a temperatura molto minore già evapora lentamente; anzi svapora anche lo stesso ghiaccio passando, direttamente, dallo stato solido al gassoso, senza passare per lo stato liquido. Perfino i metalli solidi, alla temperatura normale, possono evaporare in minime quantità; essi hanno infatti certo particolare odore, che dimostra che piccolissime particelle di esse giungono al nostro olfatto. Noi spieghiamo questo fenomeno come una specie di diffusione.

Per imparare a conoscere l'evaporazione dei liquidi in diverse condizioni, facciamo il seguente esperimento. Versiamo in un tubo barometrico lungo più di 760 mm. un po' d'acqua, poi riempiamolo di mercurio e rovesciamolo sopra una vaschetta contenente mercurio, come nell'esperienza del barometro. Allora osserviamo, che il livello del mercurio resta assai al disotto di quello di un vero e proprio barometro, e precisamente, se la temperatura è di 20°, di 17,4 mm. La differenza è causata dal vapore d'acqua, che si è formato nel tubo e che ha riempito il *vuoto torricelliano*. Se solleviamo di più il tubo dal mercurio, diminuisce la quantità d'acqua liquida sovrastante al mercurio, ma la colonna di mercurio che fa equilibrio alla pressione interna del vapore, non cresce nè diminuisce. Cambia, dunque, solo la quantità di vapore d'acqua, mentre la sua pressione rimane invariata. Si dice, che in tali condizioni il vapore d'acqua si trova in *stato di saturazione*. Abbassando invece il tubo nel mercurio, si comprime il vapore, ed allora una parte di questo vapore torna a condensarsi formando una certa

quantità d'acqua; ma il vapore rimanente conserva ancora la sua primitiva densità e pressione. Elevando la temperatura di questo vapore saturo e con ciò indirettamente la sua pressione, la colonna di mercurio si abbassa. Il vapore d'acqua, in questo caso non si condensa; ed occupa maggior volume di prima. Se ora si solleva il tubo,

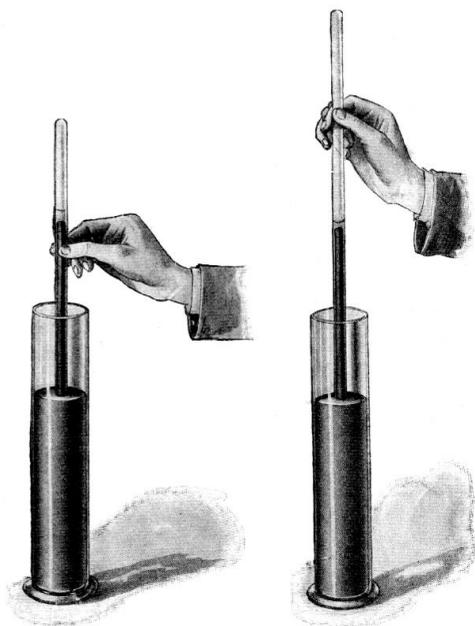


Fig. 121. – Vaporizzazione dei liquidi.

si evapora ancora dell'acqua, in modo che la pressione già aumentata per l'innalzamento di temperatura, rimane ancora la stessa. La pressione del vapore saturo è dunque dipendente soltanto dalla temperatura, diversamente da quello che avviene nei gas, in cui la pressione varia col variare del volume (fig. 121).

Il vapore d'acqua riprende le proprietà dei gas, quando tutta l'acqua del tubo è evaporata, o per il crescere dello spazio concesso al vapore, o per l'innalzamento della temperatura. Il vapore in tali condizioni dicesi *soprariscaldato*; e in questo stato può espandersi per uno spazio qualsiasi, ed essere sottoposto a qualunque maggior temperatura; ma la sua pressione non può superare

quella del vapore saturo, perchè altrimenti esso diventa liquido.

Il vapore soprariscaldato segue la legge di Boyle e di Gay-Lussac, secondo la quale pressione e volume sono dipendenti dalla temperatura. Poichè questa legge vale anche per i gas prima detti *permanenti*, già da lungo tempo si era intuito che questi potevano considerarsi come vapori fortemente soprariscaldati; ciò che poi le moderne esperienze han chiaramente dimostrato, giungendosi a liquefare, a bassissime temperature, tutti questi gas.

Dalle cose esposte precedentemente risulta, che la pressione del vapore saturo ad una data temperatura è un *maximum*; e si chiama appunto *tensione massima* del vapore. Per il vapore acqueo e alla temper. di 20°, noi abbiamo già trovato il suo valore in 17,4 mm.; per altri liquidi alle diverse temperature, la pressione massima si vede in questa tabella, dove le pressioni dei vapori saturi sono espresse in mm. di mercurio.

Temperatura	Vapore acqueo	Vapor d'etere	Vapor di mercurio
- 20	0.9	67.5	0.00
0	4.5	183.3	0.01
+ 20	17.4	433.3	0.02
40	54.9	809.6	0.03
60	148.7	1828.8	0.05
80	354.3	3024.4	0.10
100	760.0	4950.8	0.21
120	1.491.3	7702.2	0.28

160	4.651.6	–	4.38
200	11.689.0	–	18.25
300	–	–	242.15
400	–	–	1587.96
500	–	–	6520.25

Si vede da queste cifre, come la pressione dei vapori saturi cresce rapidamente con la temperatura, e che alla stessa temperatura essa è maggiore per i liquidi più volatili e meno densi. Quei numeri danno l'altezza della colonna di mercurio, che nel barometro fa equilibrio alla pressione del vapore saturo alle varie temperature. Sotto la pressione massima non può più dal liquido formarsi vapore: ma il movimento molecolare prodotto dal calore comincia a questa pressione a separare tra loro le molecole del liquido, e comunica loro velocità ed ampiezze di orbite, come alle libere molecole dei gas. Nell'interno di un liquido sottoposto alla pressione atmosferica domina dappertutto questa stessa pressione, e quindi in esso non può formarsi vapore, fino a che la tensione di questo non uguagli la pressione atmosferica e possa superarla. Così, per es., l'acqua bolle a quella temperatura a cui la tensione del suo vapore saturo eguaglia la pressione atmosferica: e quando questa pressione è di 760 mm. cioè di un'atmosfera, la temperatura di ebollizione dell'acqua è 100 gradi. Se sull'acqua grava, invece, una pressione di due atmosfere, essa bolle come si vede dalla tabella precedente, verso 120°; al contrario, sulle alte montagne, dove la pressione atmosferica è notevolmen-

te minore, bolle a temperatura inferiore a 100° : per esempio sopra la Jungfrau l'acqua bolle a circa 85° . Un grado di differenza nella temperatura di ebollizione corrisponde ad una diminuzione di pressione di 16 mm., e questa ad una differenza di altezza di circa 270 m. Si può con un comune termometro determinare esattamente la temperatura di ebollizione fino a mezzo grado che corrisponde ad una differenza di circa 100-150 m. I viaggiatori adoprano talvolta questo metodo di misura dell'altezza per la verifica dei loro barometri. I ricoveri alpini si trovano per lo più tra 2500 e 3000 m. di altezza, dove l'acqua bolle a circa 90° . Perciò lassù è necessaria per la cucina una quantità di combustibile circa $\frac{1}{10}$ minore che nel piano.

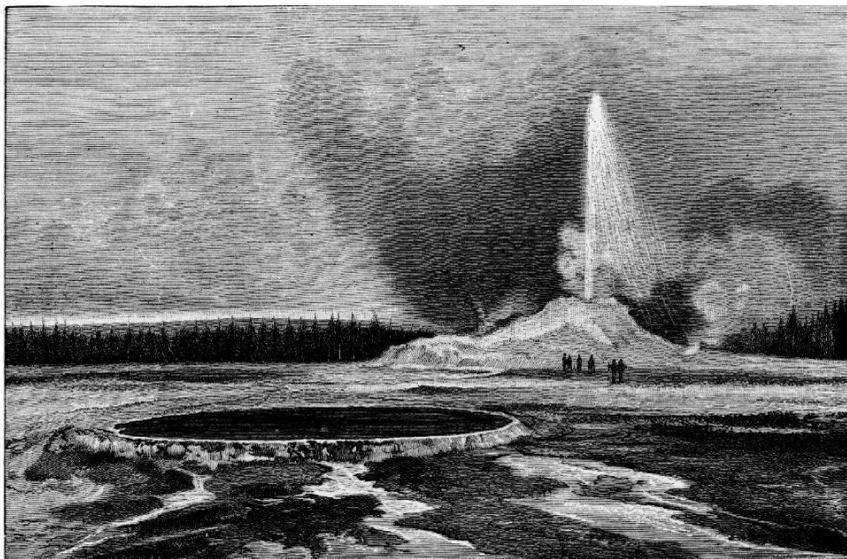


Fig. 122. – Geiser in eruzione.

L'innalzamento del punto di ebollizione col crescere della pressione è la causa dell'imponente fenomeno dei *Geiser* (fig. 122), che per lungo tempo sono rimasti un'incomprensibile meraviglia della Natura. Nelle Montagne Rocciose di America vi è un gran numero di *Geiser* che, ad intervalli regolari di minuti o di ore, lanciano in aria un getto di acqua bollente che in forma di una fontana alta fino a 100 m. dura un certo tempo (5 minuti precisi nell'*Old Faithfull*) e poi improvvisamente tutto ritorna quieto. I *Geiser* sono formati da un bacino a forma di imbuto, che continua sotto terra in un canale verticale.

In tempi geologici non lontanissimi le Montagne Rocciose erano il campo di una straordinaria attività vulcanica, e queste profonde perforazioni sono verosimilmente crateri di antichi vulcani. Potenti strati di lava, che internamente sono ancora caldi ricoprono il suolo, e dappertutto scaturiscono sorgenti calde. Quest'acqua calda si raccoglie nei vecchi imbuto vulcanici e li riempie fino all'orlo. Se la loro profondità è superiore a 10,3 m., cioè l'altezza del barometro ad acqua, sull'acqua a questa profondità grava una pressione di oltre 2 atmosfere, perchè sopra la colonna d'acqua c'è anche la pressione atmosferica. Facendo astrazione dall'altezza a cui si trovano questi *Geiser* del parco di Yellowstone, si vede dalla nostra tabella, che l'acqua in fondo al condotto di 10 m. non può bollire che a 120°. Dopo ogni eruzione, l'acqua raffreddata sotto il punto di ebollizione rientra nell'imbuto, riempiendo di nuovo il serbatoio,

fino a che non sia vaporizzata e lanciata in aria. Frattanto, nuova acqua calda sale continuamente dalle profondità e anche le pareti di lava circostanti riscaldano l'acqua nel condotto, procedendo il riscaldamento dal basso in alto. L'acqua bollirebbe più facilmente in alto che in basso; ma in alto si raffredda troppo e solo ad una certa profondità e dopo un certo tempo dall'ultima eruzione, si stabilisce la temperatura necessaria per l'ebollizione. Il vapore formatosi in basso spinge allora in alto la colonna d'acqua che si trova superiormente, e così comincia l'eruzione. Ma intanto l'acqua che si trovava negli ultimi strati viene ad essere liberata dalla pressione dell'acqua soprastante e bolle rapidamente anch'essa, e l'ebollizione si propaga così in basso, via via che l'acqua viene lanciata fuori, fino a che non si è vaporizzata tutta l'acqua del condotto; allora si arresta improvvisamente l'eruzione, perchè tutta l'acqua proiettata raffreddata al contatto dell'aria torna a riversarsi nel bacino. Se questa spiegazione del fenomeno è esatta, la frequenza delle eruzioni deve essere dipendente dalla pressione atmosferica come qualunque altro processo di ebollizione, e quando il barometro è più basso l'eruzioni devono essere più frequenti; il che, in fatti, è confermato dall'osservazione.

In relazione con le azioni molecolari di cui abbiamo parlato, sta anche un altro strano fenomeno osservato nei *Geiser*, della cui realtà si è per lungo dubitato. Una volta cadde, per caso, un pezzo di sapone in un *Geiser*, e questo entrò in eruzione subito, molto prima dal suo so-

lito periodo. Molte ripetizioni di questo esperimento hanno sempre portato al medesimo risultato. A prima vista è veramente sorprendente che l'aggiunta di una simile piccolezza possa produrre un fenomeno così importante: ma in seguito si è riconosciuto che nel *Geiser* agiscono in contrasto due forze naturali, cioè la gravità, ossia la pressione dell'atmosfera e dell'acqua, e la tensione del vapore; e che esse si mantengono tra loro in un debole e instabile equilibrio, come quello del giogo di una bilancia che oscilla sul coltello di sostegno; cosicchè una, anche minima, prevalenza dalla parte della tensione del vapore deve provocare l'eruzione. La soluzione del sapone rende l'acqua schiumosa e perciò di minor peso specifico. L'ebollizione comincia allora più in alto nel canale del *Geiser*, e prima di quel che sarebbe avvenuto, senza la mescolanza del sapone; ma la vaporizzazione, una volta cominciata, si propaga via via per la progressiva diminuzione della pressione fino a che tutta l'acqua non sia stata lanciata via.

Fenomeni simili, nei quali una forza apparentemente minima può provocare un effetto immenso, si osservano molto spesso in natura, come per esempio nelle sostanze che anche una piccolissima scintilla fa esplodere. In tutti questi casi si tratta di equilibri instabili che una causa relativamente piccola basta a rompere.

In relazione coi fenomeni sopra descritti è, senza dubbio, anche quello del *ritardo dell'ebollizione*. L'acqua che ha prima lungamente bollito e, perciò, è quasi priva d'aria, se, inoltre, sia esente da ogni impurità, può sotto

la pressione normale essere riscaldata di parecchi gradi oltre i 100° , senza che cominci a bollire: con particolari cautele se n'è potuto portare la temperatura fino a 150° . Fino a qual punto possa spingersi questo *soprariscaldamento* non sapremmo stabilire, perchè pare che dipenda da circostanze complesse e non calcolabili. Ma, poi, la formazione del vapore avviene repentinamente in tutta la massa d'acqua con forza di esplosione, e la temperatura dell'acqua che resta discende rapidamente ai 100° normali. Si vede da ciò quanto fortemente e lungamente le due forze naturali si contrastino mantenendosi in equilibrio, fino a che una delle due cede. La più piccola causa basta a determinare la rottura dell'equilibrio: tanto che basta gettare in quest'acqua soprariscaldata una particella qualunque di un corpo solido, per esempio un pezzettino di filo di ferro, a cui rimane sempre aderente un po' d'aria, per produrre immediatamente la formazione del vapore.

A questo fenomeno è affine quello, detto di Leidenfrost o dello stato *sferoidale*. In una bacinella di metallo arroventata si può mantenere dell'acqua in gocce senza che essa entri in ebollizione: ogni gocciola scorre rapidamente sulla superficie rovente e svapora a poco a poco. Se si riesce a mettervi una quantità più grande di acqua essa prende una forma tondeg-

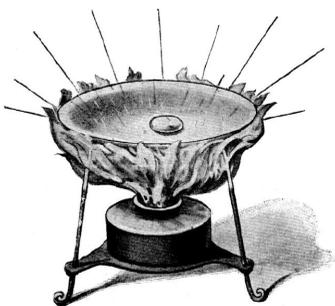


Fig. 123. – Fenomeno di Leidenfrost.

giante come il mercurio. Ma appena che la bacinella comincia un poco a raffreddarsi, l'ebollizione avviene così repentinamente che l'acqua viene dispersa ad un tratto come per effetto di un'esplosione (fig. 123). Questa è talvolta la causa dell'esplosione delle caldaie, quando in esse rimane così poca acqua da lasciare scoperta parte della superficie investita dal fuoco, che può allora arroventarsi e provocare il fenomeno. In questi casi è evidente, che l'acqua resta prima separata dalla parete rovente da uno strato di vapore: e poi quando avviene il contatto, si ha la improvvisa produzione di un'enorme quantità di vapore. Nello stesso modo si deve pure spiegare lo stupefacente fenomeno, che si può immergere per un istante la mano bagnata nel ferro fuso, senza bruciarsi; come qualche volta fanno gli operai delle acciaierie, per destare la meraviglia dei visitatori.

Sapendo che col diminuire la pressione si accelera l'evaporazione, si potrebbe arguirne, che, aumentando opportunamente la pressione, si possa arrivare a condensare in liquido qualunque vapore a gas. Questo invece non avviene: non si può a qualunque temperatura condensare un gas in liquido, per quanto forte sia la pressione a cui si sottopone. Se, ad esempio, il vapore d'acqua è portato a temperature superiori a 370° , nessuna pressione può trasformarlo in acqua: alla temperatura estrema di 370° ci vorrebbero 195 atmosfere di pressione per ottenere l'intento. Questa è per l'acqua la cosiddetta *temperatura critica*. Al di sopra di essa l'energia cinetica delle molecole determinata dallo stato calorifico è as-

solitamente, in ogni condizione, superiore alle forze molecolari di coesione, per cui esse non possono più prevalere e produrre lo stato liquido. La pressione massima del vapore alla temperatura critica si chiama anch'essa *pressione critica*.

La temperatura critica è molto diversa per i varî corpi, poichè come tutti i fenomeni termici dipende dalla grandezza e costituzione delle molecole. Nei gas che prima si chiamavano *permanenti*, l'energia del movimento molecolare che si contrappone alla forza di coesione è tanto grossa, che, solo con temperature bassissime, si può giungere a diminuirla quanto occorre per ottenere la condensazione del gas in un liquido. Per l'ossigeno, la temperatura critica è di -113° , e nonostante questa bassissima temperatura, occorre sottoporlo ad una pressione di 50 atmosfere per liquefarlo. Per liquefarlo sotto la pressione atmosferica normale, occorre un raffreddamento di -181° ; questa è dunque la temperatura di ebollizione dell'ossigeno. La temperatura critica dell'idrogeno è a -234° ; la temperatura alla quale esso è solido sotto la pressione normale non è ancora stata raggiunta, e probabilmente deve essere molto vicina allo zero assoluto.

Tutto questo ci spiega, ora, perchè fino ad un tempo relativamente non lontano non fu possibile di liquefare certi gas; fino a quando, cioè, si sottoponevano solamente a pressioni anche elevatissime, senza abbassare contemporaneamente la temperatura quanto occorreva. Come si sia giunti ad ottenere queste bassissime tempe-

rature è interessante per noi a conoscere, anche dal lato teorico. Dobbiamo a questo scopo esaminare con maggiore attenzione il processo dell'ebollizione di un liquido. Se poniamo l'acqua a contatto di una sorgente calorifica, vediamo che la sua temperatura sale progressivamente e regolarmente. Ma questo aumento della temperatura cessa subito quando il liquido comincia a bollire: da allora il termometro si arresta alla temperatura di ebollizione. Ciò non ci meraviglia affatto, perchè sappiamo, che l'acqua non si può ad una data pressione riscaldare oltre il suo punto di ebollizione, fatta astrazione degli anormali soprariscaldamenti accennati prima, e che al di là si converte in vapore. Ma se anche mettiamo il termometro solamente a contatto col vapore che si sviluppa, non vediamo che la temperatura aumenti, mentre tuttavia dal fuoco sottostante vengono continuamente fornite all'acqua come al vapore nuove quantità di calore. Solo quando tutta l'acqua si sia evaporata, il termometro può crescere. Si è trovato che, se, per esempio, una sorgente calorifica comunica in un minuto 10.000 calorie ad un litro d'acqua ossia 10 calorie per ogni grammo, occorrono circa 54 minuti, perchè, dopo raggiunto il punto di ebollizione, tutta l'acqua sia evaporata. Durante questo tempo, dunque, il termometro ha sempre segnato 100° , nonostante che all'acqua siano state comunicate frattanto 54×10 , ossia 540 calorie per grammo. Questo calore consumato durante l'ebollizione, che per l'acqua è precisamente di 537 calorie, non può essere sparito. E non è, come si suol dire, diventato

latente; espressione poco felice che noi non adopreremo, anche in omaggio alle nostre ipotesi, alle quali mal si adatta il concetto di una forza latente, contrapposto a quello solo per noi intelligibile di forza viva ed agente. Lo stato latente o potenziale di una forza non può per noi significare altro, se non un cambiamento di stato, per cui il movimento delle molecole ha preso un'altra forma che noi non possiamo vedere e seguire come prima. Appunto, nella vaporizzazione cambia il modo del movimento molecolare. Le molecole sono liberate dai legami della reciproca attrazione, e le loro orbite, nella dilatazione corrispondente allo stato gassoso, si ingrandiscono notevolmente. Se, ora, noi vogliamo mantenere, con queste orbite maggiori, la stessa energia cinetica delle molecole, ossia la stessa temperatura, occorre fornire loro l'energia corrispondente sotto la forma di calore. Questo è appunto il calorico di vaporizzazione che abbiamo misurato per l'acqua, e che è molto diverso nei diversi corpi.

Ma noi sappiamo bene, che i liquidi svaporano, cioè passano allo stato gassoso anche a temperature molto inferiori a quella di ebollizione: ciò significa, che le loro molecole acquistano in questo caso la velocità necessaria per liberarsi dall'attrazione delle altre: ma l'energia necessaria per questo aumento non possono trovarla che sottraendo calore alle altre e all'ambiente che le circonda. Così si produce un *raffreddamento per evaporazione*, molto sensibile con liquidi volatili. Ognuno conosce la sensazione di freddo che producono l'etere o l'alcool,

evaporando sopra una mano e la traspirazione della nostra pelle ci rende sopportabili i grandi calori, in causa del raffreddamento prodotto dalla evaporazione del sudore. Se, al contrario, l'aria è già satura di umidità, questa evaporazione non può più avvenire, ed allora le alte temperature atmosferiche divengono molto più opprimenti. L'evaporazione dell'acqua dalla superficie del mare e il suo ricondensamento allo stato fluido coi cambiamenti della pressione atmosferica o della temperatura, costituiscono tutto il grandioso meccanismo dei fenomeni meteorologici, che, a loro volta, esercitano tanta influenza sullo sviluppo di tutto il mondo organico del nostro pianeta, e nel corso delle epoche geologiche hanno potentemente agito nella formazione della sua superficie.

I corpi richiedono calore non solo nell'evaporazione o nella rarefazione che si produce spontaneamente, ma anche quando questa sia prodotta artificialmente; e inversamente, essi generano calore nella compressione. I ciclisti sanno bene che gonfiando le loro pneumatiche la pompa si riscalda in causa della compressione dell'aria. Per la stessa ragione si spiega il riscaldamento prodotto dall'urto o dall'attrito dei corpi solidi. Alle loro molecole urtate o sfregate viene comunicata una maggiore velocità, che corrisponde all'osservato aumento della temperatura: abbiamo dunque trasformazione di lavoro in calore.

Comprimiamo un gas che in principio ha la temperatura dell'ambiente, e poi mettiamolo in condizioni da

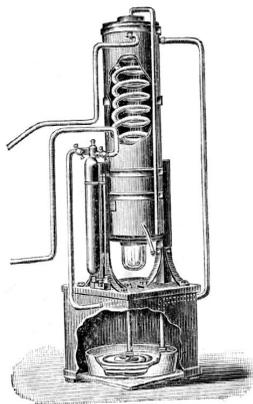
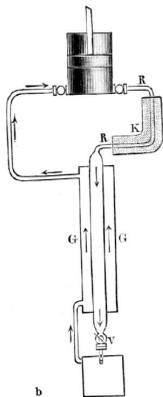


Fig. 124. - Macchina Linde per la liquefazione dell'aria.



cedere nuovamente all'ambiente il calore acquistato; se questo gas potrà poi espandersi, esso dovrà perdere tanto calore quanto ne aveva prima acquistato nella compressione e raffreddarsi dunque di altrettanto nell'espansione, rispetto all'ambiente. Su questo principio son fondate le *macchine frigorifere*.

La più eccellente di queste è quella di Linde, che arriva a compiere la liquefazione dell'aria sotto la pressione normale. Vogliamo qui dare un'idea della sua ingegnosa costruzione (fig. 124).

Dapprima l'aria viene sottoposta a circa 50 atmosfere di pressione, ed il calore generato da questa pressione viene sottratto per mezzo di una vasca refrigerante K, nella quale il tubo R che conduce l'aria compressa è circondato da ghiaccio o da uno dei *miscugli frigoriferi* di cui parleremo in seguito. Quando l'aria compressa ha acquistato la temperatura della vasca refrigerante si può, aprendo la valvola V, provocare una improvvisa dilatazione di quest'aria, per cui essa si raffredda molto al di sotto della temperatura della vasca refrigerante. Questa aria fredda viene guidata in modo da ricondurla a cir-

condare il tubo dell'aria compressa, per mezzo del condotto di contro-corrente G, e così l'aria compressa interna può raffreddarsi ancora molto più che col semplice miscuglio refrigerante. Dipoi quest'aria viene di nuovo lasciata espandersi, e così, a sua volta, si raffredda ancora, come ha fatto quella che ora si trova nel condotto di corrente G. L'aria compressa allora subirà un raffreddamento ancora maggiore, e così di seguito fino a raggiungere la temperatura di condensazione, che per l'aria atmosferica corrisponde a -191° . Allora all'ultima apertura della valvola, l'aria come un liquido bluastrò, sgorga nella vasca di raccolta dalla quale, sotto la pressione normale, si può liberamente far passare in un altro qualunque recipiente, come se fosse acqua.

L'aria è costituita principalmente da un miscuglio di ossigeno e di azoto. Ora, quest'ultimo sotto la pressione normale bolle a -193° , mentre invece l'ossigeno bolle già a -181° . Se l'aria liquida è stata raffreddata fino a circa -200° , nel graduale riscaldamento causato dall'aria circostante a temperatura normale, comincia prima ad evaporare l'azoto: quindi l'aria liquida diverrà sempre più ricca di ossigeno ed infine si potrà concludere, che rimarrà solamente ossigeno liquido. Per mezzo dei diversi punti di evaporazione, coll'applicazione dei vari gradi di freddo, si può così facilmente separare tra loro miscugli di diverse sostanze, operazione che altrimenti riesce in molti casi assai difficile. Uno dei seguenti capitoli dimostrerà che *lo stesso avviene anche in quei miscugli di elementi chimici che avvengono entro le di-*

mensioni atomiche, cioè nei composti chimici; dei quali si può produrre la dissociazione sottoponendoli a differenti gradi di temperatura.

Le prime importanti esperienze che portarono alla liquefazione dei cosiddetti gas permanenti, furono compiute quasi contemporaneamente nel 1877 da Cailletet in Parigi e da Raoul Pictet in Ginevra, per vie molto diverse. Cailletet utilizzò a questo scopo quella proprietà dei gas di raffreddarsi fortemente colla dilatazione, che più tardi Linde applicò in maniera molto più completa nell'apparecchio descritto di sopra. Il fisico parigino comprimeva l'aria con una potente vite di pressione (fig. 125) fino a circa 300 atmosfere.

Fino a che tutto ciò avveniva alla temperatura ordinaria, l'aria, nonostante questa straordinaria pressione non si condensava. Ma l'aria così fortemente compressa si lasciava prima raffreddare, ossia riprendere la temperatura dell'ambiente, poi si lasciava improvvisamente dilatare (aprendo repentinamente la vite *m*) e allora alla parete del tubo di vetro *s* si depositavano delle gocce di aria liquida, anzi insieme anche dei cristalli solidi. Era dunque aria cristallizzata, diventata solida. L'improvvisa dilatazione produceva dunque un freddo così forte, che una parte dell'aria rimasta si riduceva allo stato liquido e anche solido. Ma in questa maniera non si poteva ottenere che una piccolissima quantità di aria condensata, la quale tornava subito allo stato gassoso; cosicchè non si potevano fare altri e più completi esperimenti.

L'apparecchio Pictet è essenzialmente più complicato di quello di Cailletet, ma permette già di produrre maggiori quantità di ossigeno liquido; e, ridotto in forma più semplice, ebbe largo

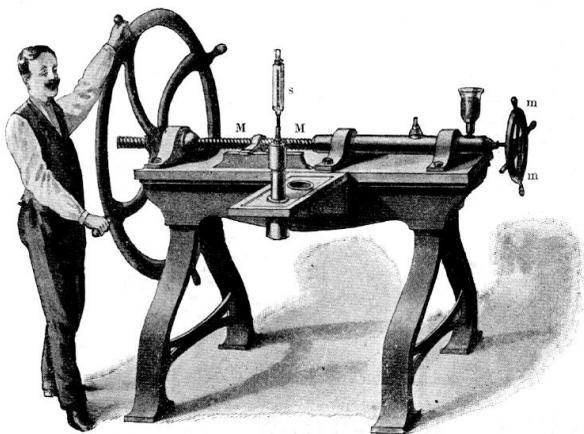


Fig 125. – Apparecchio del Cailletet per la condensazione dei gas.

uso come macchina da ghiaccio, fino a che la macchina frigorifera di Linde, descritta di sopra, non lo fece scendere. Esso è fondato, come la macchina Linde, sopra un processo circolatorio che viene mantenuto costantemente. Si condensa dell'anidride solforosa e, lasciandola poi espandere, si raggiunge subito una temper. di -70° . Questa viene adoprata per raffreddare dell'anidride carbonica compressa, che nella successiva espansione si raffredda fino a -130° . Allora si sottopone a questa temperatura l'ossigeno già preparato e fortemente compresso ed esso si liquefa.

Con l'idrogeno si può scendere anche a temperatura alquanto più basse. Si vede subito quanto più semplice è la produzione del freddo per mezzo della macchina di Linde, con la quale l'ossigeno liquefatto è preso direttamente dall'aria.

In queste macchine frigorifere il gas compie un lavoro a

spese del proprio calore: si potrebbero perciò chiamare macchine a vapore invertite. Infatti, nella macchina a vapore inventata dall'inglese Watt (fig. 126), l'acqua viene portata all'ebollizione in una caldaia. Il vapore che si sviluppa, per mezzo di un tubo che è alternativamente aperto e chiuso da una valvola, penetra in un cilindro in cui si trova uno stantuffo scorrevole che viene spinto in alto dalla pressione del vapore. Il cilindro ha pure un tubo di uscita del vapore, da aprirsi e chiudersi,

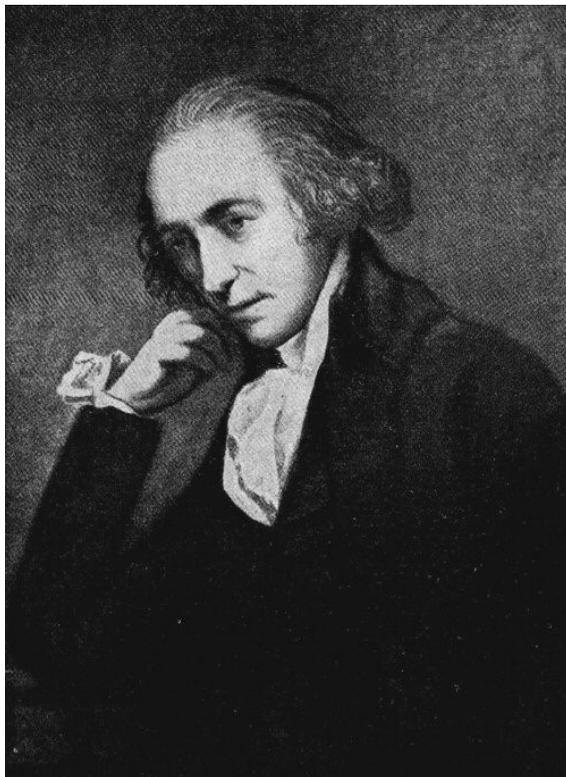


Fig. 126. — James Watt inventore della macchina a vapore.

in modo che alla sua apertura e alla simultanea chiusura del tubo di accesso, per la pressione sullo stantuffo il vapore passa in un recipiente, *il condensatore*, che ha una temperatura molto più bassa di quella della caldaia. Nel condensatore il vapore si converte di nuovo in acqua, restituendo parte del calore consumato nell'ebollizione, e lo stantuffo, per questa condensazione, viene tirato ancora più in basso dalla pressione esterna che inizia questa condensazione. Coll'apertura e chiusura della *valvola d'entrata e d'uscita* del vapore, questo movimento si ripete indefinitamente, ed anche l'acqua condensata, per mezzo di una pompa, è riportata di nuovo nella caldaia, per essere di nuovo convertita in vapore, in modo da compiere un ciclo chiuso di trasformazione. Se si collega collo stantuffo un'asta mobile, questa, applicata alla manovella di una ruota, può farla girare coll'alzarsi ed abbassarsi dello stantuffo. Alla ruota può essere opportunamente unito un *volano*, il cui momento d'inerzia serve a regolare il movimento e a iniziare la pressione che riporta indietro lo stantuffo, e fa passare il vapore nel condensatore, rendendo uniforme il lavoro della macchina. L'apertura o chiusura delle valvole d'accesso e di scarico pel vapore, nella prima macchina era fatto a mano; è però evidente, che si possono trovare disposizioni adatte per fare compiere questa funzione automaticamente dalla macchina stessa, come pure il movimento della pompa ad acqua, in modo che la macchina una volta messa in pressione lavora da sè. Abbiamo già veduto come funziona il regolatore a forza centrifuga, col

quale automaticamente si regola la quantità del vapore, cosicchè la macchina, senza alcun'altra sorveglianza, mantiene una velocità costante purchè si alimenti il focolaio e non manchi la pressione del vapore. C'è poi la valvola di sicurezza, che evita il pericolo di troppo alte pressioni, ed è costituita da aperture tenute chiuse da un coperchio su cui agisce di fuori la pressione di un peso o di una molla, in misura tale da non cedere che ad una data pressione interna, quella appunto che comincerebbe ad essere pericolosa per la caldaia, ed allora sfugge la necessaria quantità di vapore. Oggi le macchine a vapore originariamente semplici, sono state portate alla più grande perfezione. Una macchina moderna è disegnata alla fig. 57.

Dalle cose esposte risulta chiaramente, che la potenza di una macchina a vapore è data dalla differenza fra la quantità di calore fornita alla caldaia per l'ebollizione, e quella versata col vapore nel condensatore.

Ma se questo calore misurato in calorie, lo valutiamo nel valore corrispondente, valendoci dell'equivalente meccanico del calore già trovato, troveremo che il lavoro meccanico della macchina è molto al disotto di questo valore teorico. La perdita di calore comunicato all'ambiente, gli attriti e le resistenze di diversa specie, i molti organi secondari che occorre mettere in movimento per mantenere il funzionamento autonomo della macchina assorbono gran parte del calore totale. Ci si può contentare, se una macchina trasforma in lavoro meccanico la decima parte del calore comunicato alla caldaia.

Per ogni corpo gassoso, sotto ogni pressione, vi ha una certa temperatura alla quale il gas si liquefa, cambiando così repentinamente il suo stato di aggregazione: così per ogni liquido esiste una temperatura più bassa, alla quale avviene improvvisamente il passaggio allo stato solido. Ogni graduale abbassamento della temperatura produce sempre nei corpi, progressivi e proporzionali cambiamenti del loro stato interno; ma oltre a questo, vi hanno, per ogni corpo, due particolari temperature che determinano un subitaneo cambiamento di stato: la temperatura di fusione e quella di ebollizione. Questa è certamente una cosa assai strana e che non possiamo punto chiarire nelle sue interne cause. Noi possiamo spiegarci che, diminuendo le velocità molecolari di un gas, ossia abbassandosi la temperatura, l'attrazione reciproca delle molecole debba prendere il sopravvento, e che queste si colleghino da vicino formando lo stato liquido; ma resta difficile a intendere per qual ragione questo processo di avvicinamento e condensazione una volta cominciato non prosegua oltre, ma sia dalla stessa temperatura moderato e limitato, così da diventar dipendente dalla temperatura, sebbene in minor misura che nello stato gassoso; perchè anche i liquidi si dilatano con l'aumentare della temperatura, ma i loro coefficienti di dilatazione, i loro calorigi specifici, ecc., sono assai diversi da quelli delle stesse sostanze allo stato gassoso. Le molecole dunque si trovano ancora a discreta distanza tra loro, poichè col calore varia ancora l'ampiezza del loro movimento più o meno libero. Con l'ulteriore ab-

bassamento di temperatura le molecole si serrano sempre più da vicino; e finalmente cominciano a cambiare di nuovo la loro disposizione, e questa volta nelle meravigliose e misteriose forme dei cristalli. Parrebbero, nello stato solido, le molecole solidamente serrate e legate fra loro: ma ciò non è ancora vero; poichè anche i corpi solidi, come i liquidi e i gassosi, possono ancora cambiare la loro temperatura, ossia il grado e l'ampiezza del movimento interno molecolare; ed anche essi si contraggono, diminuendo di volume col progressivo abbassamento della temperatura, tolte alcune eccezioni delle quali parleremo in seguito. In questo terzo stato di aggregazione, le sostanze medesime hanno capacità calorifica affatto diversa che negli altri due stati, anzi, la capacità calorifica non cambia affatto in misura proporzionale e progressiva col cambiare dello stato di aggregazione. Così, il calorico specifico del ghiaccio è 0,48, quello dell'acqua e quello del vapore acqueo invece 0,37; per cui il maggiore calorico specifico appartiene al medio stato di aggregazione.

Poichè sappiamo che in tutti e tre gli stati permane il conflitto tra l'azione del calore e l'attrazione molecolare, possiamo ammettere che la liquefazione o fusione sia regolata da leggi simili a quelle della vaporizzazione.

Infatti, vi è il *calore di fusione*, come il *calore di evaporazione*. Il ghiaccio può trovarsi ad una temperatura qualunque sotto lo zero. Se gli si fornisce calore esso si dilata e nella stessa proporzione aumenta la sua temperatura. Ma, appena questa è giunta a 0° , il ghiaccio co-

mincia a fondersi, e la temperatura, nonostante che si continui il riscaldamento, si mantiene per lungo tempo invariata, fino a che tutto il ghiaccio non si è liquefatto. Così si trova, che il *calore di fusione* dell'acqua, ossia la quantità di calore necessaria per fondere 1 grammo di ghiaccio a 0° , è di 79,25 calorie, notevolmente inferiore a quello di evaporazione, che è di 537. Il calore di fusione del ferro è di 21 calorie; quello dello zolfo di 9,4; quello del mercurio di 2,8. Quest'ultimo dunque assorbe pochissimo calore nella fusione e perciò si fonde molto rapidamente.

Le temperature di fusione delle varie sostanze sono, come ben si sa, molto diverse. Per un certo numero di corpi sono così elevate, che si possono ottenere solo coi forni elettrici dove la temperatura può solo essere determinata approssimativamente. Il platino fonde a 1775° , il ferro dolce a 1600° , l'oro a 1070° : il piombo; a 328° ; lo zolfo a 114° ; il fosforo a 44° : il mercurio a -39° ; l'anidride carbonica a -78° : l'azoto a -203° . Si vede anche, che la distanza fra il punto di fusione e quello di evaporazione è molto diversa per i vari corpi. Per l'azoto ora menzionato questi due punti si trovano soltanto a 10 gradi di distanza tra loro; poichè esso bolle già a -193° ; l'azoto può dunque aversi allo stato liquido solo in limiti di temperatura molto ristretti. Nel mercurio, al contrario, questi due punti si trovano a circa 400 gradi di distanza; il mercurio è quindi un corpo prevalentemente liquido. La temperatura di ebollizione dello zolfo è a 448° , ossia 334 gradi sopra quella di fusione. Mantenen-

do il suo calorico specifico 0,176 esso abbisogna di circa 58 calorie per essere portato dal punto di fusione a quello d'ebollizione, mentre per l'acqua si sa che ne occorrono solo 100. Ci si può immaginare un pianeta la cui superficie si trovi ad una temperatura più elevata di qualche centinaio di gradi che quella della Terra. In un tal mondo, lo zolfo potrebbe rappresentarvi la parte stessa dell'acqua sulla Terra; potrebbe formare dei bacini liquidi come i nostri mari, evaporarsi nell'atmosfera, e quindi ricadere nuovamente in forma liquida o solida a guisa di neve, insomma circolare e trasformarsi come l'acqua sulla Terra. E non è neppure impossibile, che anche nel nostro pianeta, nei tempi geologici, quando non v'erano esseri viventi, lo zolfo o qualche altro corpo abbiano realmente avuto questa parte nel corso di secoli, ed abbiano così dato origine a quelle rocce arcaiche primitive che, mentre mostrano caratteri vulcanici, e certamente sono state una volta liquido ardente, dall'altro lato presentano anche tracce di stratificazione come quelle che sono state generate dalle acque, cioè le rocce di sedimento. Queste rocce primitive sono anche cristalline. Esse devono essersi formate lentamente in uno stato di relativa quiete, come si forma il ghiaccio dall'acqua.

L'anidride carbonica fonde a -78° e bolle a -57° . In un mondo molto più freddo del nostro, che ricevesse cioè meno calore dal suo sole, l'anidride carbonica potrebbe farvi la parte dell'acqua da noi, ed alcuni studiosi sono di opinione, che i fenomeni che vediamo svolgersi

a periodi annui sul pianeta Marte non siano dovuti (v. fig. 127) alla circolazione dell'acqua, come sulla Terra, ma a quella dell'anidride carbonica.

Nella fusione si ha ancora, come nell'ebollizione, un contrasto fra l'azione del calore e quella delle forze molecolari, e si comprende quindi, che la pressione sovrastante influisca

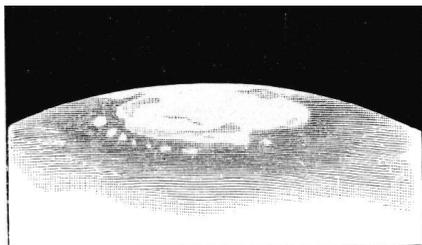


Fig. 127. – Polo di Marte con le sue nevi.

sulla temperatura di fusione, come su quella d'ebollizione, per quanto la dipendenza sia in questo caso molto minore. Per l'acqua, il punto di fusione si abbassa di $0,0075^\circ$ per ogni atmosfera in più di pressione; cosicchè, praticamente, nella graduazione dei termometri, si può trascurare la variabilità dello zero in rapporto allo stato barometrico; il che non è invece possibile nel determinare la temperatura di 100° .

Ma nei fenomeni naturali questo abbassamento del punto di congelazione dell'acqua ha una parte importante. Gli scandagli delle profondità marine, che in questi ultimi tempi sono stati fatti con tanto ardore e tanto buon successo, hanno dimostrato che al fondo dei mari l'acqua si trova ad una temperatura molto bassa, che per le grandi profondità scende spesso a -2° e -3° . Alla superficie del mare l'acqua può invero mantenersi liquida anche sotto zero, in grazia del suo sale; nelle grandi profondità, invece, essa si mantiene liquida solo per ef-

fetto della enorme pressione. La pressione dell'acqua corrisponde come sappiamo a circa un'atmosfera per ogni 10 m. di profondità. Perciò il punto di gelo dell'acqua si trova essere di $-2,25^\circ$ alla profondità di 3000 m.; di $-3,75^\circ$ a 5000 m.; di $-6,0^\circ$ a 8000 m.

Una pressione esercitata sul ghiaccio lo fa liquefare in causa dell'abbassamento del punto di fusione che esso provoca; ma l'acqua rigela subito appena la pressione cessa. Lo dimostra la comune esperienza che si fa, tendendo un filo di ferro con un peso attaccato, sopra un pezzo di ghiaccio; il quale viene tagliato in due sotto la pressione del filo (fg. 128) mentre, sopra al filo, l'acqua liberata dalla pressione si congela di nuovo, e così il filo passa proprio attraverso al pezzo di ghiaccio senza che dopo si possano neppure notare le tracce del suo passaggio. Questo fenomeno, detto *rigelo*, spiega il movimento scorrente dei ghiacciai. Il ghiaccio spinto dal proprio

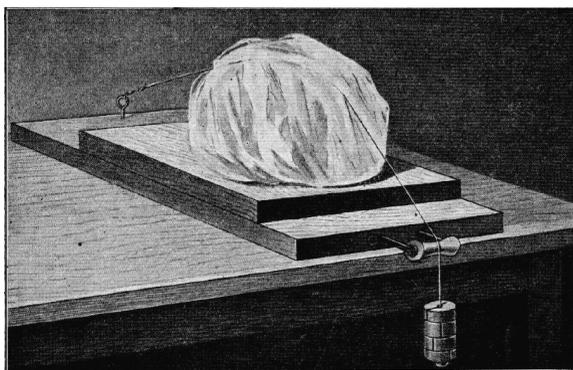


Fig. 128. – Il rigelo del ghiaccio.

peso giù nelle valli montane, formerebbe un mucchio sconnesso di rottami se i diversi blocchi premuti gli uni contro gli altri non si riunissero tra loro per effetto del rigelo.

lo, per cui il ghiacciaio diventa una regolare ed omoge-

nea corrente di ghiaccio, che riempie la valle e fluisce lentamente verso il basso.

È cosa notevole, che, a pressione normale, la densità dell'acqua non cresce col raffreddamento fino al punto di congelamento, ma ha il suo massimo a $+ 4^{\circ}$. Dunque le molecole dell'acqua, che nel congelarsi si saldano solidamente in modo da perdere la loro reciproca scorrevolezza e da disporsi in rigidi cristalli, restano tuttavia a distanza maggiore nel ghiaccio che nell'acqua liquida a $+ 4^{\circ}$. Presentemente noi non siamo ancora in grado di poter fornire una soddisfacente spiegazione di questo fenomeno: possiamo solo supporre che nel passare dallo stato liquido allo stato solido le molecole della materia si dispongano in un modo diverso prendendo posizioni fisse regolari, senza che necessariamente diminuiscano le loro medie distanze. Quando tratteremo dei fenomeni chimici torneremo su questo argomento.

Lo aver l'acqua il suo massimo di densità ad una temperatura alquanto superiore a quella del gelo è un fatto di grandissima importanza, nello svolgersi dei fenomeni naturali terrestri. Se il ghiaccio fosse più denso dell'acqua, affonderebbe in questa mentre si forma e si raccoglierebbe nel fondo dei fiumi e dei laghi; invece il ghiaccio galleggiando alla superficie delle acque protegge dal freddo gli strati d'acqua sottostanti e ne impedisce l'ulteriore congelazione. Ogni grammo di ghiaccio assorbe nella fusione 80 calorie, e se nell'inverno i laghi ed i mari gelassero fino in fondo, a primavera occorrerebbe per il disgelo una quantità molto maggiore di

energia calorifica, che va invece impiegata per l'attività di altre forze naturali necessarie alla vita. Anzi il calore solare non potrebbe penetrare fino alle grandi profondità del mare, poichè le acque calde più leggere rimarrebbero alla superficie. I mari si riempirebbero completamente di ghiaccio, formando una immensa massa compatta che nella primavera e nell'estate si scioglierebbe un poco alla superficie. La circolazione dell'acqua da cui quasi esclusivamente dipende lo sviluppo della vita nella terra, cesserebbe quasi affatto, tranne forse nella zona torrida, ed una rigidità di morte regnerebbe per quasi tutta la nostra Terra.

Ma non tutte le sostanze sono meno dense allo stato solido che allo stato liquido, tali sostanze non possono dunque, in alcun corpo celeste, avere mai esercitato l'ufficio grandioso che fa l'acqua sulla Terra.

Se la dilatazione dell'acqua nel raffreddarsi comincia già a $+ 4^{\circ}$, può significare, che in quest'acqua fredda si formano già dei cristallini troppo piccoli per poter essere veduti, come anche, molto al disotto del punto di ebollizione, può avvenire l'evaporazione. Per l'abbassamento del punto di fusione sotto una forte pressione e per la dilatazione che avviene nel congelamento, può l'acqua,

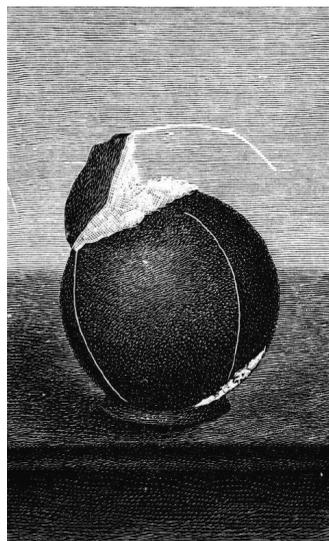


Fig. 129.
Bomba di ghiaccio.

raffreddandosi, esercitare una grandissima forza.

Se si riempie d'acqua una bomba di ferro e si sottopone ad una temperatura di -10° la bomba scoppierà come per l'effetto di una potente materia esplosiva (fig. 129). Avendo l'acqua dentro la bomba uno spazio limitato per solidificarsi cristallizzando, viene a trovarsi nelle stesse condizioni come se su di essa gravasse una pressione capace di abbassare fino a -10° il suo punto di fusione. La pressione di un'atmosfera produce un abbassamento dal punto di fusione di $0,0075^{\circ}$; per cui l'acqua a $-7,5^{\circ}$ esercita già una pressione di 1000 atmosfere, la quale può squarciare le più forti bombe. Ma appena che l'acqua è liberata da questa pressione si congela immediatamente nello spruzzar fuori, e prende spesso delle forme singolari simili a quelle di una goccia di piombo fuso gettata nell'acqua.

Questa azione distruttrice del ghiaccio avviene naturalmente in inverno; specialmente nelle alte montagne, dove l'acqua penetra nelle fessure delle rocce, e congelandosi allarga queste fessure, fino a staccare i massi l'uno dall'altro e farli precipitare nelle vallate.

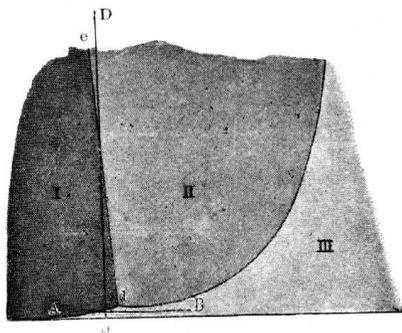


Fig. 130. – I tre stati dell'acqua.

Le proprietà dell'acqua, alle diverse condizioni di temperatura e pressione, così importanti, come abbiamo visto, per tutti i fenomeni terrestri, possono rappresentarsi schematicamen-

te con la curva della fig. 130, dove le temperature vanno crescendo orizzontalmente da sinistra a destra, e le pressioni verticalmente dal basso in alto, rappresentate dall'asse OD, che s'innalza dal punto O corrispondente alla temperatura di 0° . La zona del ghiaccio (I) e quella dell'acqua liquida (II) sono divise dalla linea retta *de*, la quale taglia l'asse di pressione OD, secondo un angolo molto acuto che dovette nella figura essere notevolmente amplificato. Ciò significa che il punto di fusione, il quale si trova sempre su questa linea *de* viene ad abbassarsi coll'innalzamento della pressione. Dove questa linea di divisione *de* taglia l'asse di pressione, l'acqua si congela dunque a 0° , e la pressione è quella di un'atmosfera. Disopra, l'acqua si mantiene liquida anche a temperature inferiori a 0° , perchè la linea di divisione *de* resta a sinistra dell'asse delle pressioni. La linea che divide la zona dell'acqua liquida (II) da quella del vapor d'acqua (III), da principio è fortemente piegata, ma di là dalla pressione di un'atmosfera sale rapidamente, quasi parallela all'asse delle pressioni, significando, che lungo di essa, che è la *curva di saturazione* nella quale l'acqua liquida e il vapore d'acqua si mantengono in equilibrio, la pressione cresce colla temperatura, come abbiamo già detto parlando del vapore saturo. In *d* questa curva di *saturazione* s'incontra colla linea limite del ghiaccio.

Questo punto singolare che corrisponde alla pressione di mm. 4,57 di mercurio, cioè molto più vicino allo 0° di quel che non apparisca nella figura, rappresenta le condizioni di temperatura e pressione in cui il ghiaccio si

può convertire direttamente in vapore anche senza passare per lo stato liquido: per ciò, la linea *de* si arresta senza traversare la zona dell'acqua liquida. Questa vaporizzazione del ghiaccio, come in generale il passaggio diretto dallo stato solido a quello gassoso, si chiama *sublimazione*.

Un tempo, contro l'opinione di chi credeva che i cosiddetti *mari* della Luna fossero pieni di ghiaccio, si obiettava, che, per la mancanza di atmosfera, questo ghiaccio a lungo andare avrebbe dovuto sparire, evaporando nello spazio per sublimazione. Ma però questa evaporazione avrebbe generato un'atmosfera, la cui pressione presto avrebbe raggiunto quel limite di mm. 4,37; allora, per ogni quantità di calore comunicato, il ghiaccio si sarebbe, come d'ordinario, convertito in acqua e dopo, raffreddandosi, di nuovo congelato.

La parte della curva di saturazione che da *d* procede verso sinistra, si chiama *curva di sublimazione*, che fa in *d* un angolo. Questo punto *d* si chiama il *punto triplice* dell'acqua; in cui ghiaccio, acqua e vapore si tengono in equilibrio, ossia, nelle condizioni di temperatura e di pressione corrispondenti a questo punto possono mantenersi stabilmente ed a contatto ghiaccio, acqua e vapore. Se si fa crescere la pressione, il vapore diviene liquido; se ne abbassiamo la temperatura, diventa ghiaccio, senza liquefarsi. In questa maniera certamente si formano gli aghi di ghiaccio che producono i cirri (fig. 131) nelle più alte regioni della nostra atmosfera.

Ciascuno dei tre stati di aggregazione di una sostanza ha una diversissima parte nel meccanismo dei fenomeni naturali. Considerando, per esempio, l'acqua, come la più diffusa delle sostanze, vediamo, che essa allo stato di ghiaccio compie pure un lavoro molto

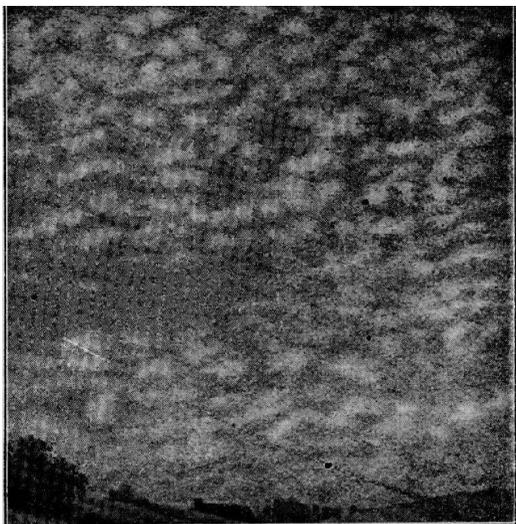


Fig. 131. – Cirri o nuvole di ghiaccio.

importante, ma in una zona relativamente poco estesa.

Quanto maggiore invece è l'azione dell'acqua liquida nella sua ampia circolazione! Oltre agli effetti meccanici dei fiumi e dei torrenti, alla sua circolazione nelle correnti marine che tanto influiscono nella distribuzione dei climi, essa compie anche un grande e importante lavoro chimico disciogliendo tante sostanze, e combinandosi con tante altre. Ma in forma più potente ancora si manifesta a noi il lavoro dell'acqua allo stato aeriforme, nella grande macchina a vapore che è l'atmosfera, in cui il lavoro meccanico cresce in ragione della maggiore libertà dei movimenti molecolari. Anche la specie del lavoro è essenzialmente diversa secondo lo stato di aggregazione. Mentre i corpi solidi e gassosi lavorano in generale per via meccanica mediante le loro dilatazioni, invece lo

stato liquido è la condizione più favorevole per le reazioni chimiche che si compiono dentro agli spazi molecolari.

f) Il calore nei fenomeni chimici.

Tra i fenomeni chimici e il calore vi ha stretta dipendenza, e questa si comprende facilmente, considerando che le reazioni chimiche e i relativi cambiamenti delle sostanze consistono in un cambiamento nella composizione molecolare, per cui un dato gruppo di atomi formanti una molecola, si associa ad un altro gruppo per formare con una certa permutazione di atomi, due o più nuovi gruppi che hanno altre proprietà chimiche e anche fisiche. Nel senso più largo, si potrebbe, perciò, chiamare una reazione chimica anche il passaggio da uno stato di aggregazione all'altro, poichè anche qui, come vedemmo, devono aver luogo cambiamenti nei gruppi molecolari; e i cosiddetti cambiamenti *allotropici* di certi elementi chimici, come l'ossigeno, lo zolfo, il fosforo, sono dovuti verosimilmente a processi interni molecolari, affatto simili a quelli che, secondo il nostro punto di vista, avvengono nel passaggio dei corpi dallo stato liquido allo stato solido. Ma, per fenomeni chimici si deve propriamente intendere soltanto quelli in cui due diverse sostanze associandosi tra loro ne formano una terza; mentre, invece, nei cambiamenti degli stati di aggregazione si tratta sempre di un solo e medesimo corpo, che però, nei diversi stati, può presentare non solo

differentissime proprietà fisiche, ma anche chimiche, e potrebbe perciò, ad un'osservazione superficiale, essere creduto un corpo affatto diverso.

Perchè due differenti sostanze possano scambiarsi reciprocamente gli atomi delle loro molecole, è certamente necessario che queste vengano in contatto immediato tra loro. Perciò, due corpi solidi potranno difficilmente reagire tra loro chimicamente o, tutt'al più, solamente alla loro superficie di contatto. Parimente, il contatto ha luogo con difficoltà quando essendo il corpo allo stato gassoso le molecole sono a troppo grande distanza tra loro e possono quindi nel loro movimento incontrarsi più di rado. Nei liquidi, invece, le molecole si trovano, presso a poco, alla stessa media distanza tra loro come nello stesso stato solido, e oltre a questo possono liberamente muoversi, e reagire le une sulle altre secondo le leggi delle forze chimiche. Ci occuperemo ora particolarmente di quei fenomeni chimici che sono in più semplice reazione coi principi già da noi svolti sulla natura del calore.

Dalle vere e proprie combinazioni chimiche occorre distinguere le *soluzioni*, in cui le molecole del solvente e quelle della sostanza disciolta formano solo una miscelanza uniforme tra loro, senza che avvenga alcun cambiamento nella interna costituzione delle loro molecole. Si può perciò supporre, che le soluzioni debbano presentare fenomeni calorifici pari a quelli, insieme sommati, delle due sostanze separate.

Se noi sciogliamo del sale marino con dell'acqua e ri-

scaldiamo la soluzione ad una data temperatura, le molecole del sale come quelle dell'acqua hanno così acquistata una medesima velocità, corrispondente a quel grado di temperatura. Ma avendo il sale un calorico specifico diverso da quello dell'acqua, occorrerà nel riscaldamento del miscuglio una certa quantità di calore per portare a quel grado di temperatura l'energia cinetica delle due qualità di molecole. E questa quantità di calore cambierà secondo la proporzione dei due corpi che formano il miscuglio, ossia dipenderà dalla concentrazione della soluzione. In relazione con questo sta il fatto, conosciuto col nome di *legge di Raoult*, che il punto di congelazione di una soluzione si abbassa in rapporto al numero delle molecole della sostanza disciolta. Così l'acqua salata si congela a temperature inferiori a 0° , e tanto più basse quanto più è ricca di sale. Per la stessa ragione si inalza proporzionatamente la temperatura di ebollizione.

Più complessi sono i fenomeni delle vere combinazioni chimiche, che in diversissime circostanze sviluppano calore o compiono un lavoro, che deve essere considerato come una trasformazione dei movimenti interni atomici o molecolari. In primissima linea, per importanza, vengono i fenomeni di combustione. Mischiando 2 gr. di idrogeno con 16 gr. di ossigeno e accendendo il miscuglio, si formano, con esplosione, 18 gr. d'acqua. Il miscuglio gassoso, conosciuto come gas detonante, occupa da prima un volume di 33 litri; il vapore d'acqua che si forma, solo 20 litri; i 18 gr. di acqua solo 18 cm^3 .

Nella formazione dell'acqua dai due gas, avviene dunque una grandissima contrazione del loro volume iniziale che si riduce ad $\frac{1}{2000}$, mentre il calore sviluppatosi nella reazione chimica produce una improvvisa e notevolissima dilatazione del vapore d'acqua. L'energia del movimento molecolare che si trasforma in calore nell'esplosione sviluppa circa 68.000 calorie. Noi possiamo applicarle a muovere uno stantuffo di compressione in un tubo e così possiamo trasformare direttamente l'energia chimica in lavoro. Questo avviene nei motori a gas, in cui la mescolanza di gas illuminante (contenente idrogeno) con l'aria (contenente ossigeno) forma un gas detonante, la cui accensione produce tante piccole esplosioni successive, le quali spingono uno stantuffo, come fa il vapore d'acqua in una macchina a vapore (fig. 132).

Se una quantità di calore uguale a quella svolta dal gas detonante nella formazione di un grammo d'acqua, venisse comunicata di nuovo all'acqua, essa salirebbe, allo stato di vapore, ad una temperatura elevatissima di migliaia di gradi; verosimilmente quella che ha il vapore d'acqua nell'atto che si forma dall'esplosione. Valga questo esempio a dare un'idea della straordinaria energia che si svolge nelle reazioni chimiche.

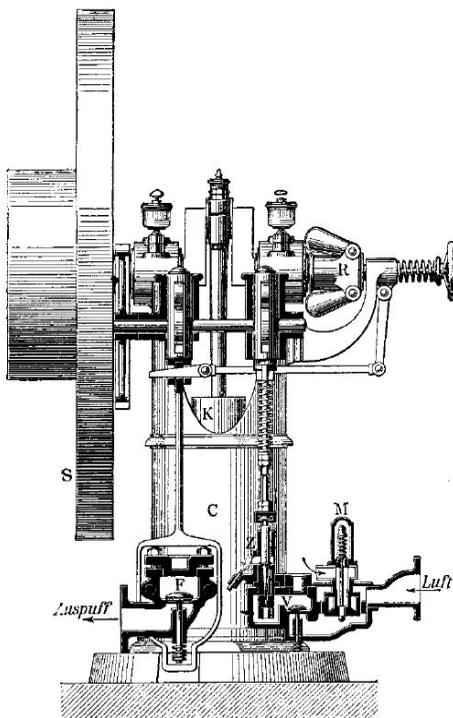


Fig. 132. – Motore a gas.

una certa data quantità di calore. Oltre a ciò il liquido si riscalda nella reazione chimica, la quale si può considerare come una combustione, dicendo che lo zinco brucia nell'acido solforico. Ogni grammo di zinco sviluppa circa 525 calorie.

Questo calore di combustione è un fattore di straordinaria importanza nei fenomeni della natura vivente, poichè costituisce la sola sorgente del calore animale. Noi sappiamo che la temperatura negli animali a sangue caldo si mantiene sempre costante e, tranne casi eccezionali di climi tropicali, sempre superiore alla temperatura

Se mettiamo zinco in contatto con acido solforico diluito, si sviluppa l'idrogeno prima trattenuto nelle molecole dell'acido solforico e perciò fortemente condensato. La reazione chimica lo libera dai suoi vincoli molecolari, come il calore libera le molecole di un liquido portandole allo stato di vapore. L'idrogeno che si svolge espandendosi liberamente potrebbe eseguire un lavoro che corrisponde quindi ad

dell'ambiente. La temperatura del corpo umano rimane di 37°, tanto se sopporta da mesi le terribili temperature delle notti polari, nelle quali la differenza tra la temperatura del corpo e l'ambiente giunge spesso a 70 e più gradi, come se vive sotto l'ardente sole tropicale. In ambedue i casi, l'attività vitale subisce una fiera crisi se questa temperatura del sangue si altera anche solo di pochi gradi. Il lavoro chimico che nel corpo fornisce questo calore, è dunque sottoposto a grandissime variazioni che sono esattamente regolate dalle necessità dell'organismo. Così si spiega, come gli abitanti dei paesi nordici debbano prendere cibi differenti da quelli usati dagli abitatori dei tropici, e come i primi preferiscano le sostanze grasse che producono più calore di combustione, agli alimenti vegetali. Il Nansen aveva ben pensato a questa necessità; ed infatti dice di avere dovuto adottare il sistema di nutrizione degli Esquimesi per potersi mantenere sano diversi anni tra i ghiacci del polo artico, e che specialmente aveva dovuto abituarsi a cibarsi del grasso di foca nella sua massima forza, cioè crudo. D'altra parte, il calore animale si trasforma anche in lavoro muscolare; e si può facilmente calcolare quante calorie corrispondono al lavoro meccanico di un cavallo, e di quanto nutrimento in più esso ha bisogno per alimentare la propria macchina animale se deve fornire la desiderata quantità di lavoro. Il lavoro, si sa, mette appetito.

Il calore prodotto in una combinazione chimica deve essere sufficiente a decomporre di nuovo il composto, cioè a produrne la *dissociazione* nei suoi elementi. L'i-

drogeno e l'ossigeno, il cui miscuglio sotto l'azione calorifica di una piccolissima scintilla si unisce subito chimicamente con straordinaria forza, potrebbero tuttavia rimanere mischiati l'uno a contatto dell'altro senza combinarsi, al di là di una certa temperatura molto alta, certo a 6700° . Questa temperatura, alla quale non è più possibile la combinazione di due elementi chimici, è la temperatura di *dissociazione* del loro composto.

Se, infatti, ci rappresentiamo la molecola di un corpo composto come un gruppo di atomi dei diversi elementi collegati e tenuti fermi dalle reciproche forze di attrazione o affinità chimica comprendiamo facilmente, che un movimento calorifico sufficientemente intenso può infine superare questa interna forza e disfare il sistema, come avviene delle molecole di un liquido quando ha luogo la vaporizzazione. In corrispondenza alla grandissima forza con cui gli atomi mostrano di essere uniti tra loro nelle molecole, la temperatura di dissociazione deve essere molto più elevata che quella di vaporizzazione.

Con la temperatura di dissociazione, si ha anche il *calorico di dissociazione*, cioè il numero di calorie che devono essere fornite ad un composto per decomporlo. Il calore ha dunque una parte attiva ed essenziale, così nelle combinazioni come nelle decomposizioni chimiche. Certe combinazioni chimiche non possono aver luogo che entro determinati limiti di temperatura; e alle temperature bassissime cessano quasi tutte le reazioni chimiche, perchè le molecole sebbene a contatto tra loro

non hanno più abbastanza libertà di movimento. Raoul Pictet, a cui, oltre alla liquefazione dei gas, noi dobbiamo anche molte altre interessanti ricerche circa l'azione delle basse temperature nella materia inorganica e sugli organismi, ha proposto un nuovo metodo di analisi chimica fondato tutto unicamente sopra la progressiva azione del calore. La temperatura minima a cui cominciano le reazioni chimiche è diversa per le varie sostanze, ed una mescolanza di tali sostanze, che da temperatura bassissima, presso allo zero assoluto, venga lentamente riscaldata, presenta naturalmente via via solo quelle reazioni e combinazioni che sono possibili, e si ha quindi una sintesi sistematica del sistema. Pur troppo, è praticamente difficilissimo operare alle bassissime, come alle altissime temperature, altrimenti questo metodo potrebbe acquistare applicazione importante e generale.

Recenti ricerche sulla temperatura della superficie del Sole hanno mostrato che probabilmente questa è da 6000 a 8000 gradi; superiore cioè, secondo le nostre esperienze, alla temperatura di dissociazione della maggior parte dei composti, i cui elementi, perciò, allo stato di vapore, formano l'atmosfera solare, costituita in gran parte, come ci rivela lo spettroscopio, da vapori metallici. Ma dove, per una qualsiasi causa la temperatura diviene più bassa, possono formarsi le prime combinazioni, e ivi avverranno condensazioni, i cui prodotti di densità maggiore affondano più in basso. Ma in basso, negli strati inferiori dell'atmosfera solare, ritrovano la tempe-

ratura più alta determinata dalla maggiore pressione, e i composti si dissociano di nuovo. Così, secondo Brewster, si formano e si disfanno le macchie solari; e questa teoria è molto probabile, tanto più se si considera, che le grandiose tempeste che visibilmente agitano l'atmosfera solare, debbono, colle differenze di pressioni da loro prodotte, determinare appunto variazioni di temperatura, che alla loro volta generano i movimenti circolatorii descritti (fig. 133).

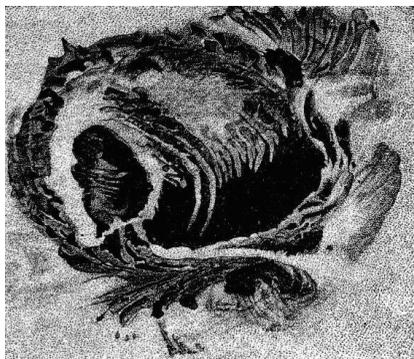


Fig. 133.

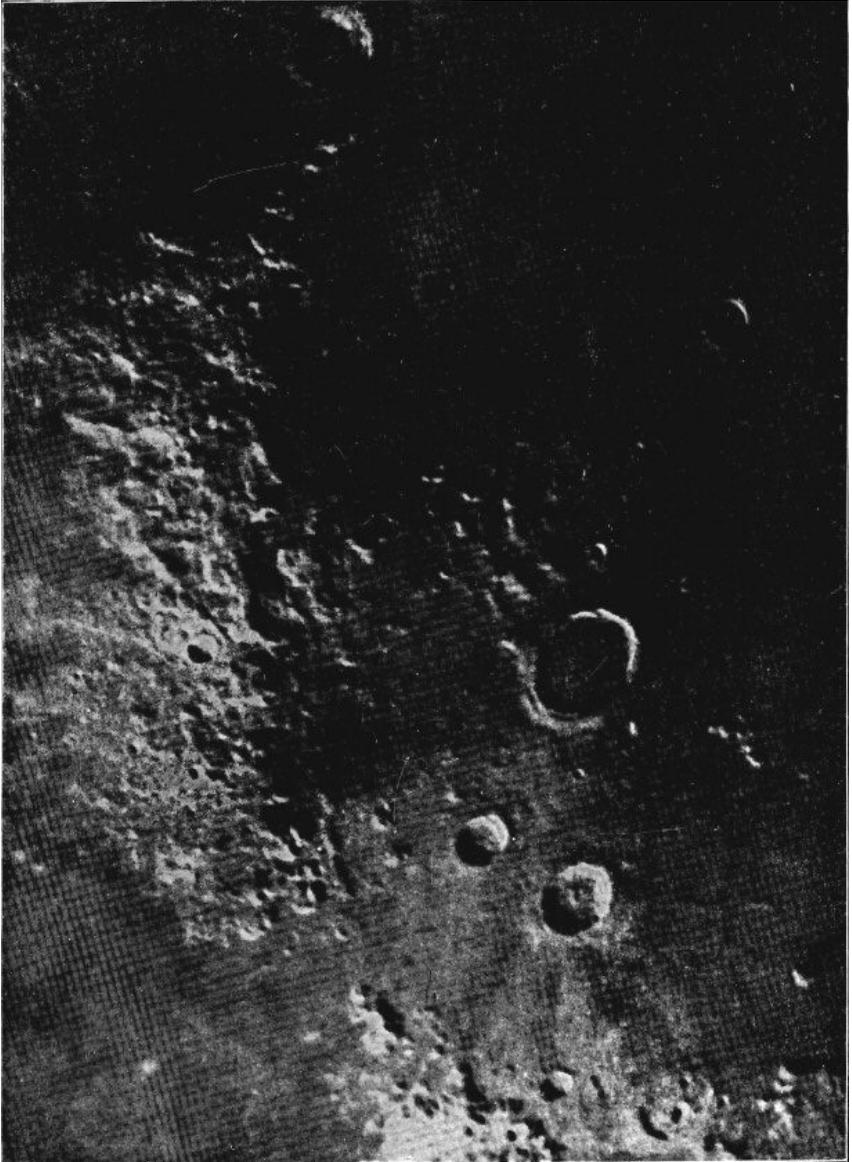
Grande macchia solare.

Questi grandiosi fenomeni alla cui giornaliera osservazione, da 150 milioni di chilometri, ci siamo assuefatti, hanno una notevolissima somiglianza con quel che avviene nella nostra atmosfera per la circolazione dell'acqua: ma lassù nell'atmosfera solare, l'intensità dei fenomeni è in ragione della altissima temperatura, e questi han carattere chimico più che fisico: in luogo di evaporazione e condensazione, si hanno dissociazioni e combinazioni, mentre nella nostra atmosfera si tratta solamente di fenomeni fisici che non vanno oltre il cambiamento dello stato di aggregazione.

Anche nell'interno della nostra Terra, in causa dell'enorme pressione degli strati sovrastanti, deve regnare una temperatura così elevata da rendere impossibile ogni combinazione chimica. Già alla profondità di 10

metri, non arrivano più le variazioni della temperatura esterna atmosferica, e il suolo ha una temperatura costante in tutto le stagioni: questa temperatura cresce poi con la profondità in ragione di circa $0,036^\circ$ per ogni metro, ossia di un grado ogni 28 metri. Questo progressivo accrescimento della temperatura varia secondo le diverse qualità di rocce per la loro differente conduttività calorifica, ed anche per il calore che le reazioni chimiche producono localmente nelle rocce stesse. Così, per esempio, è notevole la temperatura più elevata che si ha nella grotta del Vetriolo (Kupfervitrialgrotte) delle miniere di rame del Rammelsberg, in confronto alle altre gallerie che si trovano alla stessa profondità. Ivi, senza dubbio, si forma continuamente del solfato di rame per trasformazione lenta dei circostanti filoni metallici e ne risulta quel notevole sviluppo di calore. L'aumento della temperatura colla profondità non si mantiene costante, ma va diminuendo lentamente, tantochè si può ammettere, che a circa 160 Km. sotto la superficie terrestre si abbia una temperatura di 4000° , la quale probabilmente non cresce più fino al centro della Terra. Teoricamente, dunque, dovremmo ammettere che l'interno della Terra sia gassoso, però formato di gas semplici di densità maggiore di quella dei corpi solidi alla superficie, dai quali si distinguerebbero solamente perchè le loro molecole o atomi avrebbero velocità corrispondenti a quella temperatura, ma dentro gli strettissimi limiti concessi da quella straordinaria pressione. Essi avrebbero dunque una grandissima energia interna, quale i corpi solidi or-

dinariamente non mostrano, e che si estrinseca in minor proporzione nelle loro dilatazioni termiche. Con la graduale diminuzione di pressione e di temperatura, avvicinandosi verso la superficie terrestre, deve esserci un limite di profondità in cui le combinazioni chimiche cominciano ad essere possibili, e possono e devono avvenire. Le rocce cristalline primitive dell'interno della Terra possono, dunque, essersi formate non alla superficie della Terra, ma anche a grandi profondità, quando lo permise il raffreddamento progressivo della crosta terrestre verso l'interno. Nella metallizzazione molte sostanze si dilatano con forza straordinaria; e noteremo, da un simile fenomeno esser prodotti quei sollevamenti che vediamo negli strati interni. Certamente dobbiamo ricercare in questi fenomeni l'origine, almeno in parte, di quella forza che ha sollevato le prime montagne, e che anche oggi è attiva e contribuisce alla sollevazione di certe regioni. Come l'energia compressa e accumulata di certe tensioni negli strati terrestri, si estrinseca talora improvvisamente dando luogo ai cosiddetti *terremoti tectonici*, così la liberazione di tensioni chimiche, in quello strato limite di equilibrio instabile, può essere causa dei fenomeni vulcanici. Anche in quelle profondità in cui l'immensa pressione irrigidisce la materia, possono aver luogo fenomeni di circolazione simili a quelli che avvengono nella nostra atmosfera e in quella del Sole. Solamente le condizioni e le proporzioni sono immensamente cambiate.



Montagne lunari – Catena degli Appennini.
Fotografia dell'osservatorio Lick.

Anche la crosta terrestre circola, si agita, ed ha le sue tempeste, la cui durata però si misura a migliaia di secoli. Dei lenti movimenti vorticosi di queste tempeste della materia terrestre noi vediamo le vestigia nei rovesciamenti e piegamenti degli strati geologici.

g) Dilatazione dei corpi solidi.

Fino ad ora ci siamo occupati dei fenomeni calorifici dei corpi gassosi o liquidi, piuttosto che di quelli solidi. I corpi allo stato solido, non presentano proprietà termiche speciali, diverse da quelle dei liquidi e dei gas; si di-



Fig. 134. – Rottura di una sbarra di ferro per contrazione.

latano col crescere della temperatura in molto diversa misura, che per lo più diminuisce col crescere della densità, senza che tuttavia ne risulti una legge semplice e determinata. La progressiva diminuzione della libertà del movimento molecolare produce evidentemente delle complesse differenze nella struttura molecolare della materia, sulla cui natura poco ancora ci è dato conoscere.

La forza con cui avvengono le dilatazioni e contrazioni dei solidi è molto grande; e se ne può dare una prova sperimentale. Attraverso un foro praticato in una sbarra

di ferro battuto AA si passa una forte asticella S di ghisa che si fissa con le sue estremità ad un sostegno fermato sopra il banco (fig. 134). La sbarra di ferro passa con l'altra estremità traverso un foro in un altro sostegno egualmente fissato, e vi è fermata con un dado a vite, come si vede nella figura. Messa a posto la sbarra mentre è rovente, essa raffreddandosi si contrae in modo da spezzare la forte asticella di ghisa. Per produrre la stessa rottura con una pressione o trazione ci vorrebbe una forza di parecchie centinaia di chilogrammi. Una misura della dilatazione di una sbarra metallica si può avere per mezzo del *Pirometro*, nel quale la sbarra dilatandosi muove una leva sensibile di cui si può leggere lo spostamento sopra una scala graduata (fig. 135).

L'esatta conoscenza della dilatazione dei corpi solidi è di grande importanza in molte occorrenze della vita pratica, nelle costruzioni edilizie, nella fabbricazione delle macchine e degli stru-

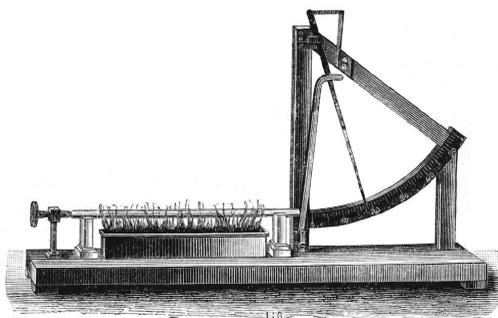
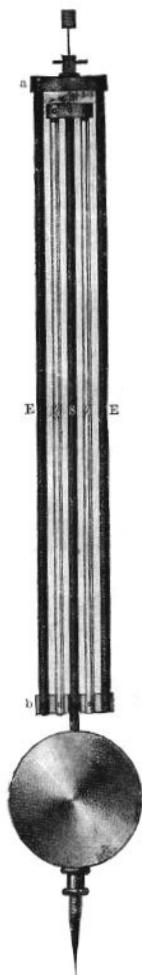


Fig. 135. – Dilatazione dei metalli.

menti scientifici. Essa ha un'importanza assoluta e veramente capitale nella scienza delle misure, da cui dipende l'esatta nostra conoscenza delle leggi di natura; perchè le nostre unità di misura variano con la temperatura, ed è assolutamente necessario conoscer la legge di queste variazioni. L'errore commesso nella determinazione

di un dato coefficiente di dilatazione può influire enormemente su tutte le misure, così degli impercettibili movimenti dell'etere, come di quelli enormi dei corpi celesti. L'uomo di scienza ha da combattere continuamente con una quantità di errori che, nonostante la giustezza delle sue teorie, rendono sempre imperfette e incomplete le sue cognizioni. Ecco i coefficienti di dilatazione di alcune sostanze, allo stato solido, a circa 40°:



Diamante	0,000.00 118	Acciaio	0,000.01 095
Litane trace	0,000.02 752	Stagno	0,000.02 234
Iridio	0,000.00 683	Piombo	0,000.02 924
Platino	0,000.00 905	Zinco	0,000.02 918
Oro	0,000.01 443	Alluminio	0,000.02 313
Argento	0,000.01 921	Magnesio	0,000.02 694
Rame	0,000.01 690	Zolfo	0,000.06 413
Ferro	0,000.01 210	Paraffina	0,000.27 854

I coefficienti di dilatazione indicano di quanto aumenta la lunghezza di una sbarra o prisma delle diverse sostanze, per

Fig. 136. – Pendolo a compensazione.

La dilatazione dei corpi puramente solidi, in questi materiali, è variabile con il coefficiente di dilatazione. A questi corpi appartengono il Platino ed il metallo raro Iridio. Una lega dei due metalli, in una certa proporzione, ha il coefficiente più costante che qualunque altro corpo. Questa proprietà è preziosa per la costruzione di strumenti o di campioni di misura. Per questo i prototipi del metro e del chilogrammo, che nell'ufficio internazionale delle misure devono per sempre conservarci le nostre fondamentali unità di misura, son fatti di questa lega di platino e iridio.

La dilatazione dei corpi segue certamente una legge generale, che però si nasconde a noi, più o meno, dietro alle proprietà specifiche di ciascuna sostanza. Secondo le nostre teorie della materia, tutte le varie sostanze non sono che varii aggruppamenti degli atomi elementari di una sostanza primitiva e fondamentale, priva di per sè di proprietà. Vedremo nello studio dei fenomeni chimici, come queste costruzioni di atomi debbano essere complicate. Non c'è dunque da meravigliarsi, se le varie sostanze, riguardo ai movimenti del calore, presentano proprietà che noi teoricamente non possiamo ancora prevedere e ridurre a semplici rapporti numerici. Come esempio dell'importanza grandissima che nelle applicazioni scientifiche ha la conoscenza della dilatazione dei corpi solidi, vogliamo ricordare di nuovo il *pendolo a compensazione* (fig. 136). Esso consta di 5 asticelle parallele di cui 3 sono di ferro e 2 di zinco. Due delle asticelle di ferro E E, sono direttamente collegate, per mez-

zo della traversa a , col punto d'attacco del pendolo, e portano poi al di sotto, presso la lente, un altro pezzo trasversale b al quale sono fissate le due asticelle di zinco $Z Z$; queste, a loro volta, sorreggono superiormente, per mezzo della traversa c , la terza asticella di ferro S , che attraversa per mezzo di un foro il pezzo b e porta la lente. Se, per la dilatazione si allungano le asticelle $E E$, il pezzo b portato in basso, farebbe abbassare anche c , e con esso l'asta S e la lente, se le asticelle $Z Z$ dilatandosi non lo riportassero in alto. Si può regolare la lunghezza delle asticelle, in modo che l'allungamento delle aste di ferro E e S uguagli quello delle asticelle di zinco, cosicchè la distanza della lente dal punto di attacco, ossia la lunghezza del pendolo, resti invariata. Una semplice considerazione ci indica che questa uguaglianza ha luogo se si ha $E + S = fZ$ in cui f rappresenta il rapporto tra i coefficienti di dilatazione dello zinco e del ferro, che è 2,41. La lunghezza dell'asticella media S , e quella delle due laterali E , devono dunque, insieme, fare 2,41

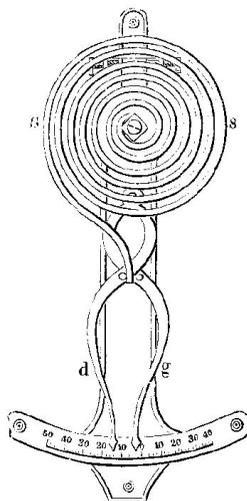


Fig. 137. – Termometro metallico.

volte quella delle aste di zinco, perchè il *pendolo* sia esattamente compensato.

Se si saldano insieme, sovrapponendole, due stri-

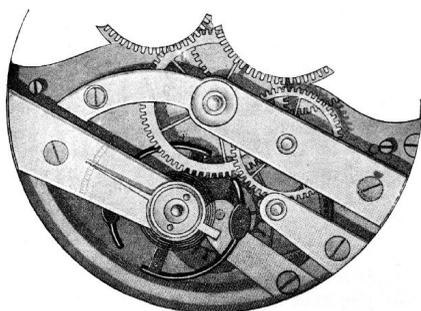


Fig. 138. – Orologio a molla con bilanciere.

scie di metalli diversi che abbiano differenti coefficienti di dilatazione, avverrà che esse si piegano quando cambi la temperatura; crescendo la temperatura, il metallo più dilatabile sarà dalla parte convessa della superficie, che è più estesa di quella interna concava; il contrario avverrà diminuendo invece la temperatura. Questa deduzione ha condotto alla costruzione dei termometri metallici, nei quali la dilatazione, o contrazione, di una spirale *S* muove o l'una o l'altra delle due lancette *d g*, le quali segnano la temperatura e marcano poi le temperature estreme (fig. 137). Coll'impiego di tali strisce bi-metalliche applicate al bilanciere degli orologi a molla, si compensano le influenze della temperatura sul movimento (fig. 138).

I coefficienti di dilatazione della precedente tabella si riferiscono (fatta eccezione del diamante, che vi è compreso solo per il confronto col litanttrace) allo stato *amorfo*, cioè non cristallizzato, delle rispettive sostanze. Già l'esempio del diamante, dimostra che nello stato cristallino, si ha, per la stessa sostanza, una dilatazione essenzialmente diversa.

Anzi, la dilatazione è diversa perfino nello stesso cristallo, secondo le direzioni, e i rapporti sono, naturalmente, tanto più complessi quanto più complicata è la

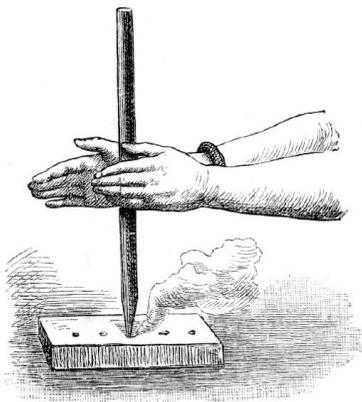


Fig. 139. – Calore generato dall'attrito.

forma geometrica.

Riportiamo qui anche i coefficienti di dilatazione dei tre liquidi più importanti per la termometria, cioè alcool, acqua e mercurio, con le variazioni dovute alla temperatura.

Limiti di temperatura		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
		0,00	0,00000	0,000000
Alcool	da -33° a $+78^{\circ}$	+ 10486301	+ 17510	+ 0134
Acqua	da 0° a 25°	- 0061045	+ 77183	- 3734
	da 25° a 50°	- 0065415	+ 77587	- 3541
	da 50° a 75°	+ 0059160	+ 31849	+ 0728
	da 75° a 100°	+ 0086450	+ 31892	+ 0245
Mercurio	da 0° a 350°	+ 01790066	+ 00252	—

La dilatazione è data dalla formula $V_t = V_0 (1 + at + bt^2 + ct^3)$ dove *a*, *b*, *c*, corrispondono alle cifre riportate sotto a queste lettere, nella precedente tavola, le quali si devono aggiungere, come frazioni decimali, agli zeri che si trovano in testa alle colonne. I valori per l'alcool sono stati trovati da Pierre, quelli per l'acqua da H. Kopp, quelli del mercurio da Regnault. In via eccezionale, abbiamo qui riportato queste cifre di estrema esattezza, per dare un esempio della precisione colla quale si procede nella fisica moderna.

Dall'ultima riga di numeri risulta che il mercurio ha un coefficiente di dilatazione molto grande, che è soggetto solamente a piccola variazione col cambiare della temperatura; perciò tale liquido si adatta in maniera ec-

cellente alla misura delle temperature.

h) Conduzione ed irraggiamento.

Per ottenere i fenomeni termici finora studiati, dovremmo comunicare ovvero sottrarre calore ai diversi corpi. E per ciò fare bisogna valersi di sorgenti calorifiche che sono di varia natura, poichè quasi ogni forma di energia naturale, può come movimento, essere trasformata in calore. Abbiamo veduto, innanzi tutto, che si genera calore per mezzo della pressione ed è noto che questo può prodursi anche per mezzo dell'attrito. Gli uomini primitivi usavano questo sistema per accendere il fuoco, ed oggi ancora sono in uso, in qualche posto, gli *accenditori ad attrito* (fig. 139).

Anche i nostri fiammiferi devono essere sfregati per ottenere la temperatura alla quale può cominciare il processo chimico che genera l'accensione; e dopo, la temperatura sale rapidamente per la combustione. Dall'osservazione, che anche l'attrito fra due pezzi di ghiaccio, a temperature molto inferiori a 0° , produce calore fino a portarli alla fusione, furono tratte importanti considerazioni teoriche. Se il calore fosse una specie di fluido come prima si credeva, il contatto di due corpi freddi, per quanto essi possano compenetrarsi scambievolmente, non potrebbe mai produrre una temperatura più alta di quella che i corpi stessi possiedono. Come importanti sorgenti di calore, noi conosciamo ancora le reazioni chimiche; ed è universalmente noto, che anche l'elettri-

cità può generare grandi quantità di calore. Ma, nella maggior parte dei casi, avviene che un corpo si riscalda togliendo calore a quelli con cui esso si trova in contatto immediato o non immediato: il calore passa naturalmente dai corpi caldi a quelli freddi.

Questo passaggio del calore da un corpo all'altro fece considerare il calore, secondo le antiche teorie, come un fluido. Il calore realmente si comporta, a questo riguardo, quasi come l'acqua che si può far passare, con una certa data pressione, attraverso uno strato poroso. La velocità dell'efflusso dell'acqua, da un recipiente più alto ad uno più basso, dipende, prima di tutto dalla differenza di livello dei due recipienti, poi dal grado di porosità del filtro e finalmente dalla sua sezione. Ugualmente si osserva, che la velocità colla quale le temperature di diversi corpi messi in contatto tra loro, si uguagliano, dipende innanzi tutto dalla loro differenza di temperatura, che si chiama anche dislivello termico; poi dalle qualità particolari dei corpi (conduttività o permeabilità per il calore); ed in terzo luogo, dalla grandezza della loro superficie di contatto. Se poi il calore deve solamente traversare una data sostanza, allora anche le dimensioni di questo strato che fa da *filtro*, ossia il suo spessore, ha pure una certa influenza.

Secondo i nostri concetti, si può comprendere che la velocità con cui il calore traversa una lastra metallica che separa acqua calda da acqua fredda, dipenda dalla differenza di temperatura delle due masse d'acqua, perchè per noi il grado di temperatura significa il grado del-

la velocità molecolare. E questa differenza di velocità corrisponde ad una differenza di pressione dovuta agli urti delle molecole. Che, inoltre, il numero delle molecole dello strato conducente e la sua superficie e il suo spessore abbiano influenza sulla velocità di conduzione, si può pure intendere, perchè tutte queste molecole devono in primo luogo essere messe in movimento, per poter agire sul movimento di quelle altre molecole alle quali deve essere comunicato il calore. Finalmente, la composizione atomica delle molecole deve pure essere considerata, poichè è questa che determina la resistenza che le molecole oppongono all'azione degli urti. Si può dunque concluderne, che dovrebbe aversi una certa relazione tra la conduzione del calore e la capacità calorifica, ossia il calorico specifico. Per i fluidi, infatti, presso a poco è così. Ma per i solidi entra in azione anche l'attrito interno che cresce con la densità. Anche qui il fenomeno è complesso; e chi esamini le seguenti cifre date dall'esperienza, vi intravede una legge, la cui precisa espressione tuttavia resta celata dietro a condizioni speciali che a noi sfuggono.

Ecco alcune misure della *conduttività* dei varî corpi: questi numeri indicano quante calorie passano in un secondo, per un centimetro quadrato di superficie, attraverso uno strato di un centimetro di spessore, essendo di un grado la differenza di temperatura fra le due faccie.

Argento	1.096
Rame	0.680

Zinco	0.280
Ferro	0.152
Piombo	0.078
Mercurio	0.016
Acqua	0.00124
Alcool	0.00049
Idrogeno	0.000332
Ossigeno	0.000056
Azoto	0.000052
Anidride carbonica	0.000032

Da queste cifre vediamo, che generalmente la capacità di conduzione del calore diminuisce insieme con la densità dei corpi. Il che appare evidente anche di per sè stesso, poichè per poter meglio condurre il calore deve aversi in un dato volume maggior quantità di materia. Ma anche qui vi sono delle eccezioni: per esempio, l'idrogeno conduce meglio dell'ossigeno, benchè quest'ultimo sia molto più denso.

Ma, in ogni modo, la minore conduttività per il calore l'hanno i gas. Perciò l'atmosfera agisce come un mantello riscaldatore per i viventi alla superficie della Terra ed è quindi una necessaria condizione per il mantenimento della vita. Una gran parte del calore solare è assorbito e trattenuto nell'atmosfera, che con la sua circolazione mantiene il necessario equilibrio di calore fra il giorno e la notte, fra le varie stagioni dell'anno, e compensa le disuguaglianze climatiche fra le varie regioni, e fra il mare e la terra ferma.

Inoltre, l'atmosfera non lascia facilmente ritornare indietro il calore che il sole ha irradiato sul terreno, e che questo, come miglior conduttore dell'aria ha rapidamente assorbito.

Ben diverse, invece, sono le condizioni sulla Luna, la quale possiede un'atmosfera estremamente rarefatta. Sulla Luna, come è noto, il giorno e la notte hanno la durata di 14 dei nostri giorni, e per l'irradiazione solare durante questo lungo giorno il terreno deve là giungere ad altissima temperatura che certamente rende impossibile qualsiasi sviluppo di vita su di essa. Dopo il tramonto poi, a questo forte calore subentra molto probabilmente un intensissimo freddo che deve andare vicino allo zero assoluto. Tali estreme temperature non possono consentire alcuna forma di vita. Come già avemmo occasione di ricordare (p. 186), per la sublimazione del ghiaccio, e durante il giorno per l'evaporazione dell'acqua, deve verosimilmente anche sulla Luna formarsi un'atmosfera con piccolissima pressione; e in parte conservarsi almeno localmente, per esempio nei bassissimi delle valli (fig. 140), dove la pressione atmosferica deve essere relativamente più alta, e addolcire un poco quelle temperature estreme; ed infatti, in queste regioni, si è creduto di osservare tracce d'una vegetazione verde che apparisce per poco al sorgere del sole, ma che poi nel corso del lungo giorno sparisce di nuovo, arsa probabilmente dal calore solare; una vegetazione certamente meschinissima, la cui vita è appena di qualche giornata.

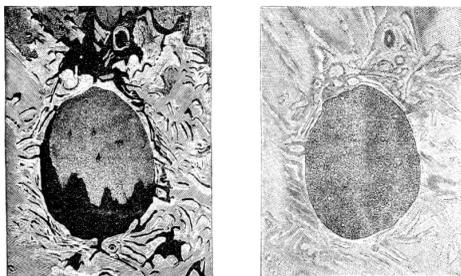


Fig. 140. – Depressioni sulla Luna.

Di mezzo tra quelle della Luna e quelle della Terra sono le condizioni di Marte. Questo pianeta possiede un'atmosfera la cui pressione forse è uguale alla metà di quella che domina da noi, ma che lo protegge un poco dalle estreme temperature delle opposte stagioni. Perciò noi vediamo, per mezzo dei nostri telescopi, che là, nell'inverno, perfino all'Equatore cade qualche volta la neve, mentre, invece, nell'estate anche il polo ne è quasi completamente sgombro. Che i raggi del Sole penetrino più facilmente nell'aria rarefatta, lo sanno per esperienza i viaggiatori alpini, che, nelle regioni delle nevi perpetue, si trovano ad avere scottate dal sole le mani ed il viso, cioè le parti più direttamente esposte alla irradiazione.

Dalle cose precedenti si potrebbe dedurre che lo spazio vuoto non può condurre affatto il calore, e che quindi esso deve essere per il calore una barriera insuperabile: ma ciò è in contraddizione colla realtà, dei fatti di tutti i giorni. In ogni istante un'immensa quantità di calore arriva a noi dal Sole; e solamente per questo fortissimo dislivello di temperatura tra il Sole e la Terra, è mantenuta in movimento circolatorio la nostra atmosfera e resa possibile tutta l'attività vitale del mondo organico. Tuttavia, ci divide dal Sole un immenso spazio vuoto di materia e occupato solo da quell'etere cosmico,

ossia da quegli atomi originari che, secondo la nostra teoria, producono la forza di gravità, e come ora vedremo nel prossimo capitolo, propagano anche la luce. Essi devono anche condurre il calore, come difatti ci portano quello del Sole.

Se noi poniamo in un recipiente, in cui sia fatto il vuoto, due corpi a differente temperatura, in modo che non si tocchino e non possano ricevere calore dall'esterno, vediamo che essi a poco a poco eguagliano le loro temperature, precisamente come se fossero circondati da aria, da acqua, o da qualunque altra sostanza conduttrice. Ha luogo dunque attraverso lo spazio vuoto una *irradiazione del calore*. Secondo le teorie moderne, questa irradiazione del calore è trasmessa per mezzo delle vibrazioni dell'etere, nello stesso modo della luce, che studieremo nel prossimo capitolo. Secondo le idee fin qui seguite sopra il meccanismo delle forze naturali, dobbiamo raffigurarci il processo di irradiazione, come dovuto agli atomi dell'etere, che urtando contro le molecole dei corpi sono da queste respinti da ogni parte, come già dovemmo ammettere per spiegarci la gravitazione. Ora la molecola che si trova in stato di vibrazione calorifica deve comunicare questo movimento all'etere, generando in esso movimenti che si trasmettono in tutte le direzioni come le onde sonore nell'aria.

E il movimento eterico si trasmette poi alle molecole degli altri corpi, mettendole in vibrazione, e si comprende, quindi, come il calore, anche sotto questa forma, cioè per irradiazione, tenda ad eguagliarsi nei corpi.

Da ogni corpo si partono sempre radiazioni, a meno che esso non sia raffreddato fino allo zero assoluto; e questa irradiazione del calore va di pari passo in tutti i fenomeni con l'irradiazione della luce. Un aumento della velocità di vibrazione delle molecole oltre un certo limite, rende i corpi *luminosi*. Questo limite per i corpi solidi, qualunque sia la loro composizione chimica, si trova a circa 525° , che è la temperatura a cui comincia il calore rosso; tra 800° e 1000° tutti i corpi prendono un color rosso ciliegia che assume una tinta aranciata chiara fino a 1200° ; e finalmente si passa all'incandescenza completa, cioè al *calore bianco*, che dà la massima potenza luminosa, a 1500° - 1600° . Una esatta determinazione del colore di un corpo incandescente può dunque servire a conoscerne la temperatura.

Si potrebbe pensare che i corpi da 525° in là comincino, accanto alle radiazioni calorifiche, ad emanare anche quelle luminose, cosicchè si tratterebbe di due specie di radiazioni di natura diversa che da quel momento si produrrebbero unitamente. Questa era pure la vecchia teoria: ma in realtà *luce e calore raggianti* sono un medesimo fenomeno, un medesimo movimento degli atomi originari, che è percepito da noi come calore sui nervi della nostra pelle, e poi, per una maggiore rapidità di vibrazione, come sensazione luminosa sulla nostra retina. Dovendoci nel prossimo capitolo occupare delle proprietà della luce, vogliamo qui presentare un quadro sintetico della proprietà del calore raggiente.

È noto, che mediante lo spettroscopio si può scom-

porre la luce di una qualsiasi sorgente luminosa nei singoli colori semplici che la compongono. La luce di un corpo incandescente ci mostra quivi tutti i colori dell'arcobaleno. Da ciò si deduce che un corpo riscaldato sempre più, a partire dal color rosso, emette tutti i colori dell'iride fino a divenire bianco. Perciò noi possiamo ammettere, che anche le radiazioni calorifiche di un corpo incandescente siano composte dalle lunghezze d'onda corrispondenti a tutti questi colori. Ora, ci sono corpi che lasciano passare e rifrangono raggi calorifici, come il cristallo quelli luminosi; o meglio, poichè raggi calorifici e luminosi sono identici, corpi che con la rifrazione separano, deviandoli, raggi di tutte le specie. Perciò si può avere anche uno *spettro del colore*. Le ricerche si fanno con strumenti di straordinaria sensibilità termica, la pila termoelettrica, o il *bolometro*, che descriveremo più tardi perchè fondati sopra certi effetti dell'Elettricità.

Noi riproduciamo nella Tavola III lo spettro del calore solare ottenuto per mezzo di questi strumenti dal LANGLEY, fisico e astronomo, illustre che ci ha lavorato 20 anni. A sinistra si vede lo spettro luminoso visibile traversato da linee oscure, le *linee d'assorbimento*, la cui importanza impareremo a conoscere trattando della luce.

Dove, nello spettro luminoso, sono queste linee d'assorbimento, si ha anche forte diminuzione dell'effetto calorifico. Lo spettro del calore concorda in tutte le sue particolarità con quello della luce, ma il primo è rispetto

all'altro molto più lungo; e ciò dipende dall'aver i raggi calorifici lunghezze d'onda molto inferiori a quelle del color rosso. La linea A che segna l'estremo limite rosso dello spettro luminoso, ha una lunghezza d'onda di circa 0,0008 mm: ma il LANGLEY potè misurare nei raggi calorifici lunghezze d'onda di 0,005 mm., le ultime, a destra, nella nostra tavola.

Se con queste lunghezze d'onda finisce per noi, per ora, lo spettro del calore, dipende solo perchè l'effetto calorifico delle radiazioni inferiori non può più essere avvertito dagli strumenti di osservazione di cui disponiamo oggi. In realtà, le molecole dei corpi vibrano a tutte le temperature, e debbono quindi dare onde di tutte le dimensioni, fino ad una infinita lunghezza, quando ci si avvicini allo zero assoluto di temperatura. Lo spazio è dunque traversato da onde eteree lunghe non solo metri ma anche chilometri, le quali debbono pure produrre i loro speciali effetti.

In queste lunghezze d'onda se ne troveranno, perciò, anche delle dimensioni delle onde sonore. Ma si può subito dire, che sarebbe completamente in errore chi volesse dedurne la possibilità di eventuali rapporti tra suono e calore. Le onde sonore sono movimenti vibratorii delle molecole d'aria, mentre le onde luminose e calorifiche sono vibrazioni dell'etere, che passano liberissimamente attraverso le molecole dell'aria. I due movimenti avvengono indipendentemente, in due mezzi affatto diversi: tuttavia devono esistere fra essi rapporti, poichè ve ne sono tra i due mezzi. Le vibrazioni dell'a-

ria si devono trasmettere all'etere come le vibrazioni calorifiche dei corpi; e il suono deve produrre calore raggianti, ma così poco che non possiamo apprezzarlo.

D'altra parte, le vibrazioni sonore sono certamente paragonabili a quelle delle molecole, che definiscono per noi la temperatura dei corpi. Ma le prime avvengono in sistemi materiali estesi e complessi, nei quali tutte in una volta, per mezzo dei corpi sonori eccitatori, vengono poste in movimenti grandi masse d'aria, mentre le vibrazioni del calore restano limitate nei confini delle molecole. Certamente, un aumento della velocità delle vibrazioni sonore nei corpi solidi deve condurre ad un limite, in cui la piccolezza della lunghezza d'onda generata presenta come un punto di passaggio fra le vibrazioni sonore e quelle calorifiche, in cui perciò il suono diventa calore. In una certa misura questo si osserva anche in condizioni normali, poichè le condensazioni sonore producono calore, ed una parte dell'energia dal suono comunicandosi all'aria si trasforma in calore, che per la rapidità del succedersi delle onde sonore non può equilibrarsi. Ma esso però reagisce in una certa maniera sulla velocità del suono, accrescendola alquanto, rispetto a quella che risulterebbe dalla semplice velocità molecolare dei gas. L'aumento dipende dal rapporto dei due calorigi specifici dell'aria che risulta 1,41, come già abbiamo veduto.

Tutti i fenomeni del suono, meno quelli di natura fisiologica, li ritroviamo nel calore raggianti e li studieremo più a fondo trattando della luce. Tutte le specie di

movimenti ondulatorî devono, per quanto riguarda i loro effetti meccanici, avere uguali proprietà. Dagli stessi specchi che riflettono il suono viene anche riflesso il calore. Se nel fuoco di uno degli specchi concavi che ci han servito (fig. 96) per l'esperienza coll'orologio, mettiamo una sorgente di calore, ovvero facciamo scoppiare una scintilla elettrica, e nel fuoco dell'altro specchio coniugato poniamo un po' di cotone fulminante, questo si accende (fig. 141).

La parola *fuoco* deriva appunto da questo fatto. Anche il calore, come il suono, è meglio riflesso dai corpi levigati e lucidi che da quelli ruvidi; ma, per il calore, in ragione della maggior sottigliezza del mezzo di conduzione, la parola *ruvido* è da intendersi in un senso più fine. Una superficie velata di fuliggine è per i raggi calorifici e luminosi perfettamente ruvida, poichè assorbe tutti i raggi, che riceve, e non ne riflette alcuno. Un corpo che assorbe tutti quanti i raggi calorifici si dice perfettamente nero. Anche l'interferenza si osserva, come per il suono, dove due sistemi di onde, differenti di mezza lunghezza d'onda, si incontrano, annullandosi.

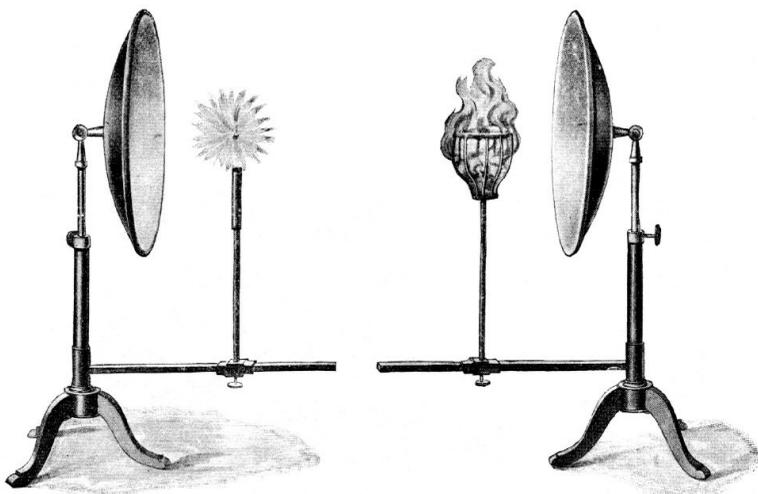


Fig. 141. – Riflessione del calore raggiante.

Fra calore e luce vi sono altri rapporti, ma generalmente troppo fini per essere direttamente percepiti e osservati. I raggi calorifici e luminosi possono traversare quasi senza ostacolo un certo numero di sostanze. Riguardo a quelli luminosi, i corpi si dividono in trasparenti ed opachi; per il calore si adoprano le corrispondenti parole di corpi *diatermani* o *atermani*. Ma la diversa permeabilità delle sostanze per questi raggi produce una deviazione nella loro direzione; i raggi sono *rifratti* secondo il grado di densità delle sostanze trasparenti ed anche secondo la lunghezza d'onda dei raggi. Tutto questo impareremo meglio trattando della luce; ma vogliamo ora far vedere che nonostante l'identità dei raggi calorifici con quelli luminosi, non tutti i corpi trasparenti sono anche diatermani. Una mescolanza di iodio con solfuro di carbonio è quasi affatto opaca, ma

però lascia passare i raggi calorifici oscuri, quelli cioè che non appartengono allo spettro luminoso, e che si indicano col nome di raggi infrarossi. Il ghiaccio, invece, lascia passare solo pochissimi di questi raggi ed è perciò permeabile alla luce ma non al calore. A tutte le radiazioni è permeabile il salgemma; e si adoprano prismi di questa sostanza per ottenere uno spettro del calore della maggior ampiezza possibile. Altri fenomeni, come l'uguaglianza del potere *emissivo* e *assorbente*, sono perfettamente concordanti per il calore e per la luce; ma con questa sono molto più chiari e facili ad osservare, e perciò ci riserviamo di trattarne nell'ottica.

Qui, però, sarà interessante di misurare la potenza dell'irradiazione luminosa e calorifica che dal Sole si riversa sopra la nostra Terra. Si è trovato, che un cent. quadrato di un corpo nero, esposto perpendicolarmente ai raggi del sole, fuori della nostra atmosfera, in un minuto riceve circa 3 calorie. Questa quantità di calore trasformata in lavoro, potrebbe inalzare in un minuto 1 gr. d'acqua ad un'altezza di tre volte 428 m., ossia quasi all'altezza delle nubi. Facendo il calcolo, per tutta la Terra, troviamo l'energia di 30.000 milioni di cavalli vapore. Circa la metà di questa forza serve alla macchina atmosferica per mantenere la sua circolazione: l'altra metà arriva alla superficie terrestre per riscaldarla, e produce tutti i fenomeni della vita terrestre, alle cui meravigliose manifestazioni noi siamo abituati. I più importanti spettacoli naturali, come la cascata del Niagara (fig. 142), che sviluppa la potenza di circa 17 milioni di

cavalli, non rappresentano che una minima frazione di quest'energia solare che continuamente si riversa su noi; di questa energia una parte assai piccola è utilizzata dall'uomo, col lavoro ottenuto dalle acque cadenti, mediante tubi che le guidano alle turbine, ove servono specialmente alla produzione di energia elettrica.

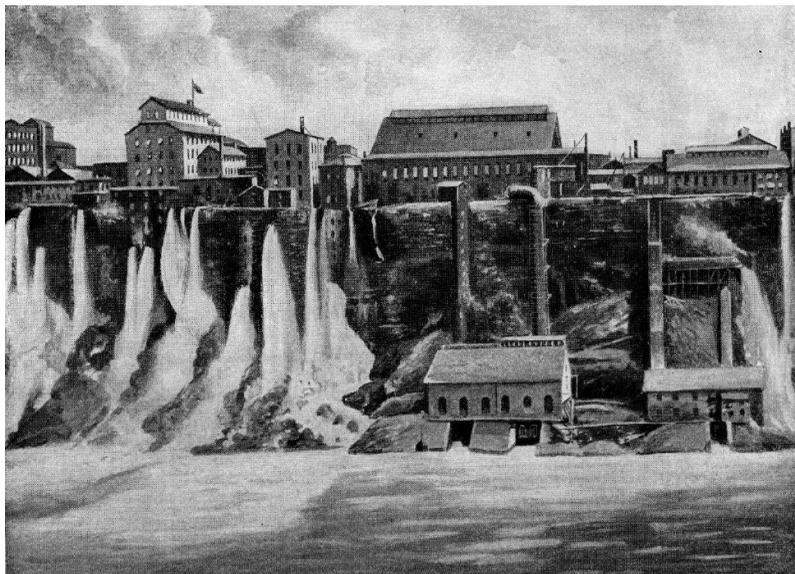


Fig. 142. – Impianti idro-elettrici sul Niagara.

Si è pensato di confrontare la quantità di calore irradiata dal sole a 148 milioni di chilometri di distanza, col calore irradiato da un corpo di conosciuta temperatura, e così calcolare la temperatura del Sole. Ma una soluzione soddisfacente di questo problema manca ancora per le grandi difficoltà sperimentali e teoriche, che si incontrano nelle esperienze relative a temperature così alte. I risultati oscillavano, fino a poco tempo fa, tra limiti molto

ampii, cioè da 5000 fino a 10 milioni di gradi. Oggi, con maggior fondamento si crede che la temperatura della superficie del sole sia fra 6000° e 8000° .

Ma di tutta l'energia irradiata dal grande astro centrale del nostro sistema non giunge alla Terra, lo abbiamo già detto al principio di questo capitolo, che una infinitesima frazione, la 2725 milionesima parte: parti egualmente piccole spettano agli altri pianeti. Tutto il resto pare che si disperda nel vuoto spazio celeste senza compiere alcun lavoro. Ma realmente tutto il calore irradiato dal Sole deve, dovecchessia nell'Universo, incontrarsi in un'altra stella o in altro qualunque ammasso di materia e comunicargli la propria energia. Non solo davanti ai nostri occhi e nel ristretto campo terrestre, ma fino all'infinito negli sterminati spazi celesti, le temperature tendono ad equilibrarsi. Dappertutto, le vibrazioni delle molecole per le loro interne collisioni devono diminuire di ampiezza, e le temperature devono abbassarsi, e diminuire la facoltà di lavoro meccanico esterno, mentre aumentano le forze molecolari interne. Dappertutto si ha una corrente di forza viva fino a che vi ha differenza di temperatura. L'energia totale dell'Universo rimane la stessa, conforme al sovrano principio della conservazione dell'energia, ma ne cambiano intimamente le forme, e in una certa direzione. In Termodinamica si indica questo dicendo, che l'Entropia dei sistemi tende a crescere. Abbiamo già accennato a queste leggi, ma ci ritorneremo, dopo conosciute tutte le forme dell'energie naturali.

8. – La luce.

Più immediatamente e palesemente che il calore, all'osservatore della Natura, o che spinga lo sguardo verso i confini dello spazio o lo volga intorno a sè sulle cose comuni che ci circondano, o se anche, in spirito, penetri nelle inaccessibili profondità dei mari, appare manifesta la universale potenza della luce, che dal sole e dalle stelle traversando l'Universo giunge alla nostra Terra, apportatrice di vita e di gioia. Unita indissolubilmente al calore, de' cui effetti, anzi, essa rappresenta una parte, la luce è una condizione essenziale della vita. Dove il sole non può penetrare coi suoi raggi benefici, come nelle profondità oceaniche, la Natura crea la luce col fornire alle sue creature organi luminosi. E se pure vi sono esseri infelici che pur possono vivere senza luce, anche la possibilità della loro esistenza dipende dalla misteriosa, attività della luce. Anche le piante vivono di luce; per essa si forma la clorofilla, onde è di nuovo dall'anidride carbonica liberato l'ossigeno che ha servito alla vita degli animali. Se il sole si estinguesse, noi saremmo certamente destinati a morire di asfissia, per progressiva mancanza d'ossigeno.

Anche i lontanissimi soli che al nostro sguardo appaiono come punti senza diametro, irradiano luce verso di noi. Di tutti i fenomeni della Natura, questo è il più diffuso e penetrante, quello che più colpisce i nostri sensi. Per stabilire i limiti del campo che ora vogliamo trattare a proposito della luce, non abbiamo bisogno di alcuna

spiegazione indiretta, come fu necessario per il calore, per il quale la facoltà di percezione diretta dei nostri organi è molto limitata. In seguito troveremo anche alcuni fenomeni che l'occhio non avverte come luce, sebbene, tranne l'azione fisiologica, abbiano tutte le altre proprietà della luce visibile: ma si tratta sempre di un campo molto ristretto.

Il nostro occhio, del quale ora dobbiamo servirci, è uno strumento ottico e lo abbiamo già veduto nell'Introduzione: potrebbe perciò nascere il sospetto che nelle nostre ricerche ci accada di considerare come proprietà generali della luce, le proprietà specifiche dell'occhio, poichè non abbiamo altro mezzo di osservazione che questo. Rispetto a tale questione ricordiamo di avere già nell'Introduzione stabilito, che tutte le nostre osservazioni fondamentali per la ricerca delle leggi fisiche sono fondate sul metodo delle coincidenze, nel quale l'occhio non ha alcun'altra proprietà che quella di un finissimo organo sensitivo: le deduzioni e conclusioni si formano poi logicamente.

Dell'occhio come strumento ottico e delle sue proprietà speciali discorreremo più tardi, dopo avere acquistato un certo numero di conoscenze intorno alla luce.

a) La propagazione rettilinea della luce.

La più comune tra le esperienze sulla luce è quella che ne mostra la sua propagazione in forma di raggi. È come se dal punto luminoso fosse proiettato in tutte le

direzioni, in linea retta, qualche cosa che produce nei nostri occhi l'impressione della luce e ci rende visibili tutti gli altri corpi di per sè oscuri, quando ne siano investiti. Questa propagazione rettilinea è dimostrata, indubbiamente, dalle forme delle ombre che si disegnano dietro i corpi opachi. I limiti delle aree d'ombra sono sempre formati dalle tangenti che si possono tirare dalla sorgente luminosa agli orli dei corpi opachi. Per tracciare il contorno delle ombre, date certe condizioni di luce, non occorre la conoscenza di alcun'altra proprietà della luce, che non sia questa unica della propagazione rettilinea, e diventa una questione puramente geometrica e non più fisica. Pertanto, sarà necessario, per render meglio comprensibile quello che seguirà, occuparsi di questa *ottica geometrica*.

Uno dei compiti più importanti di questa è la predizione delle circostanze speciali delle eclissi di Sole o di Luna. Se la Terra passa tra il Sole e la Luna, noi vediamo quest'ultima entrare lentamente nell'ombra del nostro pianeta e poi uscirne. Se vogliamo determinare esattamente l'istante dell'entrata e dell'uscita, noi dobbiamo, oltre ad avere le cognizioni astronomiche sulla posizione, grandezza e movimenti di questi corpi, conoscere anche con precisione la forma dell'ombra che i corpi celesti oscuri proiettano nello spazio.

Se il Sole

fosse solamente un punto luminoso, il pro-

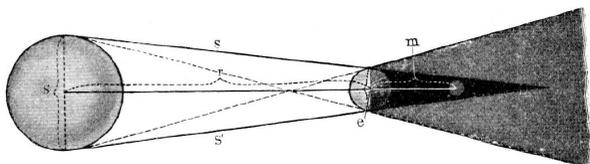


Fig. 143. — Ombra e penombra della Terra.

blema sarebbe prontamente risolto costruendo un cono la cui punta fosse sul Sole e la cui superficie circondasse tangenzialmente il corpo oscuro che, nel caso di un'eclisse di Luna, sarebbe la Terra. Il prolungamento di questa superficie circoscrive l'ombra terrestre la cui estensione alla distanza della Luna si può facilmente calcolare. Ci occorre solo di conoscere, riferendoci ad una data unità, le distanze dei tre corpi tra loro e la grandezza della Terra. Il raggio della Terra sia eguale ad 1, la sua distanza dal Sole sia r , quella dalla luna m . Noi troveremmo allora con un semplice calcolo geometrico, che l'ombra terrestre alla distanza della Luna è $1 + \frac{m}{r}$.

Il rapporto $\frac{m}{r}$ per i nostri due corpi celesti è $= \frac{1}{387}$ e di tanto dovrebbe dunque il diametro dell'ombra della Terra, alla distanza della Luna, essere maggiore del diametro terrestre. Ma in realtà non avviene così. Dalla curvatura del limite d'ombra che si proietta sulla Luna in un'eclissi lunare, si può facilmente trovare il diametro di quest'ombra, in parti del diametro apparente della luna e anche in parti del reale diametro terrestre. Dalle osservazioni fatte risulta, che l'ombra terrestre misura solo $\frac{4}{3}$ del diametro della Terra; non è più grossa, ma più piccola di questa. La causa, solamente geometrica, di questo fenomeno è che il Sole è un corpo luminoso di dimensioni maggiori di quelle della Terra: la figura 143 lo mostra chiaramente senz'altro. S è il diametro del Sole, e quello della Terra: r e m hanno il valore sopra in-

dicato. Osserviamo i due raggi che partono dalle due estremità di S e giungono a toccare tangenzialmente la Terra. Solamente in quella zona che dietro la Terra resta limitata da questi due raggi, s e s' , regna completa oscurità. Fra questa ed il limite del cono descritto dai due raggi r ed r' , che partono dai bordi estremi superiori ed inferiori del Sole incrociandosi, si trova un'altra zona, che non può essere illuminata da tutti i raggi del Sole, ma solo da una parte; questa è la zona della *penombra*. Una semplice considerazione geometrica ci indica che il diametro dell'ombra assoluta, alla distanza della Luna, deve essere uguale a $1 - \frac{m}{r}(S-1)$, prendendo ancora, come unità, il diametro terrestre. Essendo $S = 108$, si ottiene per il raggio dell'ombra terrestre 0,723; ossia circa $\frac{3}{4}$ del raggio terrestre. Il diametro della Luna è 3,66 volte più piccolo di quello della Terra, dunque la sezione circolare dell'ombra terrestre è un cerchio il cui diametro è $3,66 \times 0,723 = 2,65$ volte più grande di quello lunare. Nella seconda figura 144 si vedono le varie fasi di un'eclisse di Luna.

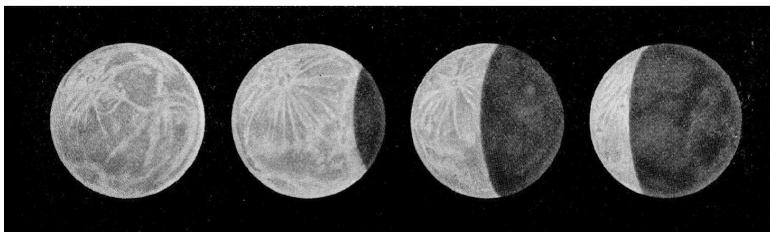


Fig. 144. – Fasi d'un'eclisse lunare.

Nella stessa maniera, nelle eclissi di Sole, si determi-

na la proiezione dell'ombra conica della Luna, la cui estrema punta non sempre giunge fino alla Terra; nel qual caso l'eclissi solare non può essere totale, sebbene il disco della Luna si trovi in posizione perfettamente centrale tra la Terra ed il Sole. Rimane allora scoperto solamente uno stretto anello luminoso intorno alla Luna, e l'eclissi si chiama appunto anulare.

La propagazione rettilinea dei raggi luminosi si palesa chiaramente, anche dalle immagini che si formano nella *camera oscura* (fig. 145), di cui abbiamo già parlato nella introduzione. Dei raggi che partono in tutte le direzioni da un oggetto luminoso, uno solo da ciascun punto dell'oggetto stesso ne passa per un foro fatto in una parete opaca, posta ad una certa distanza in faccia all'oggetto, e può quindi andare a battere sopra un'altra parete posta dietro al foro. A ciascun punto dell'oggetto corrisponde dunque un punto luminoso, e così sulla parete opaca si forma una esatta immagine dell'oggetto; la quale è, però, rovesciata, poichè un punto posto in basso nell'oggetto viene proiettato in alto nello schermo, e viceversa.

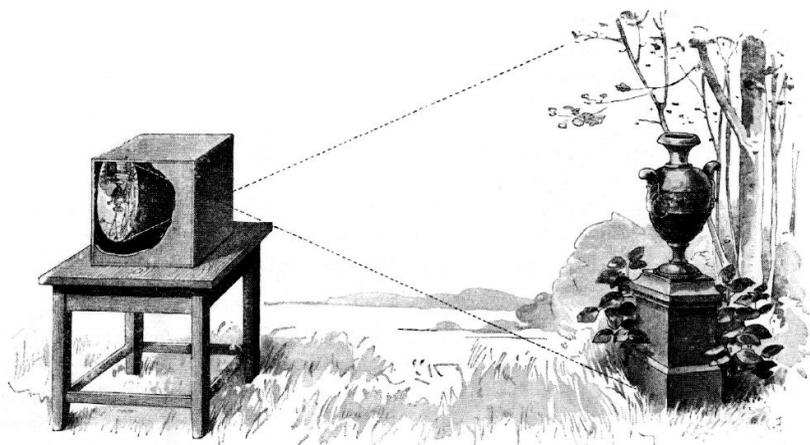


Fig. 145. – La camera oscura.

L'immagine si forma sempre, qualunque sia la distanza dell'oggetto dal foro, ma la grandezza varia con la distanza. Sia o la grandezza dell'oggetto, r la sua distanza dal foro, r_1 quella dell'immagine da questo foro, e b la grandezza dell'immagine; sarà $o \times r = b \times r_1$, ossia, la grandezza dell'immagine sta a quella dell'oggetto in ragione inversa delle rispettive distanze dal foro. Qualunque dilettante di fotografia può con mezzi semplicissimi persuadersi della verità di questa teoria.

Anche il suono si propaga in forma di irradiazione dal corpo sonoro, ed impiega, perciò, un determinato tempo. Noi dobbiamo supporre che si ripeta lo stesso fenomeno nel caso della luce, poichè ogni energia naturale deve stare in un qualche rapporto col tempo. Ma mentre nel suono noi possiamo, anche senza l'aiuto di alcun mezzo speciale, notare facilmente la durata della sua propagazione, la luce invece sembra percorrere istanta-

neamente qualunque distanza. Solamente le osservazioni fatte alle immense distanze dei corpi celesti possono servire a dare una misura della sua velocità. Non molto tempo dopo la scoperta dei satelliti di Giove, per mezzo del cannocchiale, si potè notare che la durata del loro movimento, determinata dalle loro eclissi entrando nell'ombra di Giove, era soggetta ad alterazioni periodiche, secondo che il sistema di Giove si trovava più vicino o più lontano dalla nostra

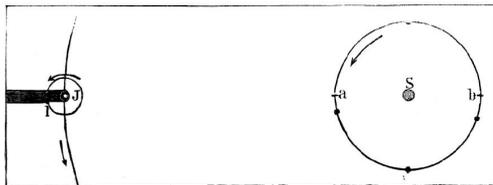


Fig. 146. – Eclissi dei satelliti di Giove (S) Sole, (J) Giove, (ab) orbita terrestre.

Terra (fig. 146). La differenza di tempo fra la massima e la minima distanza di Giove dalla Terra, secondo che la Terra si trovava in *a* o in *b*, risultava di oltre 1000 secondi. Queste due posizioni si trovano ad una distanza tra loro in cifra tonda di 300 milioni di chilometri. Questo ritardo o anticipazione del principio dell'eclissi poteva solo essere spiegato ammettendo, che la luce impiegasse 1000 secondi per percorrere la lunghezza del diametro dell'orbita terrestre, cioè 300 milioni di chilometri. Da questo risulta dunque che la luce ha una velocità di 300.000 km. al secondo.

Di questa velocità grandissima ma non infinita, e quindi del tempo impiegato dalla luce, per giungere fino a noi, bisogna tenere conto in tutte le osservazioni astronomiche, se la distanza del corpo dalla Terra varia du-

rante le osservazioni. La luce del Sole per giungere a noi impiega circa 8 minuti: da Venere questo tempo varia fra 2 e 14 minuti; ma occorrono più di 4 ore perchè la luce del Sole arrivi fino al più lontano pianeta del nostro sistema, cioè Nettuno.

Un fenomeno solare, come il formarsi di una protuberanza, sarebbe dunque avvertito dagli abitatori di Nettuno solamente 4 ore più tardi. La distanza che passa tra la Terra e la più vicina delle stelle fisse, che è nella costellazione del Centauro, è percorsa dalla luce in 4 anni e mezzo; ma senza dubbio vi sono nel firmamento molte stelle che hanno già cessato di esistere da centinaia d'anni, mentre l'ultimo raggio da esse partito non è ancora arrivato a noi.

Anche per un'altra via, le osservazioni astronomiche hanno portato alla misura della velocità della luce. Abbiamo dimostrato, che due diversi movimenti d'uno stesso corpo si compongono con la legge del parallelogrammo in un movimento unico. Lo stesso accade anche per la luce che proviene da una stella fissa. Questa luce non trova noi e il nostro cannocchiale in quiete, poichè la terra possiede la considerevole velocità del suo movimento di rivoluzione intorno al Sole. La direzione in cui noi vediamo il raggio luminoso è quella della risultante fra la velocità della luce e quella della Terra. Si comprende facilmente che per effetto del movimento circolare della Terra, la direzione di questa risultante deve cambiare continuamente in modo che la stella fissa, nel tempo in cui la Terra compie il suo giro intor-

no al Sole, deve, alla sua volta, apparentemente, descrivere un movimento circolare, la cui forma dipende dalla sua posizione rispetto all'orbita della Terra. Ma l'asse maggiore di queste ellissi apparenti è uguale per tutte le stelle e dà una misura del rapporto fra la velocità della luce e quella della Terra. Questo fenomeno si chiama *aberrazione*. Il semiasse maggiore di queste ellissi annuali delle stelle fisse si è trovato uguale a 20,492 secondi di arco. Se v è la velocità della Terra nella sua orbita, V la velocità della luce, per la legge del parallelogrammo delle forze tra queste grandezze deve correre la relazione $v = V \cdot \text{tang. } \alpha$, in cui α è l'angolo fisso indicato. Facendo i calcoli, si ottiene ancora una cifra molto vicina a 300,000 km. al secondo.

L'arte sperimentale moderna ha trovato anche il modo di determinare la velocità della luce. senza uscire dalle dimensioni terrestri. La prima esperienza di questo genere fu fatta da Foucault. In principio, il suo metodo consisteva nel misurare l'angolo che un raggio di luce, riflesso sopra uno specchio ruotante con grande rapidità, fa colla sua immagine riflessa ad una grande distanza. Questa deviazione riferita alla velocità di rotazione dello specchio e alla lunghezza del tratto percorso dalla luce, dà la cercata velocità di propagazione. Con un metodo simile, negli ultimi tempi, Perrotin ha misurato nell'osservatorio di Nizza, la velocità della luce, sopra un tratto di più chilometri di distanza, ottenendo sempre cifre corrispondenti a 300.000 km. al secondo.

Poichè la luce si propaga dai corpi luminosi, come

un'emanazione sferica in ogni direzione, deve valere per la sua azione alle diverse distanze, la legge generale già enunciata per la gravitazione: cioè «*l'intensità luminosa deve diminuire col quadrato della distanza*». Per dimostrarlo sperimentalmente occorre innanzi tutto di poter misurare, comparandole, tra loro, le varie intensità di luce e trovare una misura per la luce come si è fatto per le altre forze naturali. Come unità per l'intensità della luce, si è adottata quella che è prodotta da una cosiddetta *candela normale ad un metro di distanza*. La candela normale è fatta di paraffina, ha un diametro di 2 cm., e la fiamma durante l'esperienza è mantenuta all'altezza di 5 cm. Negli ultimi tempi ha preso abbastanza diffusione, invece della candela normale, la lampada Hefner in cui arde dell'acetato di amile. L'altezza della fiamma è mantenuta a 4 cm., e la sua intensità luminosa è uguale a 1,2 candele normali.

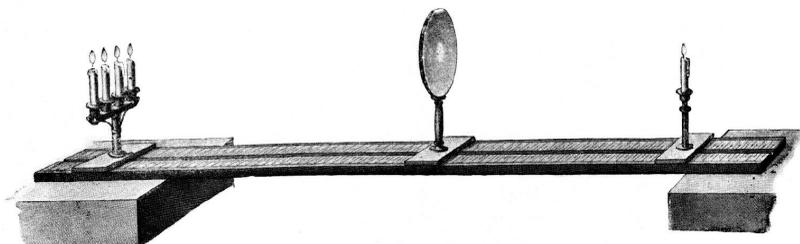
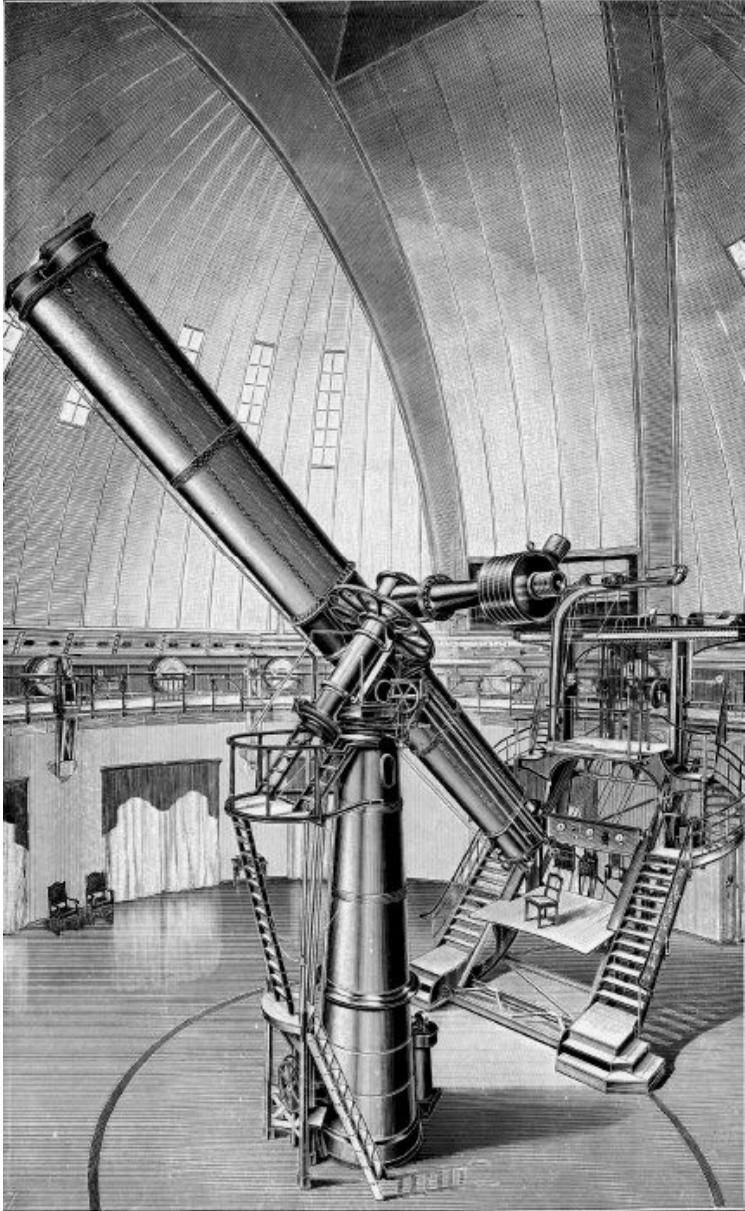


Fig. 147. – Fotometro Bunsen.

Con queste unità di luce si possono fare comparazioni e misure, servendosi di un «*fotometro*». Il più semplice, e che tuttavia dà i migliori risultati è quello di Bunsen (fig. 147). Se sopra un foglio bianco si fa una macchia d'olio, rendendo la carta più trasparente in quel punto, si

osserva che guardandola dalla parte della luce la macchia apparirà più scura, perchè una parte della luce, anzichè essere riflessa dalla carta, la traversa; invece, contro luce, la macchia apparirà più chiara. Da una parte della carta si pone la candela normale a un metro di distanza, dall'altra parte la sorgente luminosa da misurare, e si varia la distanza dalla carta fino a che la macchia d'unto non sparisca. Allora, è evidente, che la stessa quantità di luce la colpisce dalle due parti. Con questo fotometro si trova, che per fare equilibrio ad una candela normale posta ad 1 m. di distanza dallo schermo, ne occorrono 4 alla distanza di 2 m., 9 a quella di 3 m., 16 a 4 m., e così via. Conosciuta questa legge, ci se ne può servire per dedurre, dalla distanza che deve avere una sorgente luminosa dello schermo perchè la macchia scompaia, la sua intensità luminosa in candele normali. Se questa sorgente si trova a 2 m., ha l'intensità di 4 candele normali: l'intensità I della sorgente luminosa, in generale, alla distanza r , sarà data da r^2 . Vi sono poi fotometri più perfetti e complessi, ma non possiamo qui occuparcene.

Studiando coll'aiuto di tali strumenti le leggi dell'energia luminosa, ci incontriamo sempre nei medesimi fenomeni che abbiamo già trovato per il suono, ed anche per il calore; ma per la squisitezza dell'organo della vista, tali leggi si manifestano nella luce con maggiore evidenza.



Grande rifrattore dell'Osservatorio Astrofisico di Potsdam.

b) Legge della riflessione.

Come abbiamo osservato la riflessione del suono nell'eco, così ritroviamo lo stesso fenomeno nella luce. Una superficie levigata respinge le particelle che noi, come voleva la vecchia teoria dell'emissione, possiamo immaginarci emesse dalla sorgente luminosa; anche qui, l'angolo col quale il raggio viene riflesso dalla superficie speculare è uguale all'angolo di incidenza dello stesso raggio, e si trova dall'altra parte

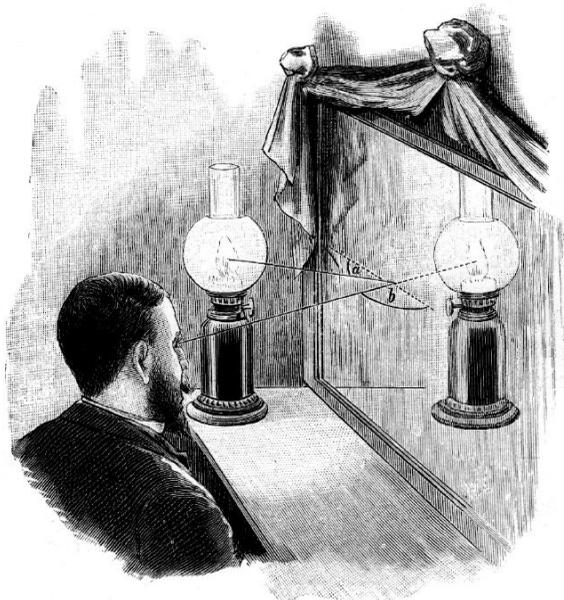


Fig. 148. – Riflessione della luce.

della verticale innalzata dallo specchio nel punto di incidenza (fig. 148). I raggi che giungono allo specchio perpendicolarmente sono pure perpendicolarmente respinti e sono riflessi in sè stessi; quelli che incontrano con un angolo molto acuto lo specchio piano proseguono dall'altra parte con uguale ampiezza d'angolo. I raggi paralleli che incontrano uno specchio piano, devono essere

pure parallelamente riflessi; per ciò noi vediamo gli oggetti riprodotti in forma invariata, come se si trovassero dietro lo specchio, nella direzione del prolungamento dei raggi riflessi. Lo specchio piano ci da un'immagine identica che si chiama *virtuale*, perchè i raggi per i quali essa appare ai nostri occhi, non provengono realmente da punti situati dietro lo specchio, dove a noi pare di vedere l'oggetto.

Gli usi degli specchi piani per fine scientifico sono svariatiissimi. Ricordiamo innanzi tutto l'*eliostato*. Per molti esperimenti occorre un fascio di raggi solari in una direzione invariata.

A questo scopo serve uno specchio, applicato ad un movimento di orologeria, in modo che segua il moto del sole. Questo compito è essenzialmente facilitato dalla circostanza, che il sole, con tutta la volta del firmamento, sembra girare in 24 ore intorno all'asse terrestre, e così i raggi di cui ci vogliamo servire. Il movimento dello specchio (fig. 149) porta lo stesso effetto come se la Terra non rotasse intorno al proprio asse, e mantiene



Fig. 149. – Eliostato.

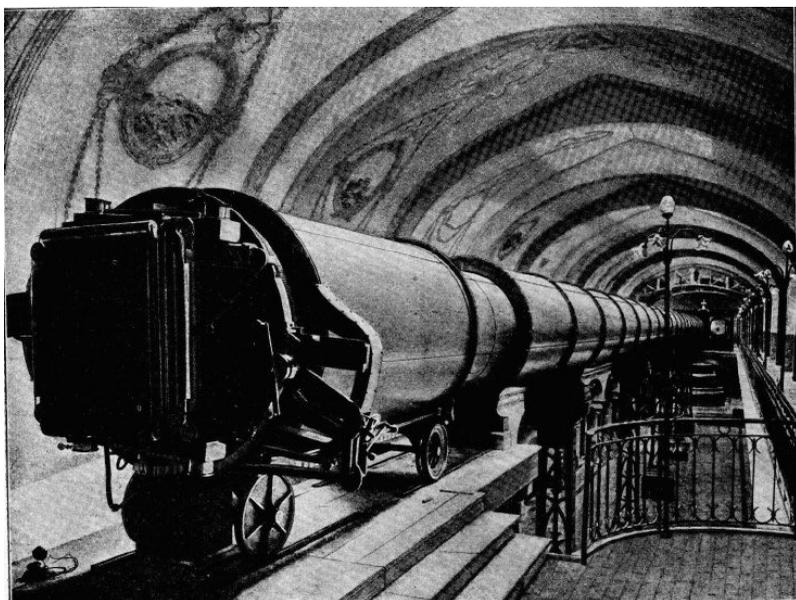


Fig. 150. – Il grande cannocchiale orizzontale di Parigi.

costante la direzione dei raggi. Un secondo specchio piano fisso può dare, inoltre, un'altra qualunque direzione ai raggi riflessi. L'eliostato viene in molti casi utilizzato per proiettare un raggio di sole a grandi distanze, ossia per formare un lato di quei grandi triangoli coi quali, si compiono le misure geometriche, oppure a scopo militare, per fare dei segnali luminosi. Un'applicazione dell'eliostato in grandissime dimensioni ha destata la generale ammirazione nell'esposizione mondiale di Parigi del 1900 (v. fig. 150). Si è costruito là un cannocchiale gigante di 60 m. di lunghezza, che però non può rimuoversi dalla posizione orizzontale, come mostra la figura. Davanti al suo obiettivo si trova un grande elio-

stato per cui i raggi di qualunque astro sono diretti nel tubo fisso del cannocchiale, e perciò lo strumento è detto siderostato. Allo stesso fine serve un apparecchio molto diverso, cioè il *cannocchiale a gomito* (equatoriale-coudè) di cui riparleremo.

Lo specchio piano, negli esperimenti fisici, serve spesso come indicatore luminoso per osservare movimenti piccolissimi, disponendo il corpo che si muove in modo che faccia girare uno specchio. Su

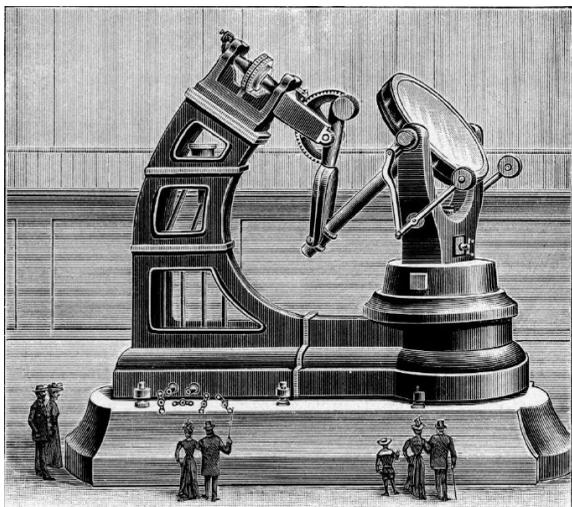


Fig. 151. – Siderostato.

questo si fa cadere un raggio proveniente da una sorgente luminosa fissa, e allora il raggio riflesso descriverà un angolo doppio di quello descritto dallo specchio. Inoltre, questo raggio viene diretto ad una distanza assai grande, per esempio sopra una parete situata di faccia, e così il movimento osservato si ingrandisce, in proporzione. Così il movimento può diventar visibile ed occhio nudo e, misurabile sopra una scala, se anche lo specchio si muove di un tratto microscopico. Nelle misure molto delicate di questo genere, si possono pure osservare le divisioni della scala nello specchio mobile, per mezzo di

un cannocchiale (come si può intendere dalla figura 152).

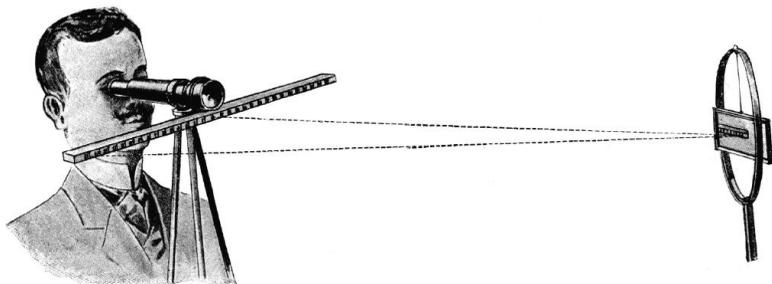


Fig. 152. – Lettura col cannocchiale e scala di misura.

Inoltre lo specchio piano si adopra anche per misurazioni dirette di angoli, per esempio dai naviganti nel *sestante*. Sopra un segmento di cerchio AB provvisto di una scala graduata si muove un raggio CD del cerchio stesso (fig. 153), nel cui centro è applicato uno specchio

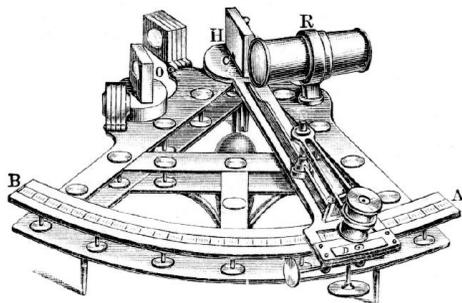


Fig. 153. – Sestante.

piano H. Questo riflette i raggi dell'oggetto da osservarsi, in un altro specchio ricoperto solo per metà dalla lamina speculare e da questo poi in un cannocchiale R. Per mezzo del can-

nocchiale adunque si possono insieme vedere due oggetti posti in diverse direzioni, l'uno per mezzo dello specchio, l'altro direttamente al di là del secondo specchio. Volendo misurare l'angolo fra due corpi, come per esempio quello fra il

Sole e l'orizzonte, si sposta il raggio dello specchio mobile fino a che entrambe le loro immagini non si coprono l'una coll'altra nel cannocchiale. Allora l'angolo da leggersi sulla scala graduata corrisponde al doppio di quello cercato. In campagna si usa per la misurazione dell'altezza del Sole o delle stelle il cosiddetto *orizzonte a mercurio*. Una vaschetta ripiena di questo metallo fluido forma una superficie speculare perfettamente orizzontale. Se si fanno combinare l'una sull'altra l'immagine reale del Sole con quella riflessa, il sestante dà un angolo 4 volte maggiore di quello corrispondente all'altezza del Sole, poichè qui hanno luogo due riflessioni.

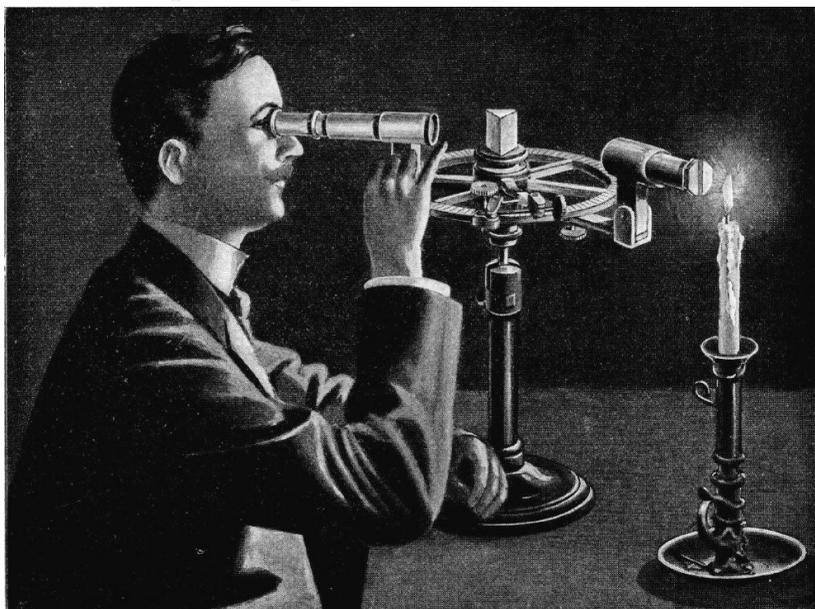


Fig. 154. – Goniometro.

In seguito avremo molto spesso da occuparci dei *pri-*

smi. Un prisma è un corpo trasparente con due superficie piane che si incontrano secondo un dato angolo: la terza faccia si collega colle altre due, per lo più formando un triangolo equiangolo. Per l'uso ottico del prisma, bisogna misurarne gli angoli; e ciò si fa nel *goniometro* (fig. 154).

Si colloca il prisma nel mezzo di una tavoletta, la cui rotazione si può misurare per mezzo di una scala graduata. Lo spigolo del prisma, formato dalle due faccie che si incontrano secondo l'angolo che si vuol misurare, è posto verticalmente sulla tavoletta, e, per mezzo di una stretta fenditura si fanno arrivare dei raggi paralleli sull'una delle faccie. Si osservano i raggi riflessi per mezzo di un cannocchiale fisso, poi si fa girare il prisma finchè i raggi riflessi dall'altra faccia non prendano nel cannocchiale la stessa direzione: la metà dell'angolo di cui si è girato il prisma, letto sulla scala graduata, indicherà l'angolo cercato.

Una superficie riflettente che non sia piana, rimanderà i raggi come se fosse formata da innumerevoli superficie piane, infinitamente piccole, che si incontrano con diversi angoli (fig. 155). La legge della riflessione è ancora valida: gli angoli di incidenza e di riflessione sono misurati rispetto al piano tangente nel punto di incidenza alla superficie curva. I raggi che arrivano parallelamente sono riflessi, ma non più parallelamente, bensì secondo diverse direzioni che dipendono dalla forma della superficie. Si può dunque proporre il problema puramente geometrico, di trovare una superficie dalla qua-

le i raggi che vi giungono paralleli siano riflessi in modo da riunirsi tutti, incrociandosi in un determinato punto. La superficie che risolve il problema è quella parabolica. Il punto in cui dallo specchio parabolico si riuniscono i raggi paralleli si chiama *Fuoco* dello specchio.

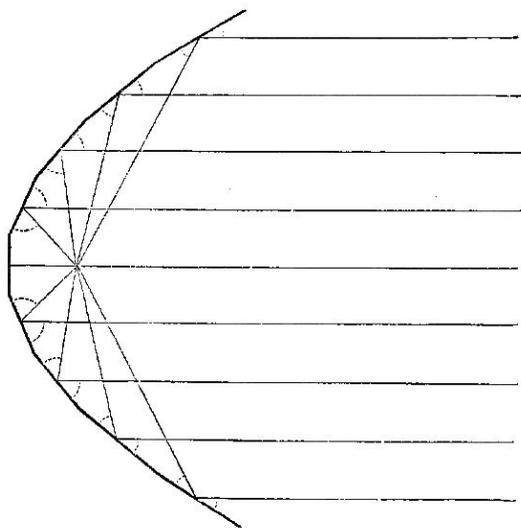


Fig. 155. – Riflessione sopra uno specchio parabolico composto di specchi piani.

Nel suo vertice la superficie parabolica si avvicina sempre più a quella di una sfera: e perciò praticamente si usano quasi sempre specchi concavi sferici che son più facili a costruire. Ma la condizione di riunire in un sol punto tutti i raggi,

è soddisfatta tanto più esattamente quanto minore è l'apertura o diametro dello specchio, rispetto al suo raggio di curvatura. In sostanza lo specchio deve essere il meno possibile differente da uno specchio piano.

I raggi centrali negli specchi concavi sferici soddisfanno a queste condizioni meglio dei raggi obliqui. Ma tutte queste leggi non sono che conseguenze puramente geometriche della fondamentale legge della riflessione, e perciò possiamo fare a meno di darne la particolare e

minuta dimostrazione.

Il punto più profondo dello specchio concavo, ad uguale distanza dal suo contorno, si chiama *centro*, ed un raggio che incontra perpendicolarmente questo centro è un raggio *centrale* MFC. In questo raggio segniamo con C il *centro di curvatura*, ossia il centro della sfera a cui appartiene la superficie sferica. Si può allora dimostrare che il punto nel quale lo specchio concentra tutti i raggi che lo incontrano parallelamente, secondo la direzione MFC, ossia il suo *fuoco* F, si trova sulla linea centrale a metà, tra M e C. La distanza FM è la *distanza focale* dello specchio (figg. 156 e 157).

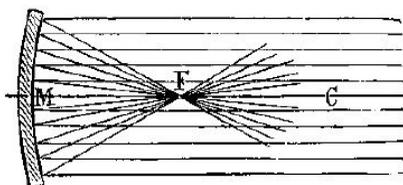


Fig 156. – Cammino dei raggi nello specchio concavo.

Se i raggi provengono da un punto del raggio centrale, non infinitamente lontano e quindi incontrano lo specchio con una certa divergenza, essi saranno ugualmente concentrati in

un punto ancora sull'asse centrale, ma però a distanza dallo specchio maggiore di quella focale. Sia f la distanza focale FM, sia p la distanza del punto luminoso da M, e q quella del punto di riunione dei raggi riflessi, avremo allora

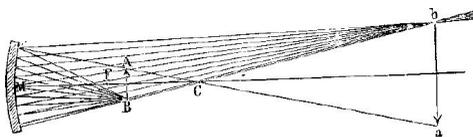


Fig. 157. – Formazione delle immagini nello specchio concavo.

che $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{q}$. I due punti p e q si dicono *coniugati*.

Se un punto luminoso si trova al disotto dell'asse centrale, il suo punto coniugato si troverà al disopra di quest'ultimo. Dunque, di un oggetto ab di una certa estensione, lo specchio concavo riflette un'immagine rovesciata ba che si trova nel fuoco, se l'oggetto si trova a distanza infinita. Negli altri casi l'immagine si forma più vicino al centro di curvatura e quindi più lontana dallo specchio, come si ricava dalla formula. Se poi

l'oggetto stesso si porta nel fuoco, diviene $\frac{1}{q} = 0$ e p

infinitamente grande: l'immagine si forma dunque a distanza infinita ed i raggi riflessi diventano paralleli tra loro. Avvicinando ancora l'oggetto allo specchio, in modo che esso venga tra M e F. come nella figura 158, i raggi saranno divergenti. Per l'occhio si prolungheranno apparentemente dietro lo specchio in modo analogo agli specchi piani, formando un'immagine *virtuale*, mentre le immagini fin qui esaminate negli specchi concavi, formate da raggi che realmente si riuniscono, si chiamano *immagini reali*.

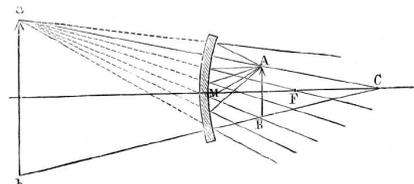


Fig. 158. – Immagine virtuale.

Queste immagini ci appaiono come librate nell'aria, materialmente davanti allo specchio e sono perciò usate in una serie di svariati giuochi ottici. La grandezza di que-

ste immagini reali, rovesciate rispetto agli oggetti stessi, dipende dal rapporto delle distanze dei due punti coniugati dallo specchio. Sia o la grandezza dell'oggetto, b quella dell'immagine, abbiamo allora $\frac{b}{o} = \frac{q}{p}$. Perchè

l'immagine abbia la stessa grandezza dell'oggetto dobbiamo fare $q = p$. E si trova che per tale eguaglianza, la distanza dallo specchio deve essere il doppio della distanza focale, ossia l'oggetto si deve trovare nel centro di curvatura C . Se portiamo l'oggetto più vicino al fuoco, l'immagine si forma di là dall'oggetto, più lontana dallo specchio ed ingrandita, fino a che si porta a distanza infinita quando l'oggetto si trova nello stesso fuoco. L'immagine virtuale che appare poi dietro lo specchio con un ulteriore avvicinamento dell'oggetto, è diritta e sempre ingrandita. Ne facciamo uso, per esempio, negli specchietti da radersi. Le leggi degli specchi concavi trovate con metodo puramente geometrico, sono analoghe a quelle delle lenti, come gli obiettivi fotografici.

Le immagini degli oggetti lontanissimi si formano nel fuoco: ma nell'uso pratico si possono considerare come tali gli oggetti distanti qualche decina di metri. Gli oggetti più vicini, con la stessa posizione delle lenti, restano incerti e sfumati, ed occorre allungare la camera oscura, appunto secondo la legge accennata di sopra, per ottenere un'immagine netta, mentre allora si perde la chiarezza di quelli più lontani. Se con l'apparecchio si vogliono fare ingrandimenti, si deve collocare l'imma-

gine da ingrandire tra il centro di curvatura ed il fuoco della lente ed allungare ancora la camera oscura.

Per rendere più che è possibile nette le immagini di oggetti posti a distanze diverse, bisogna ridurre l'obiettivo, ossia diminuirne l'apertura avvicinando così la sua azione a quella di un semplice forellino, che dà le immagini tutte con ugual chiarezza a qualunque distanza. La diminuzione avviene sempre dalla periferia verso il centro, per cui sono eliminati via via i raggi obliqui o periferici, quelli stessi che anche gli specchi concavi, non perfettamente parabolici, non possono riunire nel medesimo punto. Questo difetto che si ha in tutti i sistemi ottici in uso, si chiama *aberrazione sferica*.

La grandezza dell'immagine di un oggetto lontano cresce colla distanza focale del sistema ottico, e questa a sua volta col raggio di curvatura della superficie. Quanto più piano è uno specchio concavo, o una lente, tanto più grande è anche l'immagine focale data da questi. Per rendere praticamente maneggevole una camera oscura si deve scegliere lenti di piccola distanza focale. Poichè queste rimpiccoliscono fortemente l'immagine, essa può essere contenuta in una lastra di determinata grandezza, meglio che se la distanza focale fosse maggiore; e perciò si dice che l'obiettivo ha maggiore *angolo di visuale*. Ma per minor distanza focale, la curvatura della superficie ottica rispetto all'uguale apertura dello specchio o della lente è maggiore: da questa poi dipende l'intensità luminosa dell'immagine, e l'aberrazione sferica. Perciò, dunque, la nettezza dell'immagine diminui-

sce dal centro verso la periferia in proporzione più alta quanto più piccola è la distanza focale. Obbiettivi con maggiori distanze focali danno (astruendo dagli artifizii impiegati per evitare questo errore) immagini più uniformemente spiccate, per uguale intensità luminosa.

Nelle piccole immagini la posizione in fuoco per oggetti posti a distanze diverse cambia meno che con le grandi lunghezze focali: perciò, nelle applicazioni fotografiche, volendo avere un maneggio rapido ed evitare queste diverse posizioni si deve scegliere un obiettivo a breve distanza focale, e che dà quindi piccole immagini. L'intensità luminosa dell'immagine dipende così dalla distanza focale come dall'apertura degli specchi o lenti.

Quanto più l'obiettivo è ampio, tanto maggior numero di raggi riceve dall'oggetto, per riunirli poi nell'immagine: quanto più corta è la sua distanza focale, tanto più piccola è l'immagine, e tanto più chiara questa deve apparire. L'intensità luminosa dell'immagine è misurata dunque dal rapporto della distanza focale all'apertura, ed in uno specchio di 1 cm. di apertura con 10 cm. di distanza focale, si ha la medesima intensità che in un altro di 10 cm. di apertura con 100 di distanza focale. Questo rapporto vale veramente per gli oggetti posti a distanza infinita, mentre quelli più vicini sono alquanto ingranditi dal medesimo obiettivo, e la loro intensità luminosa è minore; perciò, con uguale apertura, gli oggetti vicini devono avere una posa maggiore di quelli lontani. Rimpicciolendo l'apertura della metà, l'intensità luminosa si riduce ad un quarto, perchè la superficie dell'apertura

per la quale penetrano i raggi di luce aumenta col quadrato del suo diametro. Volendo ottenere un'immagine quanto più è possibile grande e di grande intensità luminosa, come si cerca nei cannocchiali astronomici per i quali l'intensità luminosa degli oggetti è data, si deve riunire una grande apertura con una grande distanza focale; donde la necessità delle grosse dimensioni per i cannocchiali da osservazioni astronomiche. Ma se si tratta solo dell'intensità di luce, come nella fotografia celeste, si combina allora una grande apertura con una piccola distanza focale; e vi sono istrumenti in cui il rapporto della distanza focale all'apertura è di 1 : 2,5, e che danno immagini nette solo nel centro. Negli ordinari obiettivi fotografici, questo rapporto giunge al valore di 1 : 6.

c) Rifrazione.

Tutti i fenomeni osservati fin qui possono essere spiegati coll'ipotesi della propagazione rettilinea di una qualunque materia luminosa; ma ora ne vedremo altri che portano alla necessità di altre ipotesi sulla natura della luce. Tra questi fenomeni è la *rifrazione* dei raggi luminosi, nel loro passaggio attraverso mezzi differenti.

I vari corpi si comportano diversamente rispetto alla luce, che ad essi arriva. I corpi levigati come gli specchi la respingono quasi completamente; ma si dimostra che anch'essi sono un poco trasparenti e ne assorbono una parte. I corpi neri non riflettono affatto la luce, che spa-

risce in modo assoluto alla loro superficie. I corpi bianchi, come il gesso e la calce respingono la luce, non però in una determinata direzione ma in tutte quante le direzioni. Questa maniera di riflessione si chiama *diffusione*, e si può facilmente spiegare ammettendo che la superficie dei suddetti corpi sia otticamente molto scabra per la luce, ossia formata da tante piccole superficie in tutte le direzioni, che riflettono così la luce, in ogni verso. Fenomeni in tutto simili si osservano anche sul suono. Se si vuole che in una sala da concerto non avvengano riflessioni particolari di suono, si devono fare le pareti ruvide, per esempio coperte tutte di stoffa, che assorbe il suono come una superficie nera assorbe la luce.

Inoltre, certi corpi sembrano riflettere una luce differente da quella che ricevono: questi sono i corpi colorati e di ciò più tardi potremo dar la spiegazione. Infine, si hanno i corpi trasparenti, che lasciano passare la luce bianca o colorata. Vogliamo ora occuparci di tutte queste proprietà ottiche.

Nessun corpo è perfettamente trasparente: perfino l'aria più pura assorbe una certa quantità di luce. I raggi solari che perpendicolarmente traversano la nostra atmosfera, percorrendo in essa una parte minima del loro cammino, perdono circa un terzo della loro intensità prima di giungere alla superficie terrestre. Quanto poi della luce solare venga assorbita, quando il sole è presso all'orizzonte, ossia quando i suoi raggi traversano uno strato d'aria molto più lungo, lo sappiamo tutti, allorchè

al tramonto possiamo guardare ad occhio nudo il sole. L'acqua più limpida, in un tubo di qualche metro, prende un colore azzurro; ed uno strato di poche centinaia di metri diviene assolutamente opaco, come hanno mostrato le esperienze sottomarine. Anche lo spazio celeste assolutamente vuoto, traversato dai raggi luminosi provenienti dalle stelle più lontane, deve assorbire una certa luce. Sarebbe, infatti, strano e secondo le nostre ipotesi generali quasi impossibile, che la luce la quale come tutte le altre energie consiste in un movimento, non trovasse resistenza alcuna nei mezzi traverso ai quali essa si propaga.

Il suono, lo abbiamo visto, incontra diversa resistenza nei vari mezzi, e si propaga perciò in essi con diversa velocità. Ma, a causa della sua immensa velocità, è generalmente impossibile

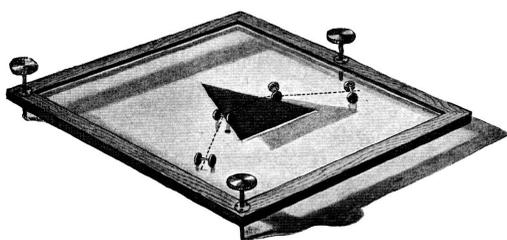


Fig. 159. – Modello per spiegare la rifrazione.

potere sperimentalmente dimostrare queste differenze per la luce. Solamente nell'acqua, nella quale realmente la luce si propaga con velocità

assai minore che nell'aria, si può tentare l'esperienza.

Per dare un'idea della diversa resistenza e, quindi, della velocità di propagazione della luce nei vari mezzi, e del fenomeno che ne deriva, può servire l'esperienza indicata dalla fig. 159. Sopra una lastra di vetro è un'area ruvida, smerigliata, in forma di triangolo. Due di-

schetti di cartone congiunti con un asse come le ruote di un carro ferroviario, scorrono in una certa direzione, inclinando un poco il vetro. Se le rotelle si muovono in direzione perpendicolare alla linea di separazione delle due superficie, passando dall'una all'altra rallenteranno la corsa, ma senza cambiare la direzione. Se, invece, la primitiva direzione è inclinata rispetto alla linea di separazione, nel passaggio di questa, l'asse delle rotelle si girerà perchè una delle ruote prima dell'altra passa sulla superficie scabra diminuendo di velocità. Ma appena ambedue le ruote saranno entrate nella superficie scabra, continueranno in linea retta nella nuova direzione: la quale rispetto alla primitiva sarà sempre deviata in modo da essere avvicinata alla perpendicolare tirata per il punto d'incidenza. Avviene il contrario quando le rotelle passano dalla superficie scabra a quella liscia. La grandezza della deviazione dipende da quella dell'angolo d'incidenza; è uguale a zero se anche quest'angolo è uguale a zero; raggiunge invece il suo massimo se quest'angolo è di 90° , ossia se le due rotelle procedono parallelamente alla linea di divisione, stando una ruota sull'una superficie e l'altra sull'altra. La grandezza della deviazione cresce in proporzione al seno dell'angolo d'incidenza α , e si comprende, che con superficie di diversa scabrosità e con uguale angolo d'incidenza, la deviazione sarà tanto più grande quanto maggiore la differenza tra le due superficie; e potremo trovare un fattore costante n tale che la deviazione sia $n \text{ sen } \alpha$.

Infine, la deviazione dipende anche dalla distanza

delle due ruotelle e cresce con tale distanza. Se diverse di queste coppie, con assi di diverse lunghezze, arrivassero alla superficie scabra nella medesima direzione, nel passaggio, esse prenderebbero direzioni diverse, perchè quelle con assi corti devierebbero più delle altre.

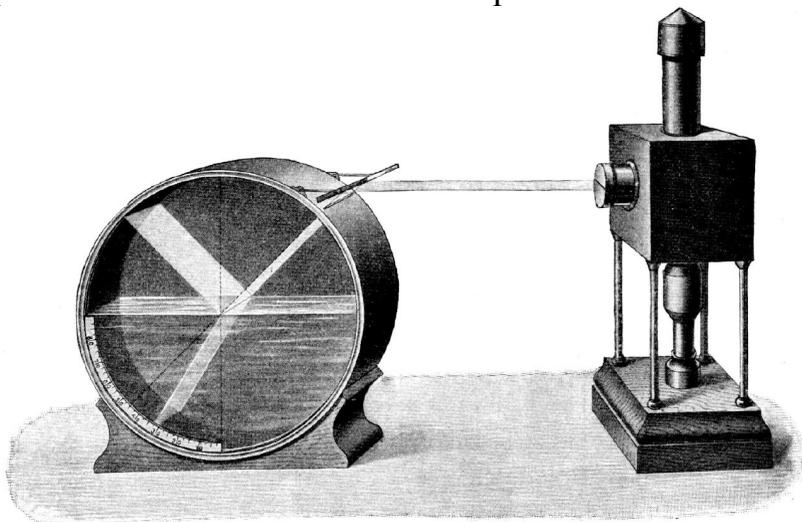


Fig. 160. – Rifrazione della luce.

Fenomeni perfettamente analoghi si possono osservare nella luce. Se facciamo cadere un raggio di luce sopra la superficie dell'acqua, vediamo questo raggio deviato verso il basso, cioè *rifratto*, e la rifrazione segue precisamente la legge del seno accennata di sopra. Il fattore n si chiama l'*indice di rifrazione*; tra l'aria e l'acqua è circa $4 : 3$. Per mezzo dell'apparecchio della figura 160 si può verificare l'esattezza della legge della riflessione e della rifrazione.

I fenomeni di rifrazione sono familiari a tutti. Una bacchetta dritta, immersa obliquamente nell'acqua, appare piegata al punto d'immersione (fig. 161). Un oggetto che si trovi nel fondo di un recipiente e in posizione da essere, per una data visuale, coperto dalla parete del recipiente stesso, diventa poi visibile da questa parte, se si



Fig. 161. – Effetto della rifrazione.

riempie il vaso d'acqua (fig. 162). Anche il Sole viene sollevato per effetto della *rifrazione atmosferica*. I raggi solari, nel loro passaggio dallo spa-

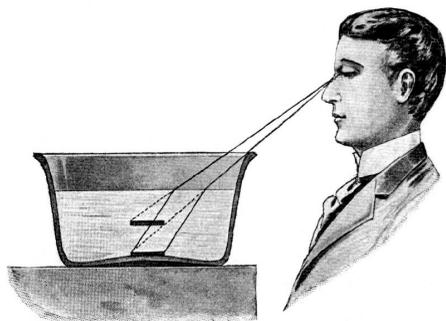


Fig. 162. – Altro effetto di rifrazione.

zio vuoto alla nostra atmosfera, sono tanto più deviati quanto più vi arrivano obliquamente, ossia quanto più il sole si avvicina all'orizzonte: e lo stesso accade per la luce degli altri astri. Per la rifrazione atmosferica, il sole al tramonto

sembra ancora sopra all'orizzonte, mentre in realtà si trova già sotto di esso. La lunghezza del giorno ne risulta quindi allungata, nelle nostre latitudini, di circa 5 minuti; ed un altro effetto della rifrazione è lo schiacciamento apparente del disco solare, quando si trova all'o-

rizzonte, come ben si vede dalla fotografia riprodotta nella fig. 163.

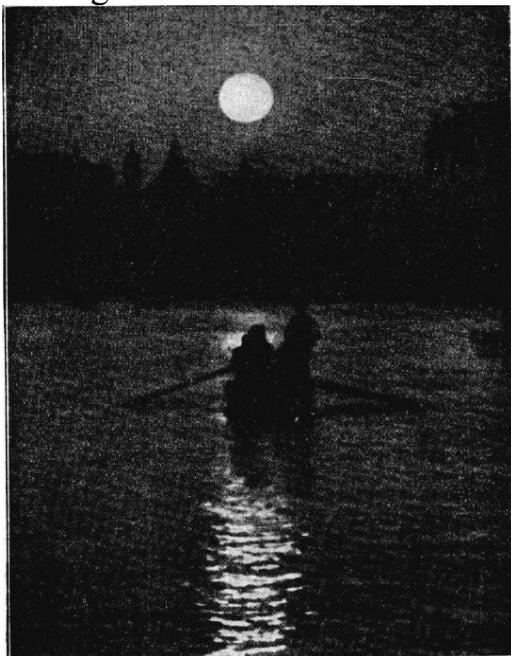


Fig. 163. – Deformazione del sole al tramonto.

esso viene perciò deviato a poco per volta con continuità e descrive in conseguenza di questo una linea curva, come si vede nella fig. 164.

Per l'osservatore, una stella appare nella direzione della tangente tirata, all'estremità della curva di rifrazione, nel punto in cui essa giunge all'occhio. Il valore della rifrazione atmosferica, deve, perciò, es-

La rifrazione della luce nella nostra atmosfera non è però così semplice come quella ora descritta. La densità e la temperatura degli strati d'aria diminuiscono dal basso in alto, e con esse cambia anche la capacità di rifrazione. La quale avviene come se il raggio passasse in una serie graduata di mezzi diversi;

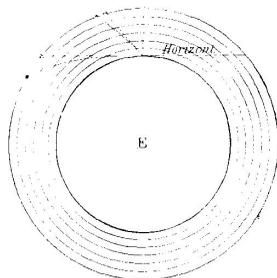


Fig. 164. Effetto della rifrazione atmosferica.

sere computato con la maggior possibile esattezza, per determinare le vere direzioni in cui si trovano le stelle; e a ciò si oppongono grandi difficoltà, perchè non è possibile conoscere esattamente, ogni volta, lo stato di temperatura di tutti gli strati traversati dai raggi che si osservano. Bisogna adottare una regola generale per la diminuzione di temperatura con l'altezza; ma le osservazioni fatte nelle alte stazioni e coi palloni aereostatici hanno dimostrato, che le anormali variazioni di temperatura negli alti strati dell'atmosfera non sono rare come si potrebbe supporre, e possono esser causa di errori considerevoli nelle osservazioni astronomiche di astri vicini all'orizzonte. Quanto maggiore è l'altezza degli astri sull'orizzonte, tanto meno son da temere gli errori di questo genere, poichè la rifrazione è nulla allo zenit, conformemente alla legge sopra indicata.

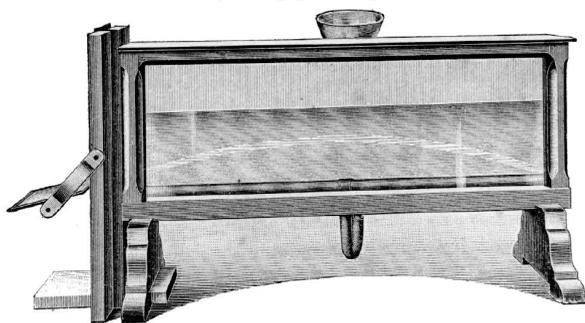


Fig. 165.

Rifrazione in strati di diversa densità.

Si può anche artificiosamente, come mostra la fig. 165, incurvare un raggio di luce facendolo passare in un liquido la cui densità diminuisce forte-

mente dal basso in alto. Le rifrazioni anormali si rivelano spesso nelle forme strane del Sole al tramonto (fig. 166) e nella cosiddetta *Fata morgana*. Anche la colora-

zione rosea delle vette alpine è dovuta probabilmente alla stessa causa. Per un particolare riscaldamento o raffreddamento degli strati d'aria, questi possono, sopra un determinato luogo, acquistare una capacità di rifrazione anormale, per cui un tratto di paesaggio, o le torri e le cupole di una città appaiono sospese nell'aria, di sopra all'orizzonte.



Fig. 166. – Forme del Sole all'orizzonte (Da fotografie).

In certi casi, anche i raggi luminosi si riflettono incontrando in alto strati d'aria di diversa densità, ed allora sembra di vedere degli oggetti sopra la nostra testa. Le condizioni che producono questi fenomeni sono illustrate dalle figure 167 e 168. Il miraggio dell'acqua nel deserto è dovuto, ugualmente, a simili riflessioni fra

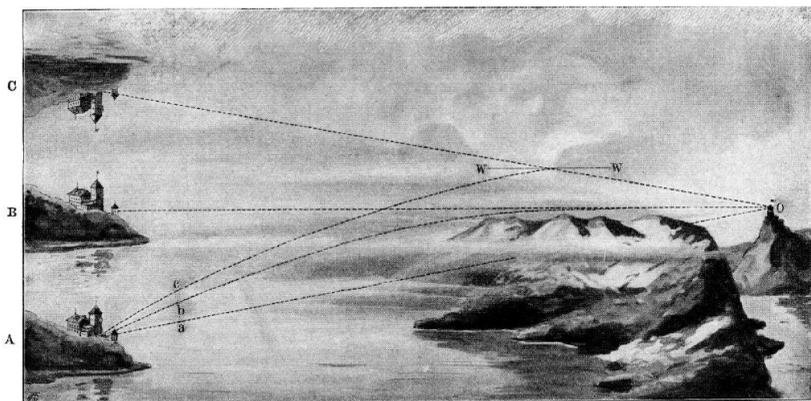


Fig. 167. – Fata Morgana.

strati d'aria di diversa temperatura. Anche nelle regioni polari, si sono osservati tali fenomeni: è stata, per esempio, spesso veduta l'immagine rovesciata di una nave, sopra quella reale (fig. 169).

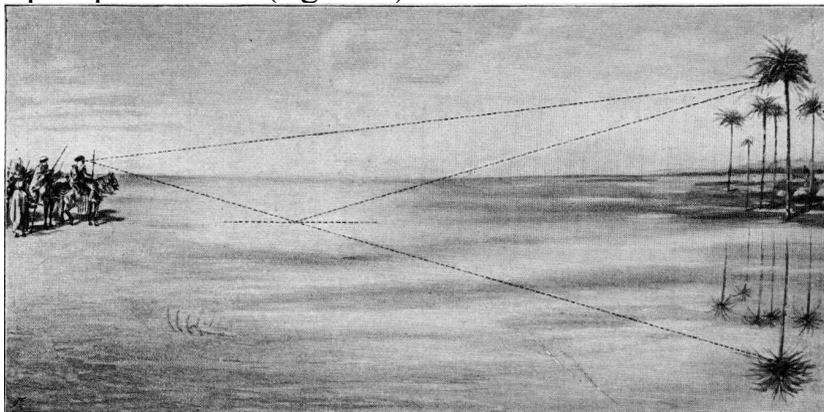


Fig. 168. – Miraggio nel deserto.

La colorazione rosea delle vette alpine, assai più vera che non credano i viaggiatori, i quali spesso la scambiano con l'ordinario imbroramento vespertino, avviene quando le vette hanno già il colore azzurro della sera. Devono essere speciali rifrazioni, causate forse da strati d'aria molto riscaldata nelle grandi valli, che inalzano ancora i raggi crepuscolari, fino a illumi-

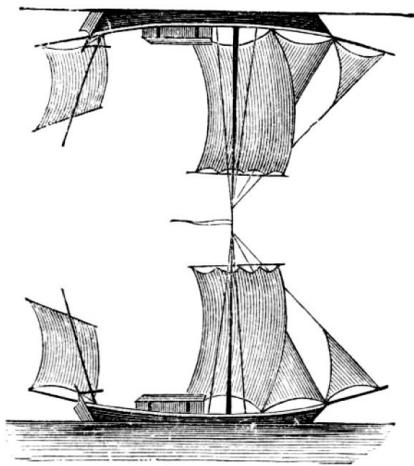


Fig. 169.
Effetto di miraggio in mare.

nare di nuovo le punte delle montagne; e poichè questo avviene quando l'ordinario crepuscolo è già finito, il fenomeno riesce di un grande effetto.

Abbiamo visto innanzi, che i raggi luminosi percorrono l'atmosfera seguendo una linea curva. Ci possiamo ora benissimo immaginare, che sopra un altro corpo celeste si abbiano tali condizioni che questa traiettoria abbia esattamente la stessa curvatura dell'astro. Allora i raggi luminosi da certi strati dell'atmosfera non potranno uscire, ma gireranno continuamente intorno al corpo celeste. Così, si è calcolato, che una parte dei raggi uscenti dall'interno del Sole, percorrono di tali orbite circolari ritornando ancora nel corpo solare stesso.

L'immensa atmosfera gassosa solare ci apparisce, così, luminosa in causa della luce che in essa si diffonde in tutte le direzioni, dando l'impressione di una determinata massa materiale, ciò che non deve veramente corrispondere alla realtà. Il Sole può essere un accumulamento di masse gassose che vanno a poco a poco insensibilmente disperdendosi nello spazio, una nebulosa di particolare luminosità e densità, come quelle che a centinaia si vedono nel cielo; e quella superficie che a noi appare come nettamente limitata e come un corpo consistente, può essere una pura illusione ottica. In ogni modo, risulta, che anche nel campo della luce è possibile una serie di azioni o movimenti rettilinei, tali che si compongano in un moto circolare.

Dobbiamo, ora, occuparci dei particolari fenomeni dipendenti dalla rifrazione, sui quali è basata la costruzio-

ne di quasi tutti gli strumenti ottici, così utili alla vita umana e al progresso delle scienze.

Prima di tutto, notiamo con semplici considerazioni geometriche, che un raggio di luce, il quale traversa uno strato rifrangente limitato da superficie parallele, ritorna nel suo primitivo mezzo, senza alcuna deviazione. Perciò, in qualunque direzione un raggio traversi una lastra di vetro a faccie parallele, esso ne esce sempre parallelamente alla sua direzione di incidenza, se lo strato di vetro è da ambo le parti circondato da aria ad eguali condizioni di temperatura e di pressione (fig. 170).

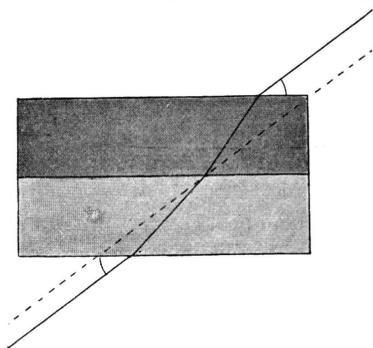


Fig. 170.

Rifrazione in strati paralleli.

Lo stesso accade, se il raggio di luce traversa più mezzi di diversa densità, fino a ritornare al primitivo mezzo. Se, sopra ad una lastra di vetro, si trova uno strato d'acqua, e su questa dirigiamo obliquamente un raggio, esso verrà rifratto prima tra aria ed acqua, poi tra acqua e vetro ed infine tra vetro ed aria, e sempre in rapporti diversi; ma il raggio che penetra nell'acqua e quello che esce dal vetro sono tra loro paralleli.

Le cose cambiano se le superficie limiti delle diverse sostanze non sono più parallele fra loro. Se le due superficie piane che limitano la sostanza rifrangente si incontrano con un dato angolo, si ha un *prisma*. Un raggio di

luce che lo traversi sarà rifratto due volte come mostra la fig. 174.

L'angolo che il raggio uscente fa con quello incidente dipende dall'angolo del prisma e dalla sua capacità di rifrazione. Coll'aiuto del *goniometro*, già descritto, si può determinare quest'angolo, e così si trova il rapporto di rifrazione delle diverse sostanze rispetto all'aria. Anche i liquidi ed i gas possono sottoporsi allo studio con lo stesso metodo, usando un prisma vuoto, e ponendovi dentro queste sostanze; poichè le superficie esterne di vetro non hanno, come vedemmo, alcuna influenza sul cammino dei raggi.

Con tali metodi si trova solamente l'indice di rifrazione dei diversi mezzi rispetto all'aria. Volendo poi conoscere l'indice *assoluto* di una sostanza, bisogna conoscere quello dell'aria rispetto allo spazio vuoto, che si trova con analoghe ricerche.

I raggi deviati da un prisma, e generalmente tutti i raggi, appaiono essere composti; poichè nella rifrazione si separano e si scompongono in raggi variamente colorati, divergenti tra loro, le cui speciali proprietà studieremo più avanti. Ora ci basti solo accennarlo, per stabilire che anche l'ultima proprietà del nostro sistema di rotelle, le quali secondo la lunghezza del loro asse divergono diversamente, passando dall'una all'altra superficie (fig. 159), corrisponde ad una proprietà della luce.

Da tutte queste esperienze sulla riflessione e rifrazione della luce, risulta, che un raggio luminoso è qualche cosa di materiale, che reagisce con l'altra materia. Ri-

cordando che la luce è un effetto fisiologico del calore raggianti sufficientemente intenso, comprenderemo anche le proprietà della luce osservate fin qui. La luce è generata dalle molecole vibranti di un corpo caldo circondato dai liberi atomi dell'etere: lungo una linea retta, a partire da una molecola del corpo raggianti, il movimento vibratorio si propaga, con le stesse leggi come in un corpo elastico. Luce e calore raggianti son dunque onde eterree, le cui proprietà dipendono dal movimento vibratorio delle molecole del corpo che irraggia. La velocità di propagazione della luce e del calore raggianti non è dunque, velocità di movimento degli atomi eterrei. Non sono gli urti degli atomi dell'etere che producono calore e luce, poichè essi possono anche essere riflessi dalle molecole in stato di perfetta quiete, di un corpo allo zero assoluto di temperatura. Tali urti producono la gravitazione; e sono solo cambiamenti periodici di velocità che producono calore e luce. Dobbiamo dunque ora astrarre assolutamente dal movimento generale progressivo di questi atomi e considerarne solo il movimento vibratorio.

Si è dimostrato, che la luce nel traversare i corpi incontra resistenza; e possiamo fin da principio ammettere, che questa resistenza deve essere in relazione con le proprietà molecolari delle sostanze e specialmente con la densità. Ricordando che tutto porta a credere essere il tessuto molecolare, anche dei corpi solidi, molto rado di fronte alle correnti degli atomi eterrei, possiamo, anche rispetto alla più o meno facile penetrazione delle onde

eteree, ammettere che oltre alla densità dei corpi influisca anche la disposizione delle molecole. Ammettendo, che in un corpo le molecole siano disposte in fibre, in modo da lasciare tra loro lunghi passaggi rettilinei, le onde, fino ad una data ampiezza, passeranno più facilmente che se le molecole fossero distribuite senza alcun ordine. Tali disposizioni sono state supposte nei cristalli: e perciò in questi dobbiamo aspettarci speciali rapporti di rifrazione, di cui ci occuperemo più tardi. Diciamo intanto, che la cosiddetta *densità ottica* non si deve intendere identica alla densità molecolare. Si può dimostrare teoricamente che la capacità di rifrazione di un corpo n deve stare alla sua densità d in un tale rapporto che l'espressione

$$R = \frac{1}{d} \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2}$$

sia una costante per tutti i

corpi. L'osservazione conferma questo risultato teorico. La costante R , moltiplicata per il peso molecolare, dà la *rifrazione molecolare* dalle varie sostanze.

La legge della rifrazione si esprime con la formula

$$n = \frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } \beta}$$

, dove n è l'indice di rifrazione, α l'angolo

di incidenza, β l'angolo di rifrazione. Consideriamo l'estremo raggio b che passa sfiorando la superficie limite tra i due mezzi (Fig. 171), facendo quindi un angolo d'incidenza di 90° , il cui seno è 1. Dalla formula si ha allora $\text{sen } \beta = 1 : n$. L'indice n di rifrazione fra aria ed acqua essendo $\frac{4}{3}$, otteniamo dunque $\text{sen } \beta = \frac{3}{4}$ e $\beta = 48,5^\circ$. Ossia, di tutti i raggi che secondo tutti gli angoli

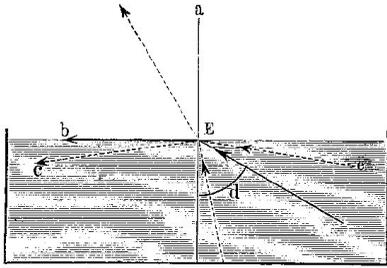


Fig. 171.

Rifrazione e riflessione totale.

possibili incontrano una superficie d'acqua in un punto qualunque E, formando, sopra, un fascio di 180° di ampiezza, penetra nell'acqua solo un fascio, la cui ampiezza angolare è 2 volte $48,5^\circ$, ossia 97° . I raggi rifratti sono dunque avvicinati

e addensati nel mezzo più denso; se altra luce non penetra nell'acqua da altre parti, questa sarebbe fortemente illuminata solo nel campo di questo fascio di 97° , mentre al di fuori non si avrebbe punto luce. Questo angolo massimo di rifrazione, fatto dai raggi che penetrano dal primo al secondo mezzo, si chiama *angolo limite*. È evidente, per reciprocità, che un raggio *cE* propagantesi nell'acqua, ma fuori di questo angolo, non può uscire dall'acqua. Perciò, se dal punto A nell'acqua (fig. 172) si espande un fascio di raggi, solo quelli compresi nei 97° di apertura potranno in tutte le direzioni uscire dall'acqua, spandendosi nell'aria.

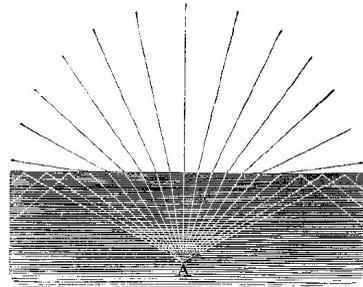


Fig. 172.

I raggi incidenti vengono, in parte, anche riflessi alla superficie di separazione e si dividono perciò in due parti; i raggi che poi incontrano, fuori dell'angolo limite, la superficie dell'acqua, sono soltanto riflessi e si ha la *ri-*

flessione totale. Perciò l'angolo limite è anche quello oltre il quale avviene la *riflessione totale*.

Un bell'esempio di riflessione totale ce l'offre la grotta Azzurra di Capri. L'acqua illuminata dalla luce del giorno al di fuori della grotta, invia i suoi raggi da un'apertura posta quasi completamente sotto il livello del mare, e quindi dal basso in alto, verso la superficie dell'acqua della grotta, con un angolo che resta fuori dell'angolo limite. La luce adunque non può uscire fuori dell'acqua, e questa resta illuminata internamente in una maniera così strana, che gli oggetti sotto all'acqua assumono una lucentezza argentea, e dall'acqua stessa esce una luce diffusa azzurra, che dà appunto il nome alla celebre grotta.

La riflessione totale viene impiegata anche nei noti giuochi di colori delle fontane luminose. Un raggio di luce proiettato dal di sotto, in un getto d'acqua, non può uscire da questo, essendo circoscritto sempre da angoli superiori all'angolo limite. I raggi luminosi riflessi continuamente alla superficie del getto, sono, perciò, come guidati e seguono il getto, anche se si ripiega ricadendo in basso. L'acqua pare allora luminosa e si scioglie in una pioggia di scintille, destando anche maggiore meraviglia, perchè la sorgente luminosa rimane affatto invisibile.

Ma anche per scopi scientifici la riflessione totale è applicata in molte forme. Una superficie a riflessione totale è evidentemente uno specchio perfetto, che respinge tutti i raggi che la incontrano, mentre uno specchio metallico lascia sempre penetrare un po' di luce; ed in una superficie speculare di vetro in condizioni normali, i raggi rifratti non concorrono alla formazione dell'immagine. Se sopra la faccia di un prisma ABC, ad angolo retto, si dirige perpendicolarmente un fascio di raggi,

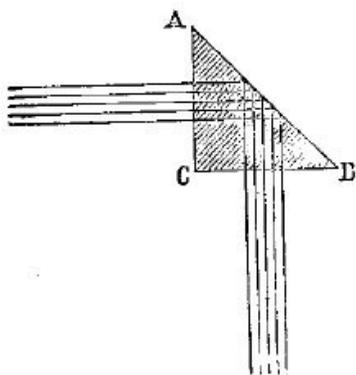


Fig. 173.

Prisma a riflessione totale.

questi incontreranno la faccia AB con un angolo di 45° . Ma l'angolo limite tra vetro ed aria è $= 42^\circ$; perciò, ogni raggio sarà totalmente riflesso ed escirà dall'altra parte del prisma senza essere affatto assorbito o rifratto, e quindi perpendicolarmente alla faccia AC. In molti strumenti ottici, il *prisma a riflessione totale* è utilissimo (fig. 173).

Si possono disporre due prismi uguali, in maniera che le loro superficie di base siano parallele. Conducendo a ciascun prisma un raggio parallelo alle basi (fig. 174), i raggi uscenti dalla parte opposta, si incontrano in un punto, la cui distanza dai prismi dipende, in primo luogo, dal loro angolo e poi dalla rifrangibilità della sostanza. Quanto maggiore è l'angolo dei prismi e il loro indice di rifrazione, tanto

più vicino si trova questo punto. Questo avvicinamento dei raggi ha evidentemente una grande analogia coll'effetto delle due parti simmetriche e opposte di uno specchio concavo; solo che, nello specchio concavo, il punto di congiunzione rimane davanti alla superficie ottica attiva, nei prismi, invece, di dietro. Ora, come possiamo immaginarci che l'effetto dello specchio concavo risulti dalla riunione di un gran numero di specchi piani che si incontrano con determinati angoli, così

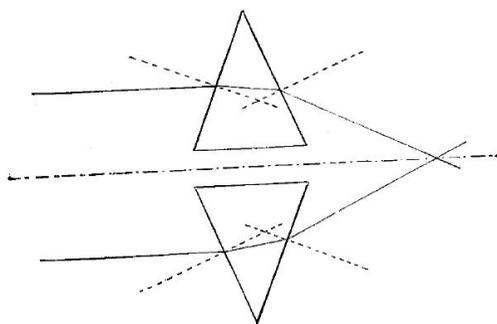


Fig. 174. – Convergenza dei raggi mediante due prismi.

possiamo costruire una superficie rifrangente, che, come uno specchio concavo, raccolga in un punto tutti i raggi che cadono su di essa. Giungiamo così allo stesso risultato dello specchio concavo, salvo che le immagini, ora, si formano dietro alla superficie rifrangente, e, come già abbiamo detto, oltre la forma della superficie ha influenza anche il potere rifrangente della sostanza.

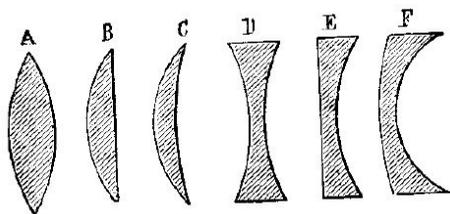


Fig. 175. – Varie forme di lenti.

Una tale superficie rifrangente curva, che agisce come uno specchio concavo, si chiama, per la sua forma più comune, una *lente*. Le superfi-

cie rifrangenti sono sempre sferiche e possono variamente combinarsi (fig. 175). Una faccia può essere convessa, e l'altra piana, nella lente *piano-convessa* (B). Se la curvatura è verso l'interno, la lente è *piano-concava* (E). Le diverse combinazioni di queste forme danno poi luogo alle lenti *biconvessa*, o *convergente* (A); *biconcava* o *divergente* (D); *conca-va-convessa* (C e F). Avendo anche le lenti il difetto, già ricordato,

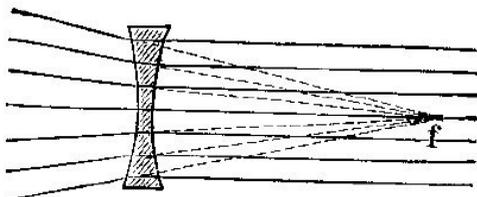


Fig. 176. – Lente divergente.

della *aberrazione sferica*, poichè si costruiscono secondo una superficie sferica e non parabolica, esse pure, perchè questo difetto sia il più piccolo possibile, debbono soddisfare alla condizione, che la loro apertura, sia molto piccola rispetto al diametro sferico; ossia, devono essere molto sottili. Lenti convergenti, che siano relativamente grosse nel loro mezzo, hanno una grande aberrazione sferica. Seguendo metodi puramente geometrici, il cui svolgimento appartiene alla vera e propria matematica, si arriva ancora alla conclusione che la posizione del fuoco, ossia la sua distanza b dal centro della lente biconvessa, in cui r_1 e r_2 sono i raggi di curvatura delle superficie, è definito dalla formula

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$
. Questa formula è, tranne il fattore dipendente dall'indice di rifrazione n , identica a

quella degli specchi concavi, per i due punti coniugati, e vale anche per tutte le altre combinazioni di lenti; solo è da aggiungere che per una superficie piana, r diviene infinitamente grande, e per una superficie concava, diviene negativo. Per una lente piana concava, e ancora più per una biconcava, l'intera espressione rimane negativa, ossia il fuoco si trova dalla stessa parte dell'oggetto. I raggi che da questo passano all'altra parte sono divergenti: perciò, la lente *diverge* i raggi, come uno specchio convesso.

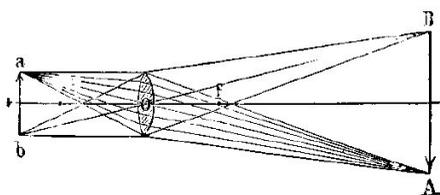


Fig. 177. – Lente convergente.
 AB. = Oggetto. ab. = immag. reale.

Anche nel resto, per quanto concerne la formazione delle immagini, le leggi sono le medesime. Le lenti convergenti proiettano un'immagine reale e rovesciata di un

oggetto che si trova di là dalla distanza focale; e la grandezza dell'immagine è in proporzione del rapporto fra la sua distanza dalla lente e quella dell'oggetto. Se l'oggetto si trova tra lente e fuoco, si forma, come nello specchio concavo, un'immagine *virtuale* ingrandita e *diritta*, e la lente convergente agisce come lente d'ingrandimento. Le figure 176, 177, 178 spiegano chiaramente la formazione di queste immagini e il cammino dei raggi.

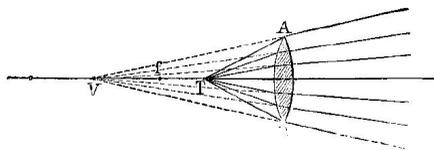


Fig. 178. – Lente convergente.
 T = Oggetto, V = immag. virtuale.

d) Gli strumenti ottici.

Possiamo ora, con queste cognizioni, studiare i principali strumenti ottici, lasciando però da parte il loro perfezionamento, rispetto all'eliminazione dei colori che si formano nelle lenti (*Acromatismo*). Cominciando dai cannocchiali, diciamo, che ve ne sono di due specie: i *riflettori* ed i *rifrattori*. Nei primi, la superficie ottica che forma le immagini è uno specchio concavo; negli altri, una lente od una combinazione di diverse lenti.

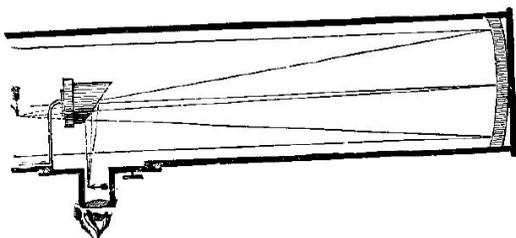


Fig. 179. – Telescopio di Newton.

Un tempo, fino al principio del secolo XIX, per osservare i corpi lontanissimi si adoperavano molto i riflettori, perchè questi generalmente non presentano il difetto assai disturbatore della dispersione dei colori. Uno specchio concavo proietta, come sappiamo, nel suo fuoco, un'immagine reale e rovesciata di un oggetto molto lontano. Volendo osservare questa direttamente, dovremmo collocarci davanti allo specchio, coprendo così, colla nostra persona, una parte dei raggi che arrivano dall'oggetto. Per evitare questo, si pone presso al fuoco un piccolo specchio, inclinato di 45° rispetto all'asse centrale dello strumento, e così il fascio dei raggi è deviato da una parte, come si vede nella fig. 179. Possiamo allora guardare l'immagine, o

Un tempo, fino al principio del secolo XIX, per osservare i corpi lontanissimi si adoperavano molto i riflettori, perchè questi generalmente

direttamente, oppure con una lente convessa, facendola agire come lente d'ingrandimento, avvicinando l'occhio ad essa. La lente d'ingrandimento, detta in questo caso *oculare*, ingrandisce ancora la primitiva immagine focale. Circa all'ingrandimento ed all'intensità della luce, abbiamo già trovato, che quella cresce colla distanza focale, questa coll'apertura. Tenendo conto dell'ingrandimento dello specchio e della lente, si trova, che l'intensità luminosa diminuisce nel rapporto del quadrato dell'ingrandimento totale. Colla diminuzione della distanza focale e col corrispondente ingrandimento dell'oculare, non si ottiene quindi alcun vantaggio per l'intensità della luce. Nelle osservazioni astronomiche, spesso si tratta solamente di osservare oggetti di debolissima luce. Altre volte, al contrario, si vuole rilevare con esattezza i maggiori dettagli possibili. Questo caso si presenta, allorchè si studiano le superficie dei corpi del nostro sistema planetario, nei quali è sempre una sufficiente quantità di luce, per potere spingere l'ingrandimento ad un grado ad essa corrispondente. Per simili ricerche, si adoperano, perciò, cannocchiali con ampiezza focale più grande che è possibile, senza che l'apertura dell'obiettivo sia troppo ampia; e si ha così, insieme, il vantaggio di una più precisa chiarezza dei singoli dettagli ricercati, fino alle parti periferiche dell'immagine. Un'intensità luminosa troppo forte può in questi casi essere dannosa, perchè allora, dei particolari molto fini e molto vicini tra loro si illuminano a vicenda e producono confusione nella nostra impressione visiva. Tutt'altre sono invece le

esigenze e le condizioni per l'osservazione del grande regno delle stelle fisse, le quali tutte si trovano a così grande distanza da noi che nessun ingrandimento può toglier loro il carattere di semplici punti luminosi. Per poter, dunque, vedere la maggior quantità possibile delle debolissime stelle fisse, occorre principalmente una grande intensità luminosa, ossia una grande apertura di obiettivo. Certamente, anche la distanza focale, ossia l'ingrandimento, non deve essere pure troppo piccola, perchè altrimenti i singoli punti luminosi della stella si trovano nell'immagine troppo vicini tra loro ed allora non possono più essere distinti l'uno dall'altro. Si capisce, dunque, che per gli altri scopi si combinano nel miglior modo grandi distanze focali con grandi aperture, che si possono poi sempre ridurre con diaframmi.

Al telescopio speculare, già descritto, è stata data anche un'altra forma più comoda. A questo

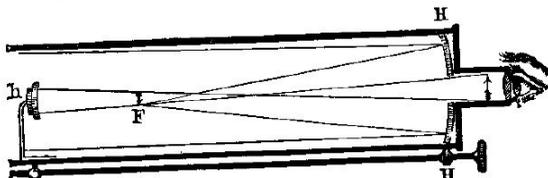


Fig. 180. – Telescopio di Gregory.

scopo, nel mezzo dello specchio concavo (HH) si fa un foro per l'applicazione dell'oculare, e di faccia a questo si pone, circa a mezza distanza focale, un altro piccolo specchio concavo h , il quale riflette nell'oculare il fascio di raggi che penetrano nel cannocchiale e che, resi convergenti dal grande specchio concavo, si riuniscono in un'immagine in F (fig. 180). Con tali telescopi si può fissare direttamente l'oggetto secondo la visuale, mentre

con quelli prima descritti si deve guardare da una parte.

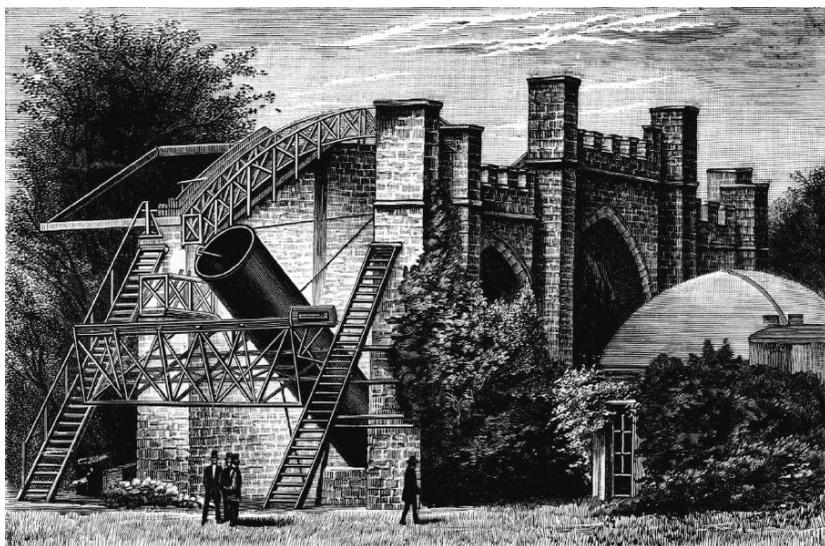


Fig. 181. – Il telescopio Leviathan di Lord Rose.

I due più celebri telescopi a specchio sono quelli di William Herschel e di lord Rosse. Quest'ultimo, della cui costruzione diamo il disegno (fig. 181), è anche oggi utilissimo per gli studi scientifici. I riflessori, per la doppia riflessione dei loro raggi, lasciano disperdere molta luce, mentre le lenti dei rifrattori, se non sono troppo spesse, ne assorbono assai poca. Questa è una ragione della loro superiorità.

Le combinazioni ottiche utilizzate nei rifrattori sono



Fig. 182. – Cannocchiale astronomico.

diversissime. Una delle più semplici è quella che costituisce il *cannocchiale astronomico* di Keplero (fig. 182). Esso consta principalmente di due lenti convergenti, l'obiettivo *OO* e l'oculare *VV*. L'obiettivo produce nel suo fuoco un'immagine reale rovesciata *ba* di un oggetto lontano *AB*, la quale poi, osservata per mezzo dell'oculare, che fa da lente d'ingrandimento, forma l'immagine ingrandita *b'a'*. I fuochi delle due lenti sono dunque coincidenti. Il cannocchiale astronomico inverte dunque le immagini dall'alto al basso e da destra a sinistra, il che, rispetto ai corpi celesti, non costituisce un grave inconveniente. Ma lo stesso strumento può diventare *cannocchiale terrestre*, nel

quale gli oggetti ritornano dritti, aggiungendovi

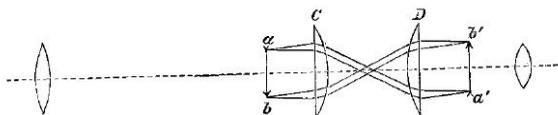


Fig. 183. – Cannocchiale terrestre.

un altro sistema di lenti *CD* che capovolge ancora una volta l'immagine, come un secondo obiettivo (fig. 183).

Subito dopo la scoperta del cannocchiale, nel 1610, si costruirono tali semplici cannocchiali astronomici in



Fig. 184. – Cannocchiale di Galileo.

grandi dimensioni, avendosi riconosciuto il vantaggio ottico delle grandi distanze focali. Hevelius costruì il cannocchiale detto aereo, nel quale l'obiettivo non era

collegato coll'oculare mediante il tubo, per la loro grande distanza (fig. 185). Con questo strumento l'Hevelius fece molte osservazioni di grande valore per i suoi tempi.

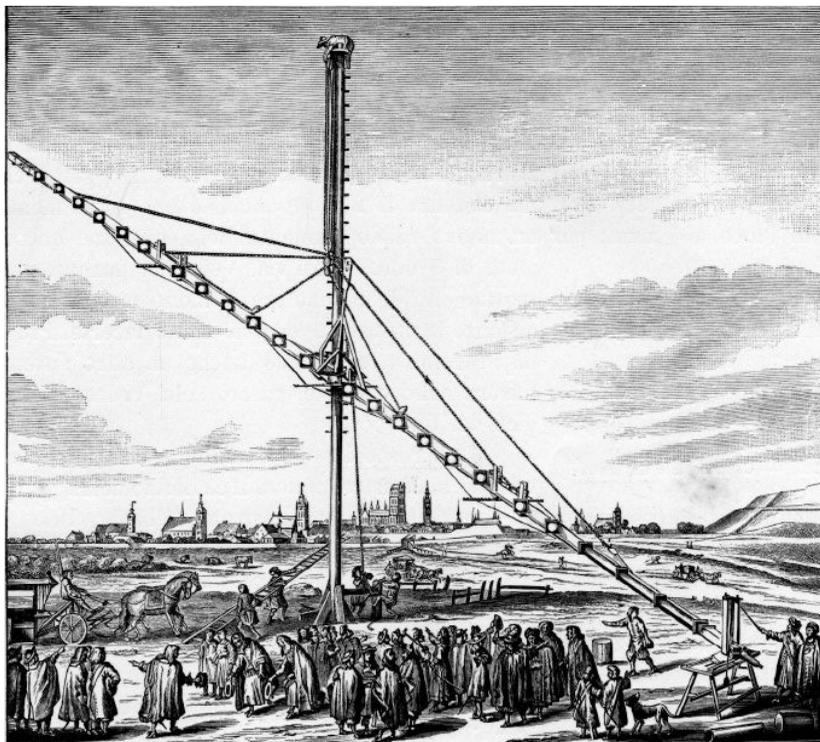


Fig. 185. – La «Machina coelestis» di Hevelius.

Oggi, mediante ingegnose combinazioni di lenti, che più tardi impareremo a conoscere, siamo giunti a diminuire tanto gli errori ottici delle piccole distanze focali, che, anche piccolissimi cannocchiali funzionano come quelli giganti del secolo XVII. Anche oggi, tuttavia, le grandi distanze focali e le grandi aperture danno i mag-

giori vantaggi: per cui si tratta sempre ancora di costruire cannocchiali più grossi che è possibile, i cui prezzi vanno crescendo progressivamente in misura eccezionale. Il più grande rifrattore esistente oggi giorno, col relativo osservatorio, è stato eretto da un Cresco americano di Chicago. Esso ha una distanza focale di circa 18 m. ed un'apertura di oltre 1 m. (40 pollici inglesi). Uno strumento quasi uguale in grandezza e valore è il grande rifrattore dell'Osservatorio fisico-astronomico di Potsdam.

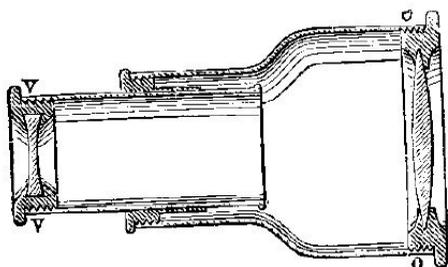
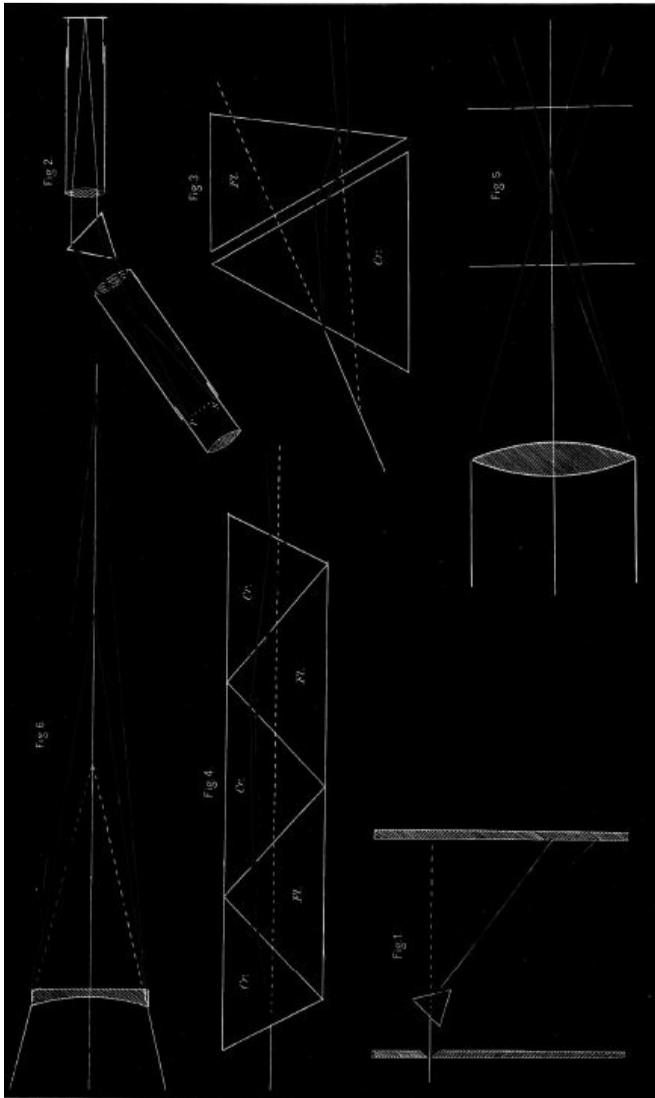


Fig. 186. – Cannocchiale da teatro.

Assai differente dagli strumenti sopra descritti, è il *cannocchiale di Galileo*, che anche ora si usa nei binocoli da teatro (fig. 184). Esso è costituito da una lente convergente e una

divergente. La prima OO , serve, come negli altri cannocchiali, da obiettivo; ma prima del suo fuoco i raggi incontrano la lente divergente vv , che funziona da oculare e fa divergere i raggi che prima convergevano verso il fuoco. Accadendo ciò prima dell'incrociamiento dei raggi, l'immagine $a'b'$ rimane diritta e ingrandita. Questo strumento presenta il vantaggio di essere assai più corto degli altri; ma deve essere costruito più grosso, dovendo l'oculare ricevere tutti i raggi provenienti dall'obiettivo. Per questa ed altre ragioni, il cannocchiale di Galileo non viene più generalmente usato in astronomia.



Dispersione dei colori nei prismi e nelle lenti (Da R. Blochmann) 1, Produzione dello spettro. – 2, Spettroscopia. – 3, Prisma composto acromatico. – 4, Spettroscopio a visione diretta di Browning. – 5, Dispersione cromatica in una lente convergente. – 6, Dispersione in una lente divergente.

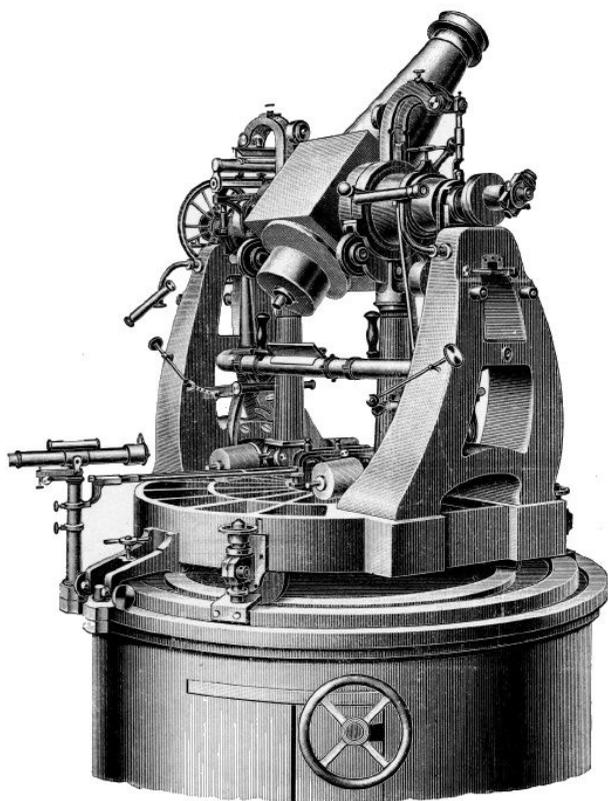


Fig. 187. – Cannocchiale per gli Azimut.

In molti casi si desidera di guardare sempre in direzione orizzontale, mentre poi il cannocchiale deve dominare l'intero firmamento. Si colloca, allora, nel mezzo del percorso dei raggi, tra l'obiettivo e l'oculare, un prisma a riflessione totale. Se si gira la parte orizzontale di un simile cannocchiale snodato, intorno al suo asse ottico, l'obiettivo descrive un mezzo cerchio intorno alla volta celeste. Se, poi, si fa fare ancora un giro di rotazio-

ne al cannocchiale nel suo piano orizzontale, si può così porre l'obiettivo in qualunque posizione rispetto all'orizzonte. Questo strumento, che serve per la misura degli *azimut*, è rappresentato nella fig. 187.

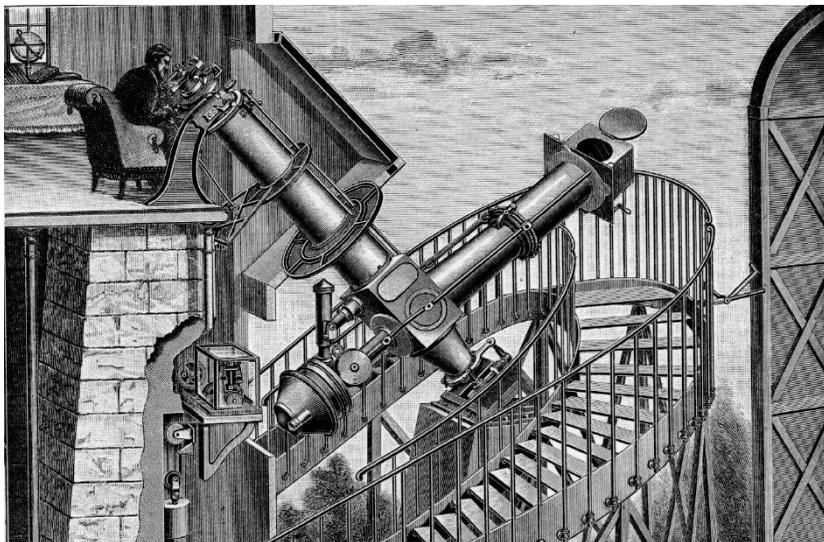


Fig. 188. – Cannocchiale a gomito dell'osservatorio di Parigi.

Altro strumento di simile genere, con prismi a riflessione totale, è l'*equatoriale a gomito* (Coudé). Il più grande è quello dell'Osservatorio di Parigi, rappresentato dalla fig. 188. Mentre il movimento dei corpi celesti intorno all'asse terrestre, usando i comuni rifrattori, obbliga l'osservatore a muoversi prendendo posizioni differenti per le varie direzioni, nei modernissimi strumenti, invece, tutti i raggi provenienti da qualunque punto del cielo, sono indirizzati, per effetto della disposizione del cannocchiale e dei suoi prismi, in una sola e medesima direzione contro all'oculare. In questo modo, l'os-

servatore può, anche dal suo studio, davanti al suo tavolino, esaminare qualunque punto dell'intera volta celeste.

Un impiego molto utile dei prismi a riflessione totale è stato fatto nei binocoli a prismi di Zeiss (fig. 189 e 190). In essi, sono i raggi mandati per tre volte avanti e indietro; e questi strumenti, conservando la loro forma maneggevole, hanno il vantaggio di un'ampiezza focale notevolmente maggiore.

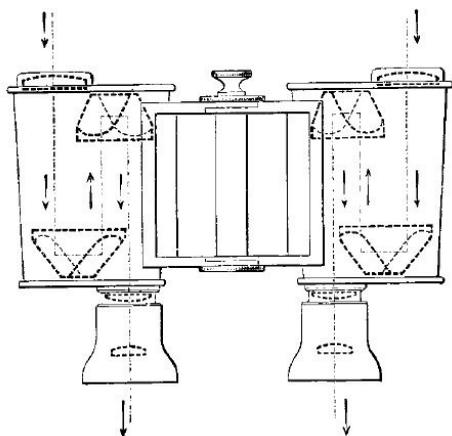


Fig. 189. – Binocolo a prismi di Zeiss.

Essendo l'immagine proiettata dall'obiettivo tanto più lontana da questo, quanto più vicino è l'oggetto, e do-

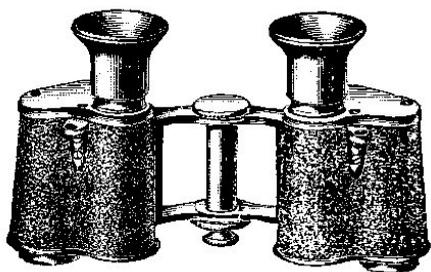


Fig. 190. – Binocolo Zeiss.

vendo il fuoco dell'oculare coincidere con essa, si fa l'oculare mobile. E si comprende, che le posizioni di questo oculare per la visione distinta, possono fornire i dati necessari a conoscere la distanza dell'oggetto stesso.

Su questo principio si sono infatti costruiti strumenti

speciali (telemetri). La formola citata $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p_1}$, mostra, per esempio, che per un cannocchiale a mano di 1 m. di distanza focale, l'oculare, per un oggetto posto a 100 m. di distanza deve essere spostato di un cm. rispetto a quella adatta per un oggetto che si trovi a distanza infinita. Per una distanza di 200 m. abbiamo uno spostamento del punto di fuoco di 5 mm.; per un nuovo raddoppiamento della distanza, ancora la metà di 5 mm. e così via. Vediamo, dunque, che gli spostamenti divengono presto molto piccoli: a grandi distanze le misure divengono molto incerte. Più tardi impareremo a conoscere anche un altro sistema di misura delle distanze, basato sulla visione stereoscopica dei due occhi.

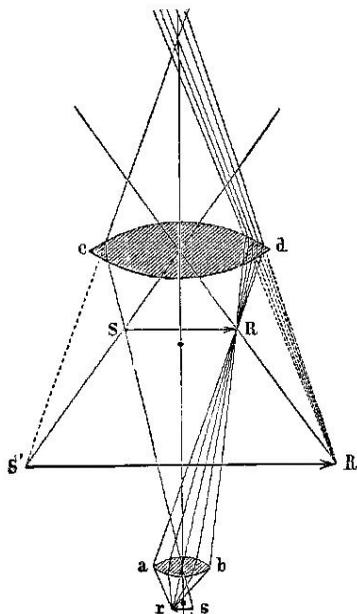


Fig. 191. – Microscopio. rs, oggetto, ab, obiettivo SR, immag. reale. S'R' immag. ingrand.

Il microscopio, otticamente, è costruito come il cannocchiale astronomico. Il cammino dei raggi in tale strumento, dopo le cose già dette, è sufficientemente illustrato dalla fig. 191.

Abbiamo già veduto, che una lente convergente proietta un'immagine ingrandita di un oggetto, il quale si trovi tra essa ed il suo fuoco. L'ingrandimento cresce avvicinando l'oggetto al fuoco, e diminuendo la distanza focale. Ma le funzioni del microscopio rispetto a quelle del cannocchiale, sono invertite, perchè, nel primo si può avvicinare quanto si vuole l'oggetto da osservare, all'obiettivo, purchè resti al di là della distanza focale; altrimenti la lente agirebbe solo come lente d'ingrandimento e non proietterebbe più un'immagine reale. Quanto più breve è la distanza focale tanto più convesse devono essere le lenti convergenti, fino a che si arriva ad un limite in cui il fuoco si trova all'interno della lente. Tali lenti allora non si possono più praticamente usare: tuttavia, per arrivare alle condizioni estreme si sono introdotti gli obiettivi ad *immersione d'olio*, i quali escludono assolutamente lo strato d'aria fra l'oggetto e l'obiettivo; cosicchè, la distanza focale di quest'ultimo deve essere calcolata, non più in rapporto all'indice di rifrazione tra aria e vetro, ma tra olio e vetro, ottenendosi così il vantaggio ottico di sopra indicato. Nel microscopio si può spingere l'ingrandimento dell'oculare, astraendo dagli

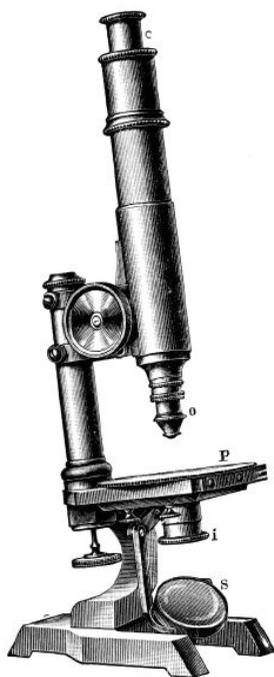


Fig. 192. — Microscopio.

effetti disturbatori di cui tratteremo in seguito, fino agli estremi limiti, poichè per gli oggetti microscopici non entra più in considerazione, come per quelli astronomici, la questione dell'intensità luminosa. Si può anzi, per mezzo di uno specchio concavo, proiettare luce sull'oggetto ed illuminarlo così fortemente, quanto è necessario per l'ingrandimento ottenuto. Le figg. 192, 193, 194, mostrano un microscopio e le sezioni dell'oculare e dell'obiettivo.

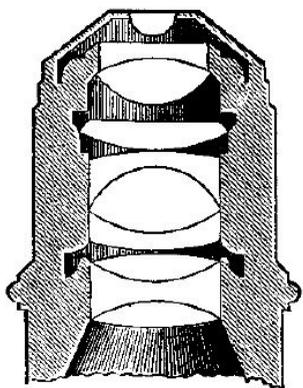


Fig. 193. — Obiettivo da Microscopio.

Le proprietà ottiche di un *obiettivo fotografico*, devono presentare, anche astraendo dalla questione dell'acromatismo, requisiti notevolmente diversi da quelli degli strumenti ottici fin qui studiati. Abbiamo già visto, che un semplice foro costituirebbe il più perfetto degli obiettivi fotografici. Ma una fotografia fatta con una simile camera oscura esigerebbe parecchi minuti di posa, mentre anche un comune apparecchio fotografico può fissare un'immagine in un quinto di minuto secondo. L'obiettivo per le fotografie istantanee, deve dare la maggiore intensità luminosa: le condizioni a ciò necessarie sono, quindi, simili a quelle del cannocchiale. Ma in questo l'ampiezza dell'immagine focale non deve essere grande; poichè si possono sempre raccogliere le singole parti di tutta un'immagine nel mezzo del cannocchiale come avviene

nella visione diretta dell'occhio; e si utilizzerà appunto la proprietà dell'asse ottico, per l'esattezza dell'immagine. Al contrario, nella camera fotografica si richiede che sia proiettata uniformemente, sopra una considerevole superficie, una fedele immagine. Occorre dunque diminuire quanto si può l'aberrazione sferica. Questa condizione è in antitesi con quella della maggiore possibile intensità luminosa, volendo costruire apparecchi maneggevoli a piccole distanze focali; perchè, colla convessità del vetro cresce l'aberrazione sferica, mentre diminuisce la distanza focale. Ora, siccome, per l'acromatismo, l'obiettivo deve essere composto di più lenti di forme diverse, si sono immaginate e poste in pratica una serie di combinazioni di superficie rifrangenti, atte a soddisfare le diverse condizioni. Si costruiscono obiettivi *da paesaggio*, che con piccole distanze focali hanno un angolo d'immagine grandissimo, ma che invece riproducono male gli oggetti vicini; si fanno poi obiettivi *da ritratti*, che hanno una lunga distanza focale, ma non mostrano dettagli netti ai margini. Ci sono poi lenti *aplanetiche*, *anastigmatiche*, *collineari*, delle proprietà delle quali non possiamo ora parlare più diffusamente.

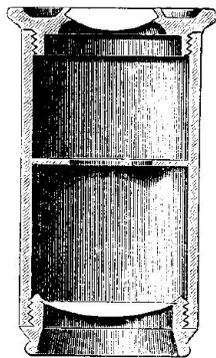
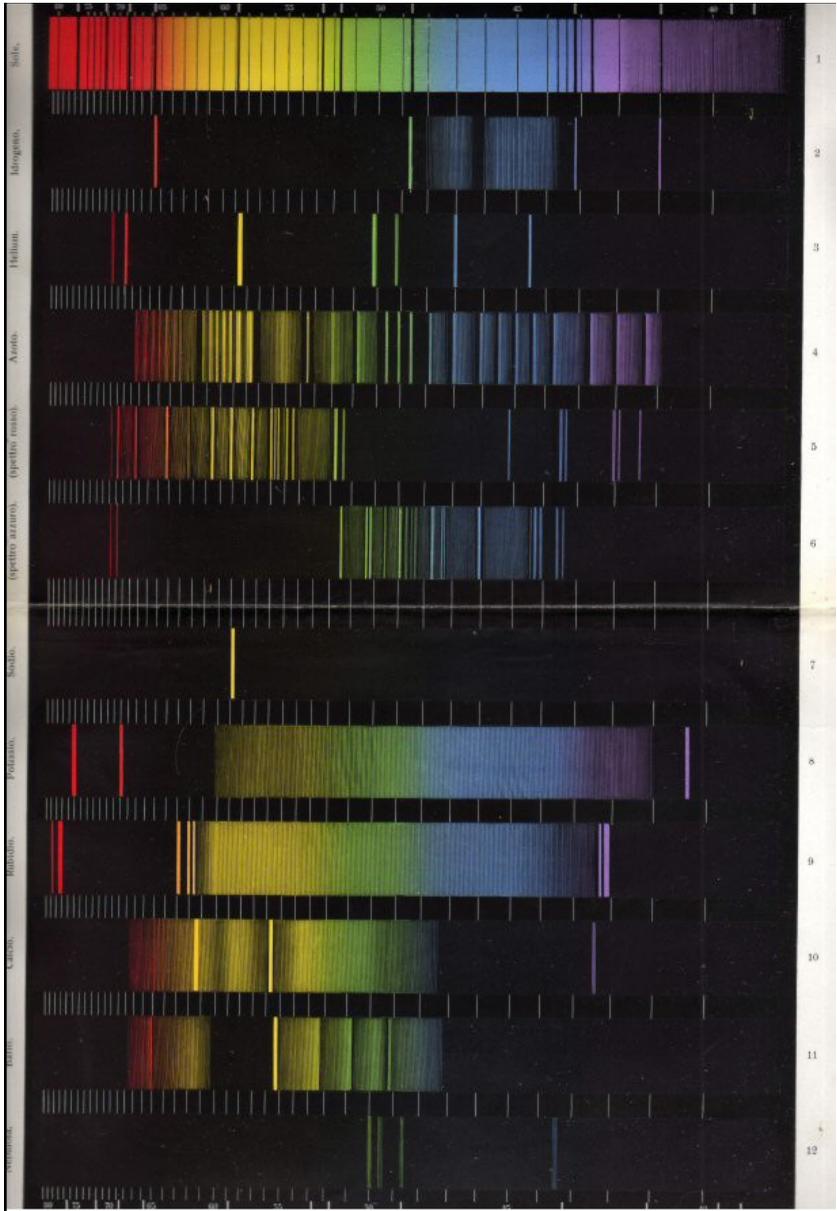


Fig. 194. – Oculare microscopico.



Spettro degli elementi chimici e dei corpi celesti.

Oggi, si costruiscono in varie forme gli *apparecchi di proiezione*, per poter mostrare contemporaneamente a molti spettatori, immagini fotografiche ingrandite.

In questi si tratta, soprattutto, di illuminare sufficientemente

un'immagine fotografica riportata sopra un vetro trasparente, per proiettarla ingrandita sopra uno schermo bianco; poichè dipende dalla intensità di luce la misura in cui si può ingrandire l'immagine, senza che divenga troppo debole per essere ben distinta. Ci si serve, a questo scopo, della combinazione di lenti, che formano un *condensatore* della luce, nel cui fuoco si pone la sorgente luminosa V. Con questa disposizione di lenti, i raggi escono parallelamente dall'altra parte, e, quindi, illuminano uniformemente e traversano l'immagine trasparente sul vetro che si colloca in *r*. L'adoprare in questi condensatori, invece di una lente convergente biconvessa, due lenti piano-convesse colle loro superficie piane volte verso l'esterno, non altera per niente la distanza focale della combinazione; con ciò i raggi periferici vengono meno riuniti e la posizione del fuoco è relativamente più incerta (Fig. 125).

Rispetto all'illuminazione, questa combinazione di

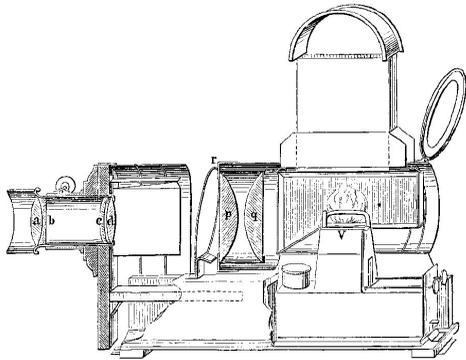


Fig. 195. – Apparecchio di proiezione.

lenti è assai vantaggiosa; e inoltre, la superficie piana della lente permette di avvicinarle quanto si vuole l'immagine disegnata sul vetro. Se, ad una certa distanza dall'immagine, sempre maggiore dalla distanza focale, si pone una lente convergente biconvessa (nella figura. si è scelta una combinazione acromatica ab, cd), questa proietta un'immagine rovesciata di quella del vetro illuminato, sopra una parete ad esso parallela; e la grandezza di quest'immagine dipende dal rapporto delle distanze del vetro e della parete dalla lente di proiezione. Si può dunque, con una medesima lente, produrre ingrandimenti a nostra volontà; e perciò l'apparecchio di proiezione si può usare come un microscopio gigantesco, capace di mostrare ad un gran numero di spettatori il mondo infinitamente piccolo. Una certa difficoltà si incontra però nell'ottenere la sufficiente intensità luminosa: a ciò, meglio di tutte le sorgenti luminose, serve la più poderosa, il sole, e allora si ha il *microscopio solare*. L'oggetto è illuminato dall'immagine focale del sole stesso, e quindi, i raggi divergenti dalla lente di proiezione sono mandati in una stanza oscura. Con questo sistema, si possono ottenere, coll'aiuto di due comuni lenti convergenti, ingrandimenti molto forti. Ma il grande riscaldamento nel fuoco dell'immagine solare, disturba molto, ciò che del resto accade sempre un poco anche con gli altri sistemi di illuminazione; per evitarlo si interpone tra la sorgente luminosa e l'oggetto, un recipiente con un liquido che assorba il calore, ma che sia trasparente per la luce, come, per esempio, una soluzione

di allume.

e) **Dispersione cromatica.**

Tutti gli effetti fin qui considerati della rifrazione valgono solo per la luce semplice, ossia di un solo colore, o *monocromatica*. Ma la luce ordinaria bianca non è di un solo colore, come mostra subito una qualunque delle esperienze sopra descritte. Se la luce bianca traversa un prisma, l'oggetto da cui proviene mostra contorni colorati, dove i colori si succedono come nell'iride. Nella tavola V, questa *dispersione dei colori* nei prismi e nelle lenti è mostrata per i due colori estremi, cioè il *rosso* e l'*azzurro*. Questi colori non possono provenire che dalla rifrazione della luce bianca, ossia essere parti di questa. Simili colorazioni ai margini, appaiono negli oggetti osservati per mezzo di un canocchiale, che sia della semplice forma descritta di sopra, cioè composto di due lenti fatte di cristallo ordinario.

Come si può, per mezzo della rifrazione, scomporre la luce bianca nei colori dell'arcobaleno, così si può pure con un facile esperimento ricomporre questi colori in luce bianca. Sopra un disco si distribuiscono, disposti a settori, quei varî colori; quindi, imprimendo al disco un rapido movimento rotatorio, le impressioni dei colori che cangiano così presto, si confondono nel nostro occhio formando il bianco. Nelle notizie fisiologiche della nostra introduzione, abbiamo già notato, che le impressioni dei sensi, di qualunque genere, non possono più

essere avvertite separatamente, se si susseguono con una frequenza maggiore di $\frac{1}{10}$ di secondo. Questa è pure la ragione per cui gli impulsi dell'aria, che si seguono molto rapidamente, vengono per noi riuniti nell'effetto sonoro. Così, qui, la somma di questi diversi colori forma una impressione unica luminosa, che noi chiamiamo colore *bianco*.

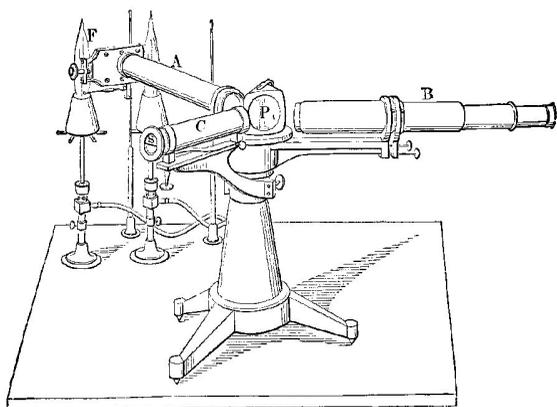


Fig. 196. – Spettroscopio.

Il fenomeno della colorazione dei margini, negli oggetti guardati attraverso un prisma, mostra, senz'altro, che i diversi colori che formano il bianco, sono rifratti diversamente.

Possiamo facilmente persuaderci di ciò, con più esattezza, facendo passare successivamente i raggi di colore diverso attraverso un prisma, e determinando i loro angoli di rifrazione rispetto ad eguali angoli d'incidenza. A questo scopo è stato costruito uno strumento speciale, lo *spettroscopio*, che ha dato risultati da porsi tra le più mirabili conquiste della scienza moderna. I fondatori della *spettroscopia* sono i due scienziati di Heidelberg, Kirchhoff e Bunsen.

Lo spettroscopio (fig. 196) consiste essenzialmente di un prisma *P*, o di una combinazione di prismi, per cui la

dispersione dei colori è ingrandita. Per poter compiere, coll'aiuto del prisma, misure, il più che si può esatte, del potere rifrangente delle diverse specie di luce, si deve fare in modo, che un raggio, limitato più nettamente che è possibile, partendo dalla sorgente luminosa cada sul prisma in una direzione conosciuta. Se la sezione trasversale del raggio fosse un punto, in molti casi la sua impressione sul nostro occhio diverrebbe troppo debole; perciò si sceglie una serie di punti, ossia una linea retta, come forma del raggio luminoso. Davanti alla sorgente luminosa si dispone uno schermo con una stretta fessura in F , che si trova nel fuoco di una lente convergente, collocata contro la prima faccia del prisma. I raggi provenienti dalla fessura, per mezzo di questa lente e del tubo A , sono guidati parallelamente verso il prisma come se provenissero da una distanza infinita. Dopo che questi raggi sono penetrati nel prisma e sono stati rifratti da questo (v. Tav. V, fig. 2), giungono ad un cannocchiale B , il cui obiettivo è volto verso il prisma. Questo riunisce i raggi paralleli nel suo fuoco, in modo che, mediante il suo oculare, si può osservare l'immagine della fessura. Per rendere l'apparecchio adatto alle misurazioni, sullo stesso sostegno dove si trovano col prisma il tubo della fenditura, detto *collimatore*, e il cannocchiale d'osservazione, è aggiunto anche un terzo cannocchiale C , il cui obiettivo è volto verso la seconda superficie rifrangente, in modo che i raggi uscenti parallelamente da esso sono riflessi da questa superficie, si riuniscono con i raggi rifratti uscenti dal prisma, e giungono così all'oc-

chio, attraverso il cannocchiale d'osservazione. Nel fuoco di questo terzo cannocchiale in S , si trova una piccola scala orizzontale fotografata sul vetro, che appare all'occhio insieme all'immagine della fenditura, e permette di fare una lettura, per mezzo della quale si può vedere lo spostamento dei diversi raggi l'uno rispetto all'altro, cioè il loro diverso angolo di rifrazione.

Se poniamo davanti alla fenditura dello spettroscopio un corpo liquido o solido di qualunque composizione chimica, e lo riscaldiamo sempre più, fino a che alla temperatura di 525° esso comincia ad emettere luce, nello spettroscopio si osserva da principio, un'immagine rossa e stretta della fessura, che a poco a poco si allarga sempre più dalla parte del raggio rifratto. La stretta immagine della fessura diventa una striscia colorata, la quale mostra, che i raggi emessi dal corpo a temperatura più elevata vengono rifratti sempre maggiormente; mentre, intanto, quelli emessi da principio restano fermi. Quanto più dunque sale la temperatura, tante più sono le qualità dei raggi emessi insieme. La successione dei colori coll'aumentare dell'incandescenza si presenta in quest'ordine: se la temperatura giunge circa a 1000° , si ha, a poco per volta, il giallo; poi viene il verde, quindi l'azzurro, e finalmente il violetto se si spinge il riscaldamento fino all'incandescenza bianca a circa 1500° . La striscia, colorata, ossia lo *spettro* del corpo irradiante, formatasi coll'estendersi dell'immagine della fessura mostra uno accanto all'altro tutti i colori dell'arcobaleno nei quali si è scomposto il raggio bianco, per rifrazione,

passando attraverso al prisma. Con un ulteriore aumento di temperatura, non si presenta alcun nuovo colore o almeno altro fenomeno luminoso visibile, solo che tutti i colori dello spettro divengono più intensi. Nella nostra tavola spettrale (I) lo spettro solare che è il primo, si presenta, a parte le linee nere, come uno spettro continuo e completo dal rosso al violetto.

Da tutto questo noi dobbiamo trarre la conclusione, che in un corpo solido o liquido di qualunque genere, le molecole ad una data temperatura non vibrano con una sola e determinata velocità, ma invece con tutte le velocità, fino ad un certo limite massimo dipendente dalla temperatura. Le vibrazioni vengono trasmesse all'etere, i cui atomi originarii producono sul nostro occhio, dentro determinati limiti, l'impressione della luce colle sue diverse combinazioni di colori. La luce rossa trova nelle sostanze rifrangenti la minima resistenza, la luce violetta la massima; ossia, il violetto è più rifratto del rosso. Le nostre nozioni sul calore non lasciano alcun dubbio, che le alte temperature equivalgono a più rapide vibrazioni delle molecole. Nei raggi violetti, dunque, le vibrazioni dell'etere devono essere più rapide che nei raggi rossi. Come possiamo da ciò spiegare meccanicamente la maggiore resistenza che i raggi violetti trovano nei mezzi rifrangenti, in confronto ai raggi rossi? La nostra esperienza col sistema delle due rotelline, ce ne può dare una spiegazione. Abbiamo veduto, che le rotelline parallele che entrano nella zona ruvida divergono tanto più, quanto maggiore è la variazione della velocità nel

passaggio. Vedremo ora nella teoria delle ondulazioni luminose, che la luce più fortemente rifratta deve essere quella delle vibrazioni più rapide, cioè quella che ha la minore lunghezza d'onda.

f) Teoria ondulatoria della luce.

Newton, il quale prima, come scienziato, ricercò le leggi fondamentali geometriche che governano i fatti naturali, poi, come filosofo volle indagare l'intima essenza dei fenomeni, immaginò che ciò che nei nostri occhi produce l'impressione della luce dovesse irradiarsi dal corpo luminoso stesso: così, egli ideò la cosiddetta *teoria dell'emissione*. Secondo questa teoria, nei processi chimici o fisici che producono l'alta temperatura dei corpi luminosi, vengono proiettate in gran numero piccolissime particelle che giungono in linea retta al nostro occhio. Il fatto che tutti i corpi incandescenti sembrano a poco a poco consumarsi, potrebbe appoggiare questa ipotesi, e con essa si possono spiegare tutte le altre proprietà della luce, di cui fin qui abbiamo parlato. Infatti, le ipotesi finora esposte per spiegarci i fenomeni luminosi, sono in realtà basate sulla teoria di un'emissione o emanazione materiale luminosa; soltanto, invece di particelle provenienti dagli stessi corpi luminosi, ammettiamo che siano atomi dell'etere, che colpiscano le molecole poste in vibrazione dal calore e siano da queste respinte. La differenza sta in ciò, che gli atomi dell'etere partecipano delle proprietà delle molecole vibranti, per

cui oltre al movimento rettilineo, devono acquistarne anche un altro del quale noi dobbiamo studiare la natura. Noi facciamo dunque astrazione da questo movimento progressivo rettilineo, che secondo noi è quello che produce la gravitazione. L'altro movimento è ondulatorio, e deve perciò possedere tutte le proprietà che noi abbiamo osservato, per esempio, in una corda vibrante. Vediamo ora, se queste analogie si verificano.

Importantissimo fatto, da noi verificato, è che un movimento ondulatorio in certe circostanze può essere annientato da un altro movimento ondulatorio, se due serie di onde, in tutto il resto di uguale natura, si susseguono con differenza di fase di mezza lunghezza d'onda. Abbiamo già considerato il fenomeno a proposito delle onde sonore, ed abbiamo veduto come due note uguali possono distruggersi, e come, per questa *interferenza*, si formino le *onde stazionarie*. Coll'aggiungere luce a luce si dovrebbe, dunque, produrre l'oscurità, se anche la luce è un movimento ondulatorio.

Questo ha dimostrato per primo il Fresnel nel 1824¹⁰. Occorreva, innanzi tutto, ottenere due sorgenti luminose di uguale lunghezza d'onda. Secondo le conclusioni a cui siamo giunti colla scomposizione della luce mediante il prisma, soltanto la luce di un solo colore dovrebbe avere solamente una determinata lunghezza d'onda. Questa condizione è soddisfatta da alcuni vapori incan-

10 L'italiano Padre Grimaldi aveva già dimostrato, nel 1633, che in certi casi *luce aggiunta a luce produce oscurità*. (N. d. T.)

descenti. Se, per esempio, si mette del comune sale da cucina in una fiamma a spirito, il sodio contenuto nel sale produce una luce gialla che è pura, ossia *monocromatica*. È da presupporre che queste cercate onde luminose siano molto piccole e che si susseguano con grande rapidità. Perciò non si può pretendere di ottenere che le onde di due diverse sorgenti luminose si susseguano esattamente a distanza di mezza lunghezza d'onda, ossia si trovino tra loro ad una distanza che si può supporre circa di $\frac{1}{1000}$ di secondo.

Perciò il Fresnel adoperò una sola sorgente luminosa F , facendone riflettere i raggi da due specchi AB e BC che formano tra loro un angolo quasi piatto (fig. 197). I raggi provenienti dai due specchi, cadono sopra uno schermo, in modo che in ciascun punto di questo si sovrappongono. La direzione dei due raggi, per l'inclinazione degli specchi è un poco diversa, secondo l'obliquità di questi. Se la luce è un movimento di

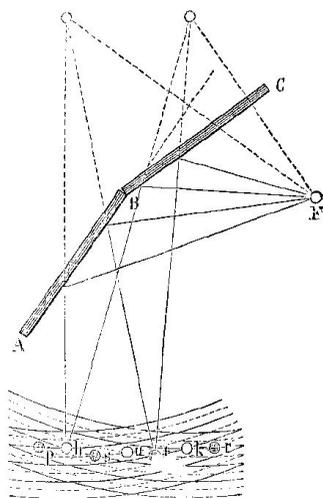


Fig. 197. — Specchi di Fresnel.

onde, per effetto di questa diversità di direzione, avverrà che in certi punti dello schermo si incontreranno onde, provenienti dai due specchi, con una differenza di cammino, di mezza lunghezza d'onda, per esempio nei punti p, s, t, r . Quivi, le onde si estinguono; mentre nei punti vicini, h, u, k , sovrapponendosi

in coincidenza di fase, sommano il loro effetto luminoso. Si formano così onde fisse, come abbiamo già osservato sopra la superficie dell'acqua, agitata da due pietre gettatevi. Se si proietta un'immagine della fiamma del sodio attraverso ad una fessura, formando una linea luminosa, sullo schermo appariranno linee chiare e linee scure, le cosiddette *linee d'interferenza*. Disponendo l'esperienza colla precisione che esige la straordinaria piccolezza delle onde luminose, si può in realtà riconoscere in modo non dubbio queste linee, per mezzo di una lente d'ingrandimento. Con ciò è data la prova rigorosa della natura ondulatoria della luce; e dopo le teorie svolte sulla natura del calore raggianti, non potevamo aspettarci una cosa diversa da questa.

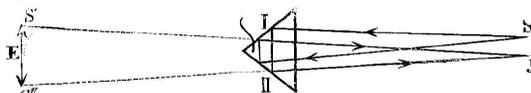


Fig. 198.

Prisma di Marten per l'interferenza.

Recentemente, Martens si è servito per questa ricerca della riflessione totale. Nella figura

198 si vedono le due faccie di un prisma, il cui angolo è pochissimo diverso da un retto, nel caso presente di $2\frac{1}{2}$ gradi. Del fascio di raggi che parte da S, un raggio è riflesso da I verso II, e quindi respinto ancora verso il suo punto di partenza; un altro raggio invece percorre il cammino inverso, da II verso I. Entrambi s'incontrano, dopo un percorso di lunghezza un po' diversa, in J, interferendo. All'osservazione, i due raggi sembrano provenire da S' e S'', e la lunghezza E sta in un rapporto determinato colla lunghezza d'onda della luce adoperata;

così questa lunghezza può essere misurata.

La distanza osservata, nei varî casi, tra due linee d'interferenza, può evidentemente servire alla misura della lunghezza delle onde luminose, poichè corrisponde nei due raggi ad una differenza di cammino di mezza lunghezza d'onda. La distanza fra due linee, il cammino percorso dalla luce, fra la sorgente luminosa e lo schermo, e l'angolo tra i due specchi sono i dati necessari per potere, indipendentemente da ogni altra supposizione, determinare la grandezza di queste onde. Si ottengono così lunghezze estremamente piccole. Le onde della luce gialla del sodio hanno una lunghezza di 589 milionesimi di millimetro ($589 \mu\mu$). Le onde che prime appaiono al nostro occhio come luminose, all'estremità rossa dello spettro hanno una lunghezza di $770 \mu\mu$; le ultime onde visibili dalla parte del violetto sono lunghe circa la metà. Perciò, il miscuglio di onde emesse da un corpo incandescente al calor bianco, comprende solo un'ottava, entro i limiti nei quali l'occhio può percepire le onde come luce. I limiti fisiologici della facoltà di percezione della luce sono molto più stretti di quello dell'udito. Si può credere però, che questa limitazione offra il vantaggio di ricevere impressioni più nette e sicure, perchè se si potessero percepire più ottave, in cui i colori si ripetessero, non avremmo forse a guadagnarci.

Le proprietà generali delle onde, che già abbiamo imparato a conoscere nelle corde vibranti, devono valere per tutti i movimenti ondulatorii. Come abbiamo immaginato la corda divisa nei suoi singoli elementi, così ora

dobbiamo vedere le ondulazioni propagarsi in linea sinuosa, lungo i raggi luminosi ossia lungo file di atomi d'etere. Anche per queste onde eteree, vale il rapporto già trovato tra la lunghezza d'onda e il numero di vibrazioni, $N = \frac{v}{l}$ in cui v è la velocità di propagazione e l

la lunghezza d'onda. Per le onde più lunghe, quelle rosse, otteniamo da questa formola, per N , in numero tondo, 390 bilioni di vibrazioni al secondo; la luce violetta vibra con velocità doppia. Ci troviamo qui dinanzi a cifre che sono così poco concepibili, come quelle delle dimensioni e distanze dei corpi celesti, e che, pur tuttavia, riteniamo con quelle paragonabili in proporzione di grandezza. Se sono giuste le nostre ipotesi, i tempi impiegati dai pianeti atomici, nelle rivoluzioni intorno ai centri di attrazione, devono corrispondere alla durata delle vibrazioni luminose, quando sia raggiunta la temperatura necessaria per emettere una data qualità di luce. Vi sono dunque sistemi cosmici, i cui membri, in un solo minuto secondo, girano intorno al loro centro d'attrazione centinaia di bilioni di volte, ed altri, invece, che impiegano a ciò, delle centinaia di anni. In mezzo a queste smisurate differenze di grado nello svolgimento dei fatti naturali, sta l'uomo, che cerca di arrivare a farsi un'idea di tutto ciò che si trova sopra e sotto di lui. Se noi ci immaginiamo quei pianeti molecolari, abitati da esseri intelligenti, a questi esseri, i più rapidi movimenti ancora umanamente percettibili sembreranno durare

un'eternità: poichè per essi, un solo minuto secondo nostro rappresenta una durata di 400 bilioni di anni, che equivale, in proporzione, forse ad un milione di volte il tempo impiegato dalla Terra nel suo sviluppo.

Tra le più rapide vibrazioni che noi abbiamo imparato a conoscere come onde sonore, le quali al massimo arrivano a 90.000 al secondo, e la prima onda luminosa, vi è un abisso di intervallo, che senza dubbio in natura è colmato. Del resto non dobbiamo dimenticare, che le onde sonore si espandono in un mezzo affatto diverso da quello della luce: delle onde eteree, per numero di vibrazioni uguali alle onde sonore, possono accompagnarsi a queste e produrre effetti del tutto dissimili. Si tratta dunque di completare l'intero campo del movimento a partire da zero sino al più basso numero di vibrazioni luminose. In questo campo si trova il calore raggianti, fino a che la temperatura resta al di sotto del calor rosso.

g) L'analisi spettrale.

Dopo questa digressione, che ci ha spiegato la natura della luce come un movimento ondulatorio, ritorniamo alla sua decomposizione spettroscopica nei singoli colori, o toni di luce, come li possiamo chiamare.

Ogni corpo incandescente al calor bianco, emette tutte le qualità di luce, ossia tutte le lunghezze d'onda, comprese nei limiti sopra accennati: allora questo corpo dà uno *spettro continuo* fra il rosso e il violetto. Questo comportamento allo spettroscopio appare come una pro-

prietà generale dello stato d'aggregazione solido e liquido, per tutti i corpi. Lo stato gassoso, che sotto tanti rapporti si mostra fisicamente separato dagli altri, presenta pure, nelle vibrazioni luminose, caratteri notevolmente diversi. Le indagini sopra questi fenomeni han condotto ai meravigliosi successi dell'analisi spettrale.

Parlando dell'esperienza fondamentale di Fresnel, diciamo che la luce gialla dei vapori di sodio è monocromatica. Una tale fiamma gialla, portata davanti alla fessura dello spettroscopio; mostra (almeno fino a che non si adoperano altri strumenti e mezzi non comuni) invece delle zone multicolori, una sola linea luminosa gialla, che si trova proprio nel punto in cui, nello spettro continuo, si ha questo colore giallo (v. fig. 202). Dunque, il vapore incandescente di sodio emette soltanto luce di una lunghezza d'onda determinata, come una corda; con una data tensione, dà sempre la medesima nota. Per conseguenza, tutti gli atomi di sodio incandescente, hanno una sola velocità di rotazione nei loro sistemi molecolari.

Ciò si può spiegare secondo le nostre ipotesi sul calore. Il sodio può naturalmente assumere qualunque temperatura, e portato al calor rosso dovrebbe emettere anche raggi rossi. Ma a questa temperatura ne evapora tanto, che i raggi gialli del vapore coprono i *toni* del rosso. La linea gialla appare allo spettroscopio sopra un debole spettro continuo, la cui estensione è relativa al grado di incandescenza del sodio non ancora evaporato. Ora abbiamo veduto che nei corpi solidi e liquidi il giallo dello

spettro appare solo a temperature superiori a 1000° , mentre le linee gialle del sodio si mostrano già a temperature molto inferiori. Qui occorre prendere in considerazione la differenza tra temperatura e calore raggiante. Nel precedente capitolo, furono spiegati i fenomeni calorifici come movimenti molecolari, che trovano la loro misura nella grandezza del diametro orbitale e nella velocità. Lo spettroscopio ci mostra ora che gli atomi del vapore di sodio hanno nella molecola un solo e costante periodo di rivoluzione e che la temperatura fa cambiare solo l'estensione delle orbite. Diversamente avviene per i corpi solidi o liquidi; in questi stati la libera mobilità trova molta resistenza; di modo che, per le reciproche deviazioni, divengono possibili anche più piccole durate di rivoluzione.

Lo spettroscopio ci rivela questa mirabile verità, che le libere molecole dei gas di un qualunque corpo formano dei sistemi cosmici, i cui singoli membri sono diversi per ogni sostanza chimica, ma hanno periodi di rivoluzione determinati. Ogni gas incandescente mostra uno dei cosiddetti *spettri a righe*, che in generale non è, come nel sodio, composto di una sola linea, ma, per molte sostanze, da un gran numero di linee separate da spazi oscuri. Anche lo spettro del sodio, a rigore, non mostra una sola linea. Coll'impiego di un sistema di prismi che disperdono molto fortemente i colori, quella linea gialla si divide in due righe gialle che restano accosto tra loro, e che si ripetono in serie. Nella Tavola V sono disegnate da Erdmann le linee spettrali di diverse sostanze. Essen-

do la luce che genera queste linee, irradiata direttamente dalle rispettive sorgenti luminose, si chiamano anche *spettri di emissione*.

Nello spettro del ferro furono osservate e misurate 4500 linee, e molte altre sostanze mostrano parimente spettri complicati. Dobbiamo noi concluderne che ciascuna di queste lunghezze d'onda appartenga ad un particolare pianeta molecolare che ha il suo proprio periodo di rivoluzione? Quei piccolissimi sistemi cosmici sarebbero talora notevolmente più ricchi di singoli corpi, dei sistemi di mondi da noi conosciuti nello spazio celeste, non volendo comprendere nel nostro sistema solare anche i pianetini. Per esempio, lo spettro del ferro mostra non solo un gran numero di linee particolarmente chiare, ma anche moltissime linee debolissime, quali, per fare un paragone, si presenterebbero, se si potessero esaminare allo spettroscopio, le onde eteree che dal nostro sistema solare sono irradiate nell'universo per mezzo dei movimenti dei suoi pianeti e della luna. Sono le stesse onde eteree che partono dai sistemi molecolari; soltanto che le loro lunghezze d'onda si dovrebbero misurare a milioni di chilometri, invece che a milionesimi di millimetro.

In realtà, tuttavia, questa nostra induzione, che passa dal campo delle linee spettrali astronomiche a quelle dei sistemi cosmici molecolari, esige una essenziale limitazione che risulta senz'altro dalle nostre nozioni sulle onde sonore. Noi facemmo a suo tempo l'osservazione, che una nota fondamentale provoca un certo numero di

note superiori o armoniche; ossia, che la catena principale di onde è sempre increspata da una serie di più piccole onde, che danno alla nota tonica il suo carattere speciale o timbro. Uguale proprietà hanno anche le onde luminose; se si produce un tono di luce fondamentale abbastanza forte, si hanno pure le *terze*, e le *quinte* di luce. Nella formazione di queste linee più deboli di uno spettro complesso, le lunghezze d'onda stanno tra loro in un semplice rapporto matematico come nel caso delle onde sonore. Col crescere dell'intensità della sorgente luminosa, sempre in maggior numero compariscono le linee più deboli, e, in certe speciali circostanze, anche queste linee dei toni superiori vengono rinforzate altrettanto, come le note armoniche musicali per mezzo dei risonatori.

Tutto ciò avviene anche negli spettri dei gas con una analogia sorprendente. Cominciamo con lo spettro dell'idrogeno. A debole incandescenza questo elemento mostra allo spettroscopio solamente tre linee; ma già ad una temperatura un po' più elevata, il loro numero cresce, e risulta, che la lunghezza d'onda di tutte queste linee è espressa dalla formula

è espressa dalla formula $\frac{364,542 m^2}{m^2 - 4}$, nella quale

al posto di m si deve porre uno dei numeri riportati qui sotto nella 1.^a colonna. Dalla formula, si ottengono col calcolo le lunghezze d'onda riportate nella seconda colonna in milionesimi di millimetro; nella terza colonna si hanno i valori delle rispettive linee trovate coll'osser-

vazione.

m		valore calcolato		valore osservato
3	—	656.18	—	656.21
4	—	486.07	—	486.07
5	—	433.95	—	433.95
6	—	410.12	—	410.12
7	—	396.92	—	396.92
8	—	388.81	—	388.81
9	—	383.49	—	383.49
10	—	379.73	—	379.73
11	—	377.00	—	376.99
12	—	374.96	—	375.02
13	—	373.38	—	373.41
14	—	372.14	—	372.11
15	—	371.14	—	371.12

Le tre prime linee, le quali corrispondono alle lunghezze d'onda calcolate per $m = 3, 4, 5$, sono le più luminose. Similmente, le note armoniche corrispondenti, nei rapporti, a numeri più piccoli o più semplici, risultano sempre le più forti. Linee superiori a quelle del numero $m = 5$, cogli ordinari spettroscopi non si possono già più riconoscere. Dal confronto fra i valori trovati col calcolo e quelli dell'osservazione, scaturisce il perfetto accordo tra teoria e realtà.

Le differenze sono solamente di alcuni centesimi di milionesimo di millimetro, e restano quindi dentro i li-

miti degli inevitabili errori di osservazione. Da questo accordo inoltre si può riconoscere fino a quale prodigiosa esattezza si è spinta la moderna arte d'osservazione.

Tutte le lunghezze d'onda qui raccolte si trovano in una medesima ottava. Non può essere altrimenti, perchè noi fin ora parliamo solo dello spettro visibile, la cui estensione comprende appunto una sola ottava. Di fronte a quello che abbiamo sperimentato per le note musicali, nelle onde luminose il numero delle note armoniche percettibili è molto maggiore. L'occhio, dentro gli angusti limiti che gli sono imposti, è molto più sensibile dell'orecchio, e particolarmente poi ha il meraviglioso mezzo d'aiuto dello spettroscopio per la scomposizione dei complicati accordi della luce. Un simile strumento manca ancora per l'analisi delle onde sonore.

Nello spettro dell'Idrogeno si osserva che le linee si accostano sempre più tra loro avvicinandosi all'estremità violetta dello spettro, ossia, quanto più piccole diventano le lunghezze d'onda. Calcolando ancora i valori, per le linee che corrispondono a numeri interi più alti di 15, si trova che esse si serrano sempre più strette fra loro fino a che per $m = \infty$ la lunghezza d'onda arriva a 364.542; a questo punto si combinano insieme un numero infinito di linee. Se queste fossero abbastanza luminose da essere ancora visibili, dovrebbero già prima di questo limite trovarsi così vicine fra loro da non apparire più separate; farebbero dunque l'impressione di uno spettro continuo, ma formato da lunghezze d'onda di 364.542. Molte sostanze che appartengono a gruppi chi-

mici ben distinti, presentano realmente una simile disposizione delle linee spettrali, come quelle che nell'idrogeno per la debolezza della luce non possiamo vedere, ma solamente calcolare.

Si forma in questo modo il cosiddetto *spettro a bande* (vedi nella Tavola I lo spettro del Bario) composto da una serie di striscie che da una parte sono nettamente limitate, mentre dall'altra vanno a poco a poco perdendosi. Talvolta si riconoscono ancora le singole linee delle quali sono composte le striscie; ma per lo più lo spettro appare omogeneo per tutta la striscia, solo che si perde rapidamente l'intensità luminosa che ritorna improvvisamente con la banda prossima. È facile comprendere la formazione di tali spettri da serie di armoniche luminose.

Anche un altro notevolissimo fatto sembra spiegarsi con queste serie armoniche.

Con un forte riscaldamento dei gas, quale può ottenersi con una scintilla elettrica che li traversa, non solo appaiono le nuove linee, ma quelle che già erano presenti e che col crescere della temperatura divenivano sempre più chiare, cominciano ad allargarsi in modo da occupare tutto lo spazio fino alla linea più prossima, e così si forma uno spettro continuo. Questi gas dunque, con forte riscaldamento si comportano come i corpi solidi o liquidi: ed un paragone coi fenomeni dell'acustica renderà chiaro anche questo. Se si tocca un tasto di un pianoforte, oltre alla corda corrispondente a quella nota, si eccitano anche le relative note armoniche superiori. Si

forma acusticamente uno *spettro a bande*. Ma se si agisce su quella nota fondamentale con una forza eccessiva, come per esempio, sonando una tromba, nella cassa del pianoforte, allora cominceranno a vibrare tutte le corde, e dal rumore totale non emergerà particolarmente alcuna nota speciale; si avrà allora uno *spettro continuo*. Così le vibrazioni nel gas fortemente riscaldato si disturbano reciprocamente; allora i loro ventri e nodi s'intrecciano tra loro e mostrano nello spettro tutte le lunghezze d'onda.

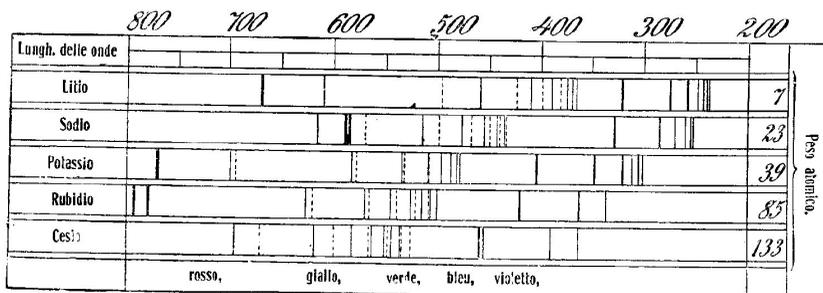


Fig. 199. – Dipendenza dello spettro dal peso atomico.

Per l'idrogeno e per qualche altro elemento chimico, si è d'accordo nella supposizione che si tratti di un solo pianeta molecolare, il cui circolare movimento periodico provoca tutte le lunghezze d'onda delle vibrazioni dell'etere, per le quali noi vediamo le linee nello spettro. Lo stesso non si può dire di tutti gli elementi: ma si comprende già, sebbene queste ricerche siano ancora recentissime, che si tratta sempre di un numero relativamente piccolo di membri, in questi sistemi cosmici molecolari; i quali perciò sono perfettamente comparabili

ai grandi sistemi planetarii. Sull'argomento dei rapporti che passano tra lo spettro e la natura chimica della materia ritorneremo in seguito.

Una notevolissima analogia coi grandi sistemi planetari la presentano gli spettri con doppie linee vicine, come quelle del sodio. Le lunghezze d'onda delle due linee non stanno in un rapporto che dimostri l'una nota essere armonica dell'altra; esse sono autonome e devono dunque provenire da due diversi corpi molecolari rotanti, che hanno tempi di rivoluzione non perfettamente, ma quasi uguali.

Uguali osservazioni si possono fare rispetto ai pianeti e alle loro lune. La terra col suo satellite, relativamente assai grosso, ridotta a dimensioni microscopiche produrrebbe, col suo movimento di rivoluzione, una simile coppia di onde eteree. Colle doppie note fondamentali dello spettro del sodio si generano delle note armoniche, e perciò si presentano altre linee tutte doppie. Questo accade per la seconda linea della serie; le altre linee trovate nel posto previsto e calcolato dalla teoria, sono troppo deboli perchè si possa riconoscere il loro carattere di linee doppie. Ma è perfettamente sufficiente quella seconda linea doppia, per poter paragonare la molecola di sodio ad un sistema cosmico doppio.

Ma non solo le linee di un medesimo spettro mostrano tali regolarità che ci permettono di gettare uno sguardo in questo meraviglioso universo degli atomi; si osservano anche rapporti tra gli spettri di elementi diversi, che ci rilevano la loro dipendenza, dal peso atomico, os-

sia dalla massa dei singoli corpi in movimento.

Dalla tabella qui riportata si vede che le serie delle linee col crescere del peso atomico si avvicinano sempre più dalla parte del rosso; cioè, che i loro membri molecolari hanno movimenti di rivoluzione tanto più lenti quanto maggiore è la massa posta in movimento; tutto ciò in esatta corrispondenza con quel che sappiamo del grande universo stellare. Certamente questi studi, che da pochissimo tempo sono stati intrapresi, debbono ancora essere molto approfonditi per poter fissare con maggiore esattezza questi rapporti di così alto interesse.

È pure notevole il fatto che i gas, con le diverse tensioni della corrente elettrica che li porta all'incandescenza, mostrano spettri affatto diversi. Come prova di ciò abbiamo riportato nella nostra Tavola i due spettri dell'*Argon* secondo Erdmann. Lo spettro rosso si manifesta in condizioni normali, quello azzurro si produce se si aumenta la rarefazione nel tubo di vetro, e si fa passare la scintilla, ad alta tensione, di una batteria di condensatori.

Quando, innanzi, abbiamo parlato del passaggio che, con la vaporizzazione della sostanza, avviene nei corpi liquidi o solidi, dallo spettro continuo a quello di emissione a righe, non abbiamo accennato, per semplicità, ad un fenomeno che si produce, quando ancora la maggior parte della sostanza è incandescente al bianco, ma è circondata da un'atmosfera di vapori. Cerchiamo di prevedere teoricamente come dovrà formarsi lo spettro di un corpo in queste condizioni. I vapori della sua atmosfera

sono certamente caldi, ma senza dubbio meno del nucleo centrale incandescente che circondano, rimanendo essi più vicini all'ambiente freddo ed irradiando calore in questo. Il solo mantello di vapori genererebbe uno spettro a linee chiare, il nucleo solo uno spettro continuo. Se l'aggiunta di luce a luce producesse in tutte le circostanze un aumento dell'intensità luminosa, gli spettri sovrapposti del nucleo e del mantello dovrebbero formare una striscia colorata continua, nella quale le linee chiare dello spettro gassoso apparirebbero ancora più brillanti. Ma se consideriamo il fenomeno secondo la teoria delle ondulazioni dobbiamo giungere a conclusioni opposte. Dal nucleo bianco incandescente partono onde luminose di ogni lunghezza, e perciò anche della lunghezza corrispondente alle linee chiare dello spettro gassoso della stessa sostanza. Ma l'ampiezza delle onde che partono dal nucleo è maggiore, rispetto a quelle che provengono dallo strato gassoso meno caldo. L'azione delle due ampiezze d'onde tende ad uguagliarsi, o, in altre parole, le temperature del nucleo e del mantello tendono a equilibrarsi. Per questa ragione, l'intensità delle onde nei punti dello spettro continuo dove si trovano le linee del gas, diviene minore, perchè una parte dell'energia di movimento resta assorbita, contribuendo a quest'elevamento di temperatura: per cui proprio questi punti dello spettro appaiono più oscuri del resto del campo. Ciò è confermato dal seguente esperimento. Si produca in una maniera qualunque uno spettro continuo, come è dato da qualunque fiamma a gas, la cui luce è

prodotta dall'incandescenza di tante piccole particelle di carbone che si trovano nella fiamma. Se nel cammino dei raggi, fra la sorgente luminosa e lo spettroscopio, si pongono dei vapori di sodio a temperatura non troppo elevata, nel campo giallo dello spettro appare una linea oscura, precisamente nello stesso punto in cui subito comparisce la nota linea gialla, se si sposta la sorgente luminosa. Questo fenomeno si può osservare con tutte le sostanze. Lo spettro così formato, con linee oscure che solcano lo spettro colorato continuo, si chiama *spettro d'assorbimento*. Esso è disegnato al primo posto, come ce lo presenta la luce solare, nella nostra Tavola.

Il fenomeno è analogo a certi effetti di risonanza acustica. Come le onde luminose del nucleo comunicano un movimento vibratorio alle molecole del mantello, così un suono eccita una corda che si trovava in quiete, se essa dia un numero di vibrazioni eguale a quello del suono eccitatore. Un effetto sonoro che sia esattamente paragonabile allo spettro d'assorbimento è però difficile ad ottenersi. Se si battono insieme tutti i tasti di un pianoforte, sopra il quale si trovi un violino, si sentono poi suonare le corde del violino: ma questo fenomeno corrisponde ad uno spettro di emissione, perchè sono le corde stesse che suonano ed emettono delle note. Un effetto corrispondente nel campo della luce si avrebbe riscaldando del vapore freddo di sodio, per mezzo del calore irraggiato da un corpo incandescente al bianco, fino a che questo vapore divenisse caldo e luminoso, mostrando il suo spettro a righe. Un fenomeno acustico corri-

spondente allo spettro d'assorbimento potrà prodursi, se, continuando a suonare tutte le corde di un pianoforte, mentre vicino a questo si trova un violino le cui corde suonino pure, avvenga che si sentano più deboli delle altre le note del pianoforte corrispondenti a quelle del violino. Teoricamente, questo deve accadere, perchè, per la risonanza che pone in vibrazione il violino, alle corrispondenti note del pianoforte è tolta più energia che alle altre; ma il nostro orecchio nell'agitato complesso dello spettro acustico continuo non è in grado di poter distinguere le singole note. Uno spettroscopio per il suono non è ancora stato trovato.

Risulta dalle cose dette, che le linee di assorbimento non possono essere proprio nere, ossia prive di luce, perchè le molecole del mantello gassoso vibrano pure, proporzionalmente alla loro temperatura. Se questa fosse uguale a quella del nucleo, non si avrebbe alcun assorbimento. La maggiore o minore oscurità delle linee d'assorbimento può, perciò, fornire una misura per la differenza di temperatura fra nucleo e mantello.

Si è già detto che esistono onde aeree, il cui numero di vibrazioni è molto maggiore di quello delle più alte note percettibili all'udito. Fino a qui si sono ritrovati nella luce tutti i fenomeni che imparammo a conoscere nel suono; e noi sappiamo, che le onde del calore raggiante, aumentando a poco a poco il numero delle loro vibrazioni, passano ad emettere luce rossa. Così è da presupporre, che, anche dalla parte violetta dello spettro, la serie, fino a quel punto ininterrotta, delle onde eteree,

in realtà non cessi dove la sensibilità del nostro occhio pone un limite soggettivo, ma che si abbiano ancora altre onde più piccole e di minor periodo di quelle dell'estremo violetto visibile. Infatti, come si hanno raggi *infrarossi*, ossia raggi calorifici oscuri, così siamo arrivati a dimostrare anche la presenza dei raggi *ultravioletti*. E ciò è stato possibile, valendoci delle proprietà di certe sostanze, che convertono una parte della luce irradiata, non in calore, come abbiamo osservato fin qui, ma di nuovo in luce; tali sono i corpi detti *fosforescenti* e *fluorescenti*, dei quali avremo da occuparci ancora in seguito. In questi, coll'assorbimento non viene diminuita l'ampiezza delle orbite molecolari, che determina il grado di temperatura, ma la durata delle vibrazioni. La luce di maggiore lunghezza d'onda si trasforma in luce di lunghezza d'onda minore; ossia, nella fluorescenza, il colore della luce assorbita si cambia in un altro con minor numero di vibrazioni, che è spostato di una certa misura, verso la parte meno rifrangibile dello spettro. Il giallo diventa rosso, il verde diventa giallo, e quindi anche l'ultra-violetto diventa violetto; e così i raggi invisibili diventano visibili. A questo scopo serve comunemente uno schermo coperto di platinocianuro di Bario, che si adopra anche per rendere visibili i raggi Röntgen. Se si copre con questa sostanza solo la metà superiore di uno schermo di carta e vi si proietta uno spettro su entrambe le parti, nella metà superiore coperta dal sale di Bario lo spettro avrà una maggiore estensione che nella metà inferiore, e tutta la parte in più dello spettro supe-

riore sarà colorata in violetto.

Per l'esame di questo spettro ultra-violetto non si possono adoperare i comuni prismi di cristallo, perchè assorbono fortemente questi raggi. Invece il quarzo non li assorbe; e per mezzo di un prisma di quarzo, oltre lo spettro visibile, si può osservare almeno un'altra ottava di luce, nella quale si continuano le serie di linee. Del resto, lo stesso prolungamento e le stesse linee si osservano anche nello spettro calorifico *infrarosso*. La regolare disposizione delle linee nello spettro visibile, si presenta anche da ambedue le parti nello spettro invisibile. Si può anche prevedere in qual punto dello spettro invisibile deve trovarsi una linea, e sempre vi si trova, quando la potenza dello strumento lo permetta.

I raggi ultra-violetti hanno proprietà notevolissime, che li fanno distinguere dagli altri. Non possiamo ora trattare dei loro singolari effetti elettrici, solo da poco tempo scoperti; possiamo dir qualche cosa della loro azione chimica. È noto che la luce determina i processi chimici per cui si formano immagini fotografiche. Certe sostanze, specialmente i sali d'argento, hanno la proprietà di essere decomposti dalla luce, cosicchè se ne separa argento metallico nero, che riproduce l'immagine ottica proiettata dalla lente dell'apparecchio. Senza entrare nell'esame di questi fenomeni chimici, basti ora sapere che questa azione è prodotta molto debolmente dai raggi rossi, e colla massima intensità dai raggi ultra-violetti. Essendo dunque i raggi ultra-violetti quelli chimicamente più efficaci, si può riprodurre fotografa-

mente lo spettro invisibile ultra-violetto, come quello visibile, anzi con miglior risultato. Questo è infatti il mezzo con cui si studia questa importante parte dello spettro.

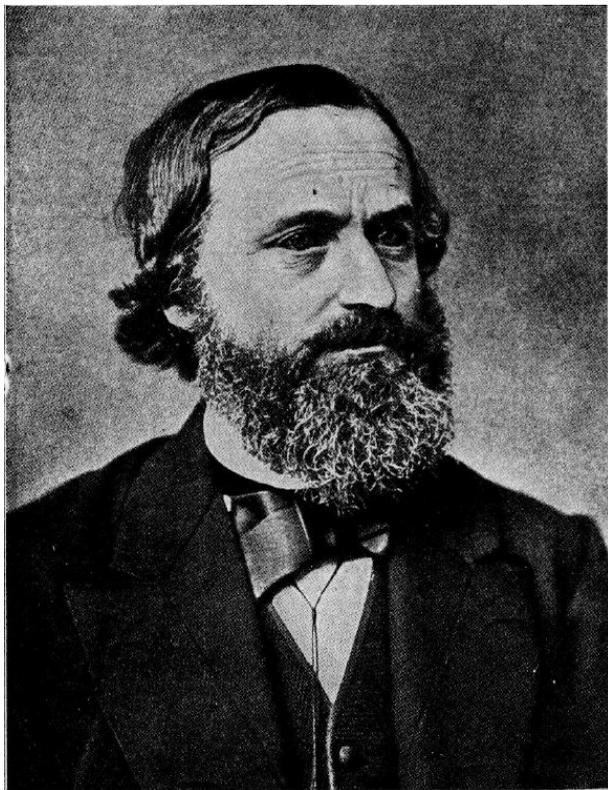


Fig. 200. – G. R. Kirckoff.

Le linee chiare o scure e le bande delle diverse parti dello spettro rimangono, per un medesimo elemento chimico, sempre allo stesso posto, e così offrono un eccellente mezzo di riconoscere la presenza di quel corpo, mediante l'osservazione spettroscopica del vapore incandescente della sostanza.

Ciò è stato dimostrato luminosamente, intorno al 1860, da Kirchhoff e Bunsen, che divennero perciò i fondatori dell'*analisi spettrale*, che fra tutte le scoperte fisiche degli ultimi anni ha acquistata la più grande importanza e ha dato i più straordinari

risultati. Innanzi tutto è provato che questo nuovo metodo è, per l'analisi qualitativa, molto più sensibile di qualunque metodo chimico; così, per esempio, basta la tremilionesima parte di un milligrammo di sodio, per fare apparire la linea gialla nello spettro di una



Fig. 201. – R. W. Bunsen.

fiamma. Il sodio fa parte del sale marino o di cucina (cloruro di sodio) che viene quasi sempre trasportato dai venti marini, anche negli strati d'aria sovrastanti ai continenti; perciò la linea del sodio è presente quasi sempre in tutte le analisi spettrali. La grande sensibilità di quest'analisi ha condotto alla scoperta di corpi, che si accompagnano con le altre sostanze in quantità minime, e che si sono rivelate per la prima volta, per mezzo di linee, le cui lunghezze d'onda non si accordavano con al-

cuna linea delle altre sostanze conosciute. Per questa via sono stati scoperti elementi molto rari, come il Rubidio, il Cesio, il Tallio, l'Indio, il Gallio, il Germanio, il Samario e l'Elio. Anche per la scoperta di quei corpi, da poco tempo riconosciuti, che si trovano mescolati all'aria atmosferica, come l'Argon, il Krypton, il Neon, ecc., l'analisi spettrale ha prestato grandi servigi.

Inoltre, essa è giunta anche a fornirci notizie sulla natura degli astri più remoti: poichè, per l'analisi spettrale, non è più necessario avere nelle mani le sostanze chimiche, e nemmeno a distanza accessibile, per riconoscerle. Ogni raggio di luce, che dalle ultime profondità dell'Universo giunge fino a noi, è composto di onde corrispondenti ai movimenti di vibrazione delle molecole di quei lontanissimi astri. Lo spettroscopio, dunque, ci dà delle indicazioni sui processi di movimenti molecolari così minuti e sottili, che sugli stessi corpi terrestri nessun microscopio può riuscire a scoprire: e ce le dà, anche se questi movimenti si compiono a tali distanze, alle quali i soli ci appaiono semplici punti luminosi senza dimensioni. Questo fatto, di potere con un semplice pezzetto di vetro triangolare, sapientemente adoprato, gettare un sicuro sguardo sui fenomeni molecolari dei corpi celesti a distanza infinita, costituisce il più meraviglioso risultato conseguito dal pensiero umano indagatore. Possiamo, quindi, sperare di fare ancora altri passi nel cammino della nostra scienza, sebbene oggi ci sembrino tanto impossibili, come, fino a poche decine d'anni fa, appariva impossibile l'analisi chimica della materia so-

lare e stellare.

L'esame spettroscopico della luce solare ci dà una striscia iridata traversata da un gran numero di linee oscure. Il sole, dunque, ha un nucleo incandescente che dà uno spettro continuo; ma il nucleo è circondato da un'atmosfera gassosa, che produce lo spettro d'assorbimento. Questa costituzione dello spettro solare fu riconosciuta per la prima volta da Fraunhofer; perciò, le linee oscure di assorbimento nello spettro solare sono dette, anche, linee di Fraunhofer. Lo scopritore stesso indicò le più notevoli con lettere: così, la prima linea marcata del rosso è indicata con *A*; nell'estremo violetto visibile si trova l'*H*; nella parte ultra-violetta, si è dovuta continuare ancora l'indicazione fino alla lettera *R*. Se si misurano le lunghezze d'onda di queste linee nello spettro solare, si trovano essere corrispondenti alle linee di note sostanze terrestri. Tuttavia, fino a pochi anni fa vi era qualche eccezione. Vicino alla linea *D*, che nello spettro solare si trova precisamente al posto della linea del sodio, se ne vedeva un'altra, chiarissima, che non si riscontrava in nessuno spettro di sostanze terrestri. Si suppose allora nel Sole l'esistenza di una sostanza a noi sconosciuta, e si chiamò Elio. Si poté anche, fin d'allora, dir qualche cosa sulle proprietà di questa sostanza solare, conosciuta solo per mezzo dello spettroscopio. Ma, nel 1892, Ramsay scoprì nello spettro di un minerale raro, la cleveite, la medesima linea, e gli riuscì poi di separare la sostanza che la produceva, cioè l'elio, dalle altre già conosciute costituenti il minerale. Questo fu

certamente uno dei più grandi trionfi dell'analisi spettrale. Questa celebre linea spettroscopica dell'Elio, ha la lunghezza di 587,6 mentre la prima linea del sodio misura 589,6. Oggi si sa che l'Elio si trova anche nell'aria, ma in proporzioni minime.

Delle 4500 linee misurate nello spettro del ferro, si ritrovano nello spettro solare tutte quelle che i nostri mezzi di osservazione ci permettono di conoscere, che sono più di 2000. Di fronte ad una tale corrispondenza, chi vorrebbe dubitare ancora che nell'atmosfera del Sole non si trovi realmente il ferro, allo stato di gas incandescente? Si è anche applicato, rispetto a questa coincidenza, il calcolo delle probabilità, e si è trovato che si può scommettere molti milioni contro uno, che quella sostanza del Sole sia veramente ferro. Veramente, a tutto rigore, questa grande probabilità, potrebbe molto diminuire, per il fatto, che, sappiamo, avere molte di quelle linee spettrali una medesima origine come «note armoniche» di luce. Ma noi vogliamo, dal punto di vista della nostra teoria atomica, dimostrare questa corrispondenza, per un'altra via. Tutte le proprietà della materia dipendono dalla sua composizione, e dai movimenti molecolari. Questi e quella si rispecchiano, come abbiamo veduto, nelle onde eteree, che da essa partono; e tale accordo deve sussistere anche per le rimanenti proprietà molecolari; quindi, un corpo, che nel Sole ha quelle lunghezze d'onda, deve, dentro i limiti d'osservazione che permettono di fissare l'accordo suddetto, comportarsi, anche fisicamente e chimicamente, come quella corri-

spondente sostanza terrestre, e non distinguersi realmente da questa.

Lo stesso può dirsi, anche, per moltissimi altri elementi chimici, le cui linee si ritrovano nello spettro solare. Si sono riscontrate in questo modo, nel Sole, quasi tutte le sostanze terrestri; e, per quelle che mancano, si ha ragione di ammettere che esse sfuggano alla nostra osservazione. Più particolarmente, questo soggetto è svolto nell'altra opera nostra «*L'Universo stellato*», dove sono esposti molti risultati dell'analisi spettrale del cielo, dei quali qui non possiamo che dare un rapido cenno. Ma trattando, poi, dei fenomeni chimici ritorneremo su questo argomento.

Al cosmologo che immagina il Sole, la Terra, e tutti gli altri corpi del nostro sistema planetario, formatisi da una comune nebulosa primitiva, non deve fare meraviglia questo fatto, della identità di composizione fra il grande astro centrale e il nostro globo terrestre; ma sempre, tuttavia, tale prova di fatto deve essere considerata come una grande conquista della scienza sperimentale. Lo spettroscopio, inoltre, non solo ci dice che queste sostanze sono là, ma anche che esse, allo stato di gas, formano un'atmosfera che circonda il nucleo centrale, il quale deve essere notevolmente più caldo del mantello gassoso. Già, da questo, noi possiamo farci un concetto superficiale della temperatura del sole, sapendo che nella sua atmosfera, che è la parte più fredda, si trovano allo stato gassoso, sostanze come il ferro ed altri metalli, che noi, solo in parte, e con le massime temperature del-

l'arco voltaico, riusciamo a vaporizzare in piccole quantità. L'altissima temperatura del nucleo solare e la grande pressione degli stati gassosi sovrapposti sono capaci di generare lo spettro continuo che si trova dietro le linee di Fraunhofer, anche se questo nucleo è pure gassoso. Oggi, realmente si inclina a credere, anche per altre ragioni, che il Sole sia completamente formato di gas.

Se si dirige lo spettroscopio sul margine del Sole, i raggi che giungono alla fessura dello strumento, non possono provenire dal corpo solare luminoso, ma dalla sua atmosfera gassosa; ed allora apparisce, come del resto era da aspettarsi, il solo spettro di emissione a linee chiare. Tra queste se ne trova una della lunghezza d'onda di 531,7, che non appare tra le linee di assorbimento dell'ordinario spettro solare, nè appartiene ad alcuna sostanza terrestre. Si tratta, dunque, della scoperta di un nuovo corpo, come già l'Elio. Poichè questa sostanza ancora misteriosa occupa solo le più alte regioni dell'atmosfera solare, che formano la cosiddetta «corona» del Sole, le fu dato il nome di *coronio*. Certamente, questo corpo ha un peso specifico straordinariamente piccolo e sulla Terra non si è ancora potuto osservare la sua esistenza. Tuttavia, in questi ultimissimi tempi, si è creduto di scoprire tracce di questo gas, come già dell'Elio, nella nostra atmosfera e in certe emanazioni vulcaniche.

Qualche volta si vede, avvicinandosi collo spettroscopio al margine del Sole, che le linee dell'idrogeno ad un tratto divengono notevolmente più chiare. Il fenomeno dura, spesso, solo pochi minuti, a volte anche delle ore,

ma sempre poi sparisce. Si tratta, in quei casi, come si può dimostrare, di immense eruzioni di gas incandescenti, provenienti dal corpo solare, le quali, prima dell'invenzione dello spettroscopio, potevano osservarsi solo nei rari movimenti di un'eclissi solare completa, ed apparivano come potenti fiamme rosse (protuberanze) che spiccavano sopra i margini oscuri del sole. Oggi, coll'aiuto dello spettroscopio, questi fenomeni si possono studiare giornalmente colla massima facilità.

Ma il fatto più sorprendente, che si è potuto conoscere con questo prezioso strumento, è che migliaia di stelle hanno quasi la stessa composizione del nostro Sole. Già ad occhio nudo si distinguono diverse colorazioni nella luce delle stelle: si potrebbe supporre che le stelle azzurre e bianche siano le più incandescenti, e quelle rosse, invece, le più vicine ad estinguersi; e che quelle gialle stiano nel mezzo tra i due gruppi. Il loro comportamento allo spettroscopio conferma questa supposizione. Lo spettro di un gran numero di stelle gialle concorda quasi nelle più piccole particolarità, con quello del Sole, come se si trattasse di astri della stessa famiglia. Il Sole è una stella gialla allo stadio medio del suo sviluppo. La principale rappresentante delle stelle azzurre o bianche è la bella Sirio. Negli spettri di queste stelle le linee di assorbimento dei metalli sono estremamente deboli; esse vengono evidentemente coperte dallo spettro continuo del nucleo ancora caldissimo, che emana specialmente raggi di piccola lunghezza d'onda corrispondente ad altissime temperature. Le stelle rosse della ter-

za classe spettrale, invece, mostrano, oltre le linee scure, specialmente nel campo violetto dello spettro, anche *bande* di assorbimento, come sono prodotte anche dalla nostra atmosfera. Queste stelle hanno, dunque, dense atmosfere, relativamente fredde.

L'esame spettroscopico di un piccolo numero di stelle rivela, contro alla regola generale, la mancanza dello spettro d'assorbimento, mostrando solo uno spettro *a righe*. Ma queste non sono stelle nel comune senso della parola, bensì ammassi di gas incandescenti, che, nel loro interno, non hanno ancora raggiunto la necessaria densità per generare uno spettro continuo: sono dunque nebulose che non ci appaiono come tali, solo perchè si trovano a troppa distanza da noi per poter acquistare dimensioni osservabili nei nostri cannocchiali. Al contrario, noi vediamo nel cielo un grandissimo numero di corpi delle più belle forme, il cui carattere di *nebulose* subito si manifesta, e che, infatti, si mostrano allo spettroscopio come corpi gassosi. Il loro spettro consta per lo più di poche linee chiare, tra le quali però se ne trova una che non appartiene ad alcuna sostanza terrestre. In queste formazioni, nelle quali la materia si trova nel primo e più semplice stadio di sviluppo anche la sua composizione molecolare appare in un grado di semplicità da noi non più possibile.

Altre formazioni celesti, che al cannocchiale hanno affatto l'aspetto di nebulose, allo spettroscopio rivelano la loro origine da un numero smisurato di stelle già formate, che solo per la loro immensa lontananza da noi

non possono apparirci distinte e separate, ma sembrano un grande e uniforme sciame luminoso. Insomma, dappertutto lo spettroscopio ci svela i più portentosi segreti sulla distribuzione e sullo stato dei corpi cosmici, fino nelle più paurose profondità dell'Universo.

Di particolare interesse, dal lato fisico, è finalmente un altro importante risultato dell'analisi spettrale astronomica, che dà una nuova e sicura prova della natura delle onde luminose. Abbiamo già, sperimentalmente e teoricamente dimostrato, che una nota musicale cresce in altezza se ci avviciniamo alla sorgente sonora, e, invece, si abbassa, allontanandosene. E si può quindi calcolare, dalla differenza di altezza delle due note, la velocità del nostro movimento (pag. 50). Essendo anche la luce un movimento ondulatorio, quando si muova la sorgente luminosa, ne deve pure risultare un cambiamento nell'altezza di tono della luce, che noi possiamo calcolare colle stesse formule che già, per i fenomeni del suono, troviamo corrispondenti all'osservazione. Chiamando v_1 la lunghezza d'onda della sorgente luminosa in quiete, v_2 quella della stessa in movimento, s la sua velocità e finalmente V la velocità della luce, avremo

$$v_2 = v_1 + v_1 \frac{s}{V} .$$

Il cambiamento della lunghezza d'onda dipende dunque dal rapporto della velocità della sorgente luminosa a quella della luce. Essendo quest'ultima grandissima, circa 300.000 Km. al secondo, non ci possiamo aspettare, colle velocità terrestri, di poter mai av-

vertire con lo spettroscopio, un cambiamento nella lunghezza d'onda. Ma questo si può bene ammettere con le velocità dei corpi celesti. La Terra nel suo movimento intorno al Sole ha una velocità di 30 Km. al secondo. Se dunque, in una determinata epoca, essa si avvicina con tale velocità ad una stella che si immagina ferma, sei mesi dopo, quando sarà nell'altra metà della sua orbita, si allontanerà dalla stella con la stessa velocità. Le lunghezze d'onda della luce proveniente da questa stella, devono dunque cambiare, nel corso di un mezzo anno, nel rapporto di 60 a 300.000 ossia da 1 a 5000. Per la lunghezza d'onda della linea del sodio, che è $589 \mu\mu$, questa variazione corrisponde a circa $0,1 \mu\mu$, quantità che si può perfettamente osservare e misurare, poichè le linee gialle del sodio distano tra loro del sestuplo di questo valore. Nella fig. 202 è disegnata una parte dello spettro solare, in vicinanza di queste linee. La distanza tra la prima linea del sodio (che in questo spettro si trova alla divisione 1,8 della scala graduata) e la sottile linea doppia subito a destra, al numero 2,2, corrisponde allo spostamento di cui abbiamo parlato.

Quali fenomeni visibili si presenteranno nello spettro col cambiare delle lunghezze d'onda? Poichè ciascuna lunghezza d'onda produce nel nostro occhio l'impressione di un determinato colore, è chiaro che un aumento del numero delle vibrazioni per il movimento della sorgente luminosa deve cangiare una linea gialla in verde, una verde in azzurra. Ma contemporaneamente, cambia anche lo spettro continuo che si trova dietro le linee; i

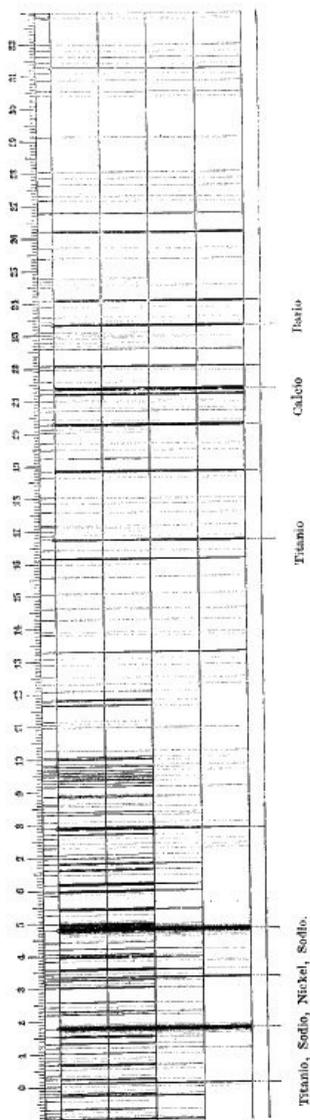


Fig. 202. – Spettro del Sole presso la doppia riga del Sodio.

raggi calorifici, che prima erano invisibili, occupano ora la parte visibile dello spettro, mentre quelli già prima ancora visibili, all'estremo violetto, diventano raggi ultra-violetti invisibili. L'intero spettro, dunque, coll'avvicinamento, viene spostato verso il violetto; coll'allontanamento verso il rosso. Non si osserva, dunque, alcun cambiamento nello spettro; ma se si proietta sopra lo spettro così spostato, quello di una sorgente luminosa ferma, per esempio, quello di una fiamma di sodio, le linee di questa non si trovano nel prolungamento delle altre, ma devono essere spostate, in proporzione al movimento della sorgente luminosa, di un tratto che si può calcolare per mezzo della formula data, e che indica la velocità della sorgente. In qualche caso, si possono fare esatte misurazioni con lo «spettroscopio di reversione»

inventato da Zöllner, che proietta l'uno sull'altro due spettri dell'oggetto, in modo che l'uno abbia l'estremità violetta, dove l'altro invece ha quella rossa. Così, per i due sistemi di linee sovrapposte, lo spostamento viene raddoppiato.

Si comprende senz'altro, quanta straordinaria importanza dovette acquistare per lo studio del cielo, questo cosiddetto *principio di Doppler*. Esso, infatti, permette di valutare i movimenti dei corpi celesti che avvengono verso di noi o in verso opposto, lungo la linea della nostra visuale, movimenti che sfuggono completamente ad ogni altro mezzo di osservazione, anche coi più potenti cannocchiali. Inoltre, questo metodo spettroscopico ci indica subito i valori di quei movimenti, anche se avvengano a distanze affatto sconosciute, mentre la misurazione telescopica può solo darci dei valori dell'altra componente di movimento, perpendicolare alla linea di visuale; valori che si possono ridurre a misure terrestri e quindi confrontare direttamente cogli altri movimenti, soltanto quando i corpi osservati si trovino a distanze conosciute.

Come ci si può immaginare, i mezzi pratici per l'applicazione del nuovo sistema di misura dei movimenti, sono stati completati e perfezionati, e specialmente la parte ultra-violetta dello spettro, riprodotta per mezzo della fotografia, ha reso essenziali servigi. La fig. 203 rappresenta lo «spettrografo» che si trova nell'Osservatorio astrofisico di Postdam, e che è applicato al grande refrattore.

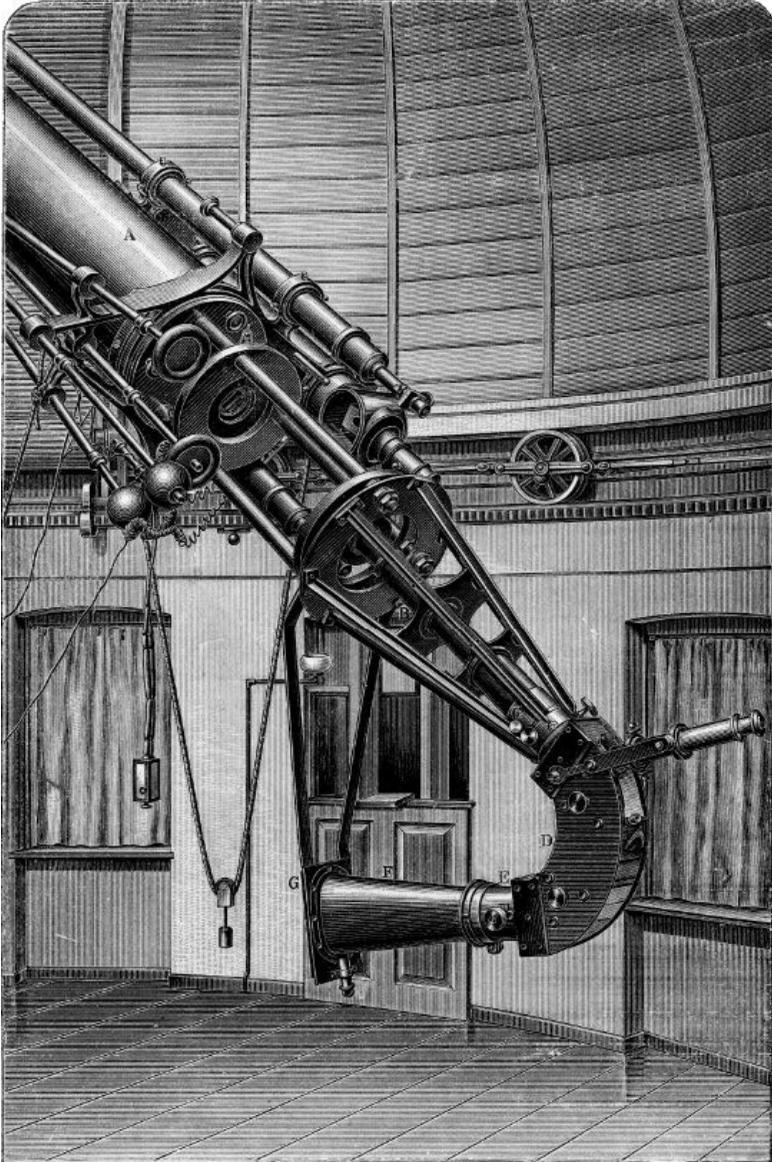
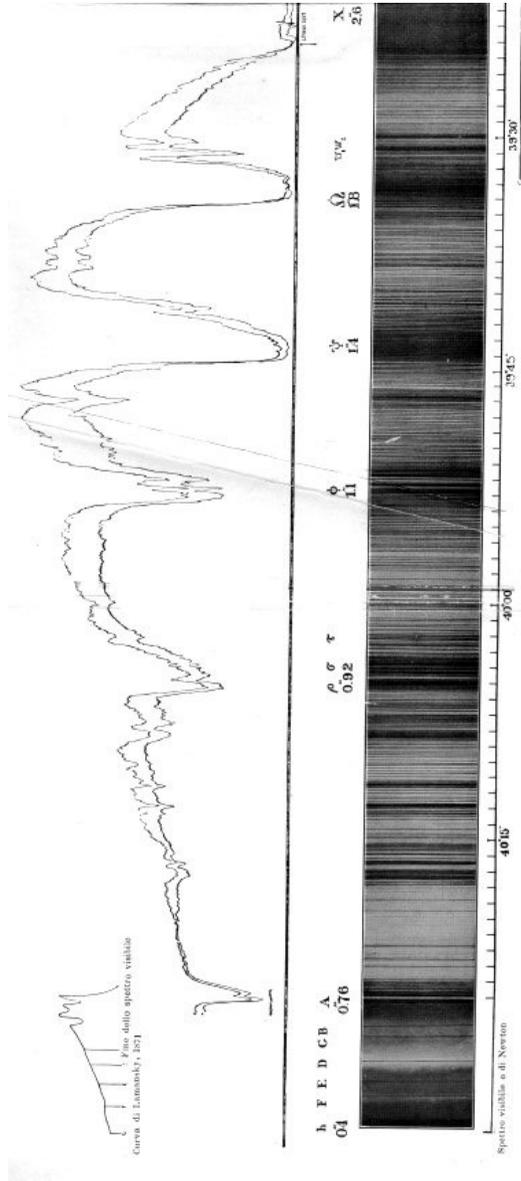


Fig. 203. – Spettrografo dell'Osservatorio di Postdam.
A. Cannocchiale. – BC. Collimatore. – D. Cassetta dei prismi.
– EFG. Appar. fotografico.



Spettro Calorifero del sole.

Dei risultati delle ricerche con questo metodo, possiamo qui solo accennare qualche cosa. Si è trovato, che le stelle fisse hanno movimenti osservabili, la cui grandezza angolare è stata in varî modi misurata. Così, Sirio in ogni secondo, si avvicina a noi di 75 Km. Vega invece se ne allontana di 80 Km. In alcune stelle si è fatta la meravigliosa osservazione, che le loro linee spettrali si raddoppiano periodicamente e poi novamente tornano ad apparire semplici; il che si può spiegare col fatto, che due stelle si trovino così vicine fra loro, che nel cannocchiale non si possono più riconoscere separatamente, e che esse girino l'una intorno all'altra, come si può osservare direttamente in altre coppie di stelle. In certe epoche, l'una stella si avvicinerà a noi mentre l'altra se ne allontanerà; e allora ciascuna produce linee spettrali che distano tra loro in proporzione della differenza del loro movimento. Invece, in altri punti della loro orbita, il movimento di ambedue le stelle, rispetto alla nostra visuale, è lo stesso; e quindi le linee spettrali coincidono. Il prisma ci rivela così i movimenti orbitali di due soli, che per noi si fondono in un unico punto luminoso. Molto interessante è pure lo spettro di Saturno e dei suoi anelli fotografato da Keeler, che qui riportiamo. Solo la parte interna *S* è lo spettro di Saturno, di sopra e di sotto vi è lo spettro della luna *M*, che serve per confronto. Il vero spettro di Saturno si scompone poi in 3 parti: quella del corpo del pianeta, nel mezzo (*a*), e quelle laterali (*b b*) dell'anello. Essendo la luce, proveniente da tutte queste parti, luce riflessa del sole, come quella della

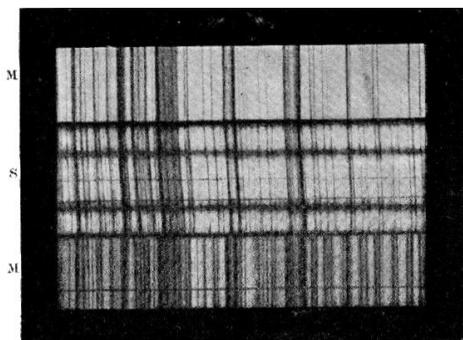


Fig. 204. – Spettro di Saturno
 .a, Saturno. – bb, anello. – M, la luna.

luna, così tutti gli spettri contengono linee di Fraunhofer. Ma si vede chiaramente, che quelle dello spettro di Saturno, rispetto a quelle della luna, hanno un percorso obliquo. Il corpo di Saturno, come l'anello, devono dunque assumere

un movimento rispetto alla nostra visuale, che da una parte è volto verso di noi, dall'altra in senso opposto: si tratta dunque di questo, che Saturno come il suo anello hanno un movimento circolare intorno ad un comune asse. Per il corpo del pianeta, questo movimento si può anche osservare per mezzo del telescopio, ma non per l'anello, il quale come da lungo tempo si prevedeva, consiste senza dubbio in tanti singoli piccoli corpi che si muovono intorno al pianeta, in conformità della legge dettata da Keplero.

h) Le lenti acromatiche e l'occhio.

Risultando la luce bianca, come abbiamo veduto, composta di un numero infinito di raggi di diversi colori, i quali tutti hanno una diversa rifrangibilità, le leggi geometriche, secondo le quali le immagini degli oggetti sono proiettate dai corpi rifrangenti, cioè dalle lenti, possono valere solo per un determinato colore, ossia per

la luce monocromatica. I raggi rossi sono meno rifratti di quelli violetti, quindi per essi diverso è l'indice di rifrazione n nella formula che dà la distanza focale. — Ogni colore ha in una lente il suo fuoco, e poichè l'ingrandimento dipende dalla distanza focale, ogni colore proietta anche un'immagine di diversa grandezza: l'immagine rossa, nelle comuni lenti, è la più grande. Tutti gli oggetti, osservati con una tale lente, mostrano dunque ai loro margini, dove le immagini colorate non possono nuovamente riunirsi in una bianca, dei colori, e specialmente appaiono come orlati di rosso. Per la stessa ragione, generalmente, le comuni lenti non possono dare un'immagine netta degli oggetti bianchi, perchè le diverse immagini devono, nei sottili particolari, collocarsi l'una accanto all'altra, facendo apparire i contorni confusi come per l'aberrazione di sfericità, che similmente, ad una data distanza dalla lente, dà immagini di grandezza diversa, secondochè esse provengono dai raggi centrali o periferici. Per conseguenza, tra i difetti delle lenti deve annoverarsi anche l'aberrazione cromatica.

Gli specchi non hanno tali difetti, perchè nella riflessione semplice non avviene alcuna dispersione di colori. I telescopi a specchi sono sempre «acromatici». Diversa è la cosa per i cannocchiali refrattori, i microscopî e tutti gli altri strumenti ottici, che formano le immagini per mezzo di lenti rifrangenti. Fu perciò, per lungo tempo, uno dei maggiori problemi dell'ottica pratica, il costruire strumenti acromatici. Newton, nonostante il suo lucidissimo ingegno, aveva con una errata conclusione cre-

duto di dimostrare che questo problema era affatto insolubile. Perciò per lungo tempo si usarono lunghe distanze focali che rendono meno intensa la colorazione delle immagini, come pure diminuiscono l'aberrazione sferica. Circa 50 anni dopo l'errore di Newton, Dollond inventò le lenti acromatiche e con questo cominciò addirittura una nuova èra per la investigazione, così del cielo come del mondo microscopico.

La soluzione del problema divenne possibile, perchè si riconobbe che i diversi corpi trasparenti hanno differente potere rifrangente, come già abbiamo imparato. E sappiamo che non solo il medio potere rifrangente, cioè, all'incirca, per la linea E che si trova nella parte centrale verde dello spettro, ma anche l'estensione dell'intero spettro, la cosiddetta «*dispersione totale*» è diversa per le varie sostanze, come si vede dal seguente prospetto.

	n	$n_r - n_v$
Acqua	1,325	0,015
Alcool	1,366	0,015
Solfuro di carbonio	1,644	0,091
Vetro Crown leggero	1,519	0,021
Vetro Crown pesante	1,618	0,021
Vetro Flint leggero	1,615	0,042
Vetro Flint pesante	1,762	0,076
Salgemma	1,550	0,031

In questa tabella n è l'indice di rifrazione per la linea E, e $n_r - n_v$ la differenza di rifrazione tra l'estremità ros-

sa e quella violetta dello spettro, ossia la *dispersione totale*. Vediamo da queste cifre che, per es. il solfuro di carbonio dà uno spettro sei volte più lungo dell'acqua, adoperando questi liquidi in un recipiente di forma prismatica; e che le quattro qualità di vetro qui ricordate, così nei loro indici medî di rifrazione, come anche nella dispersione totale, hanno proprietà molto differenti. Solo per mezzo di queste si giunge ad evitare l'errore dell'aberrazione cromatica.

Rendiamoci conto della cosa considerando, in principio, i prismi. Si capisce che la dispersione cromatica di un prisma può essere sempre annientata da quella di un altro prisma, se il secondo prisma, esattamente uguale, è collocato rovesciato sul primo, ossia l'uno coll'angolo volto in sù, l'altro coll'angolo volto in giù. Con simile combinazione di prismi equiangoli, le facce di entrata e di uscita dei raggi devono essere parallele tra loro, e i due prismi devono formare una lastra a piani paralleli, nella quale, come già abbiamo veduto, il raggio uscente è parallelo al raggio incidente; e non può avvenire alcuna dispersione di colori. Una tale combinazione però non ci serve ad alcuno scopo ottico, perchè i raggi paralleli non possono produrre immagini, per le quali occorre un fascio di raggi convergenti rifratti. Questi li otteniamo solo con una combinazione di prismi ad angoli disuguali (vedi la fig. 3 della Tav. V). Se, per esempio, il secondo prisma ha un angolo che è solo la metà di quello dell'altro prisma, ma è composto di una sostanza che ha dispersione cromatica doppia, allora la sua azione è

uguale a quella del primo prisma, ma, per la sua posizione, in direzione contraria. Così n'estingue la dispersione cromatica, mentre i raggi uscenti, essendo le facce esterne non parallele, sono rifratti rispetto la direzione della loro incidenza. Dalle cifre della tabella sopra riportata, si vede elle il vetro Crown pesante e quello leggero soddisfano a questa condizione.

Si può anche ottenere l'effetto inverso; ossia, mediante una combinazione di prismi, fare uscire i raggi senza deviazione, cioè ancora paralleli al raggio incidente, mentre rimane la dispersione cromatica; questo avviene nel cosiddetto *spettroscopio a visione diretta*, che praticamente presenta alcuni vantaggi (Tav. V, fig. 4).

Con una disposizione analoga a quella dei prismi acromatici, combinando due lenti di diverse qualità di cristallo, viene annullata la dispersione cromatica; abbiamo infatti veduto che l'azione delle lenti è simile a quella di una serie di prismi. Nella fig. 5 della Tavola V, si vede il cammino dei varî raggi attraverso una lente convergente; quelli azzurri si riuniscono più vicino alla lente di quelli rossi; al contrario, traversando la lente piano-concava della fig. 6, che è di cristallo diversamente rifrangente, i raggi rossi si raccolgono più vicino alla lente di quelli azzurri. Se ora si uniscono, come mostra la fig. 205, queste due lenti, la *C* di *Crown* e la *F* di *Flint*, si ottiene un sistema acromatico, col quale tutti i raggi si riuniscono, presso a poco, nello stesso punto.

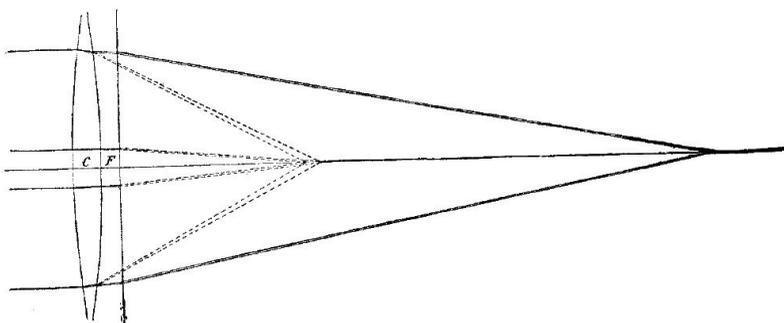


Fig. 205. – Sistema acromatico.

I problemi dell'ottica pratica sono molti e molto complessi. Non sempre si vogliono riunire tutti i colori in modo da ottenere un'immagine bianca di un oggetto bianco. Abbiamo veduto che la parte fotograficamente più attiva dello spettro è il violetto. Un obiettivo fotografico deve perciò, sopra tutto, riunire questi cosiddetti raggi *attinici*. Per questa necessità, e anche perchè quelle combinazioni acromatiche con le più comuni ed economiche qualità di cristallo fanno crescere l'aberrazione sferica, il compito di trovare nei varî casi le migliori combinazioni di lenti, diviene molto complicato, e risolubile solo mediante l'analisi matematica. Gli obiettivi doppio-anastigmatici di Görz, quelli collineari di Voigtländer, le anastigmatiche di Zeiss e i teleobiettivi di Steinheil (fig. 206) sono appunto combinazioni siffatte, che son divenute di grande importanza per la fotografia. Si tratta qui di 12 o più superficie

rifrangenti, di cui si devono studiare gli effetti. Uguale cura e studio esigono naturalmente anche gli oculari dei cannocchiali astronomici.

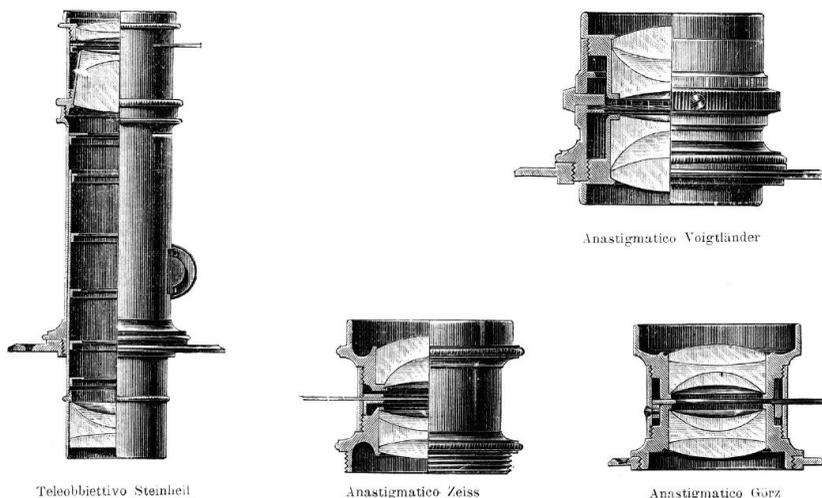


Fig. 206. – Obbiettivi fotografici composti.

Per soddisfare a tutte queste esigenze, si è cercato di avere qualità di cristallo con poteri rifrangenti il più possibile diversi. Ciò presentava, fino a poco tempo fa, grandi difficoltà tecniche, quando non si conoscevano che le due qualità di vetro indicate coi nomi inglesi di Crown e Flint. Il primo ha un peso specifico relativamente piccolo, e consta di una combinazione di sostanze alcaline con silice, ed è quindi un vetro alcalino; il Flint, invece, contiene sali di piombo ed è perciò più pesante. Ma il peso specifico è connesso direttamente col potere rifrangente, come già abbiamo imparato (pag. 223). Da alcuni anni, nel nostro Istituto vetrario di Schott e C.¹ in

Iena, coll'appoggio dello stato di Prussia, si studiano sistematicamente tutte le possibili paste di vetro e se ne provano le qualità ottiche, mettendo a disposizione dell'ottica pratica una serie straordinariamente ricca di cristalli ottici di diversissima rifrazione e dispersione, e recando così un prezioso aiuto a svariatissimi rami di ricerche naturali.

i) L'occhio umano.

Dopo avere imparato le proprietà delle lenti e il funzionamento degli strumenti ottici, possiamo esaminare un po' più particolarmente anche l'occhio umano come strumento ottico.

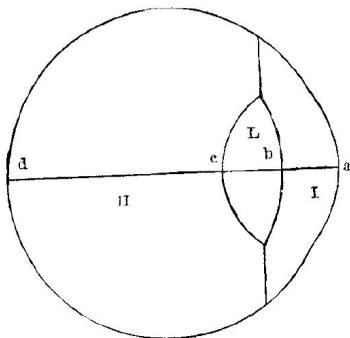


Fig. 207. – Occhio schematico.

Il funzionamento dell'occhio è in tutto paragonabile a quello di una camera oscura fotografica. La retina sensibile alla luce corrisponde alla lastra fotografica, e l'immagine che riceve la retina è generata da una lente, in cui l'aberrazione cromatica è annullata dalle sostanze diversamente rifrangenti che la circondano.

Ma, nei particolari, la costruzione dell'occhio è notevolmente differente da quella di qualunque altro nostro strumento ottico. La differenza dipende soprattutto da questo, che la Natura può e deve lavorare con so-

stanze liquide o pieghevoli per proteggere il più possibile gli apparecchi dell'organismo animale contro i danni che possono provenire dagli urti o dalla pressione, e provvedere insieme al necessario ricambio organico della sostanza. La lente dell'occhio, ossia il *cristallino* (*L* nella figura schematica 207) non è quindi un corpo rigido con superficie a curvatura invariabile, ma una massa trasparente elastica, le cui superficie possono prendere diverse curvature. Questa lente cristallina si trova tra due separate «camere dell'occhio» I e II, che contengono liquidi diversamente rifrangenti. La camera anteriore è limitata esternamente dalla *cornea*, la quale, come dice il suo nome, consiste di un tessuto corneo abbastanza resistente e protegge l'occhio, come un vetro da orologio, dalla penetrazione di corpi estranei. Tra questa e la prima superficie del *cristallino*, si trova un liquido chiaro, l'*umore acqueo*, il cui indice di rifrazione, al limite colla cornea in *a*, è 1,346. La distanza fra la cornea e la superficie esterna del cristallino, cioè *ab*, misurata sull'asse ottico, mentre l'occhio guarda un oggetto molto lontano, è ordinariamente di mm. 3,78. Dinanzi alla prima superficie del cristallino è collocata l'*iride* che fa le funzioni del diaframma nei nostri apparecchi fotografici. Essa cambia l'apertura ottica dell'occhio, a fine di regolare la quantità della luce che vi deve penetrare. L'apertura centrale dell'iride, la pupilla, può variare da 2 a 5 mm. L'indice di rifrazione, tra la camera anteriore e il cristallino, cioè in *b*, è 1,080. Dietro il cristallino, nella vera e propria camera dell'occhio (II) si trova l'umore

o corpo *vitreo*, che come il cristallino è trasparente ed elastico. Tra essi, in *c*, l'indice di rifrazione è 0,626. Il diametro del cristallino ossia lo spessore, secondo l'asse ottico è 4 mm.; il tratto della superficie interna del cristallino fino alla retina, cioè *cd*, è mm. 14,43, e l'intero globo oculare dalla cornea alla retina misura mm. 22,21. L'occhio ha, dunque, tre superficie rifrangenti, quella della cornea e le due superficie del cristallino, e i loro raggi di curvatura misurano: cornea mm. 7,8; prima sup. del cristallino 9,51; seconda 5,87: il cristallino ha perciò dalla parte interna, una curvatura molto più forte.

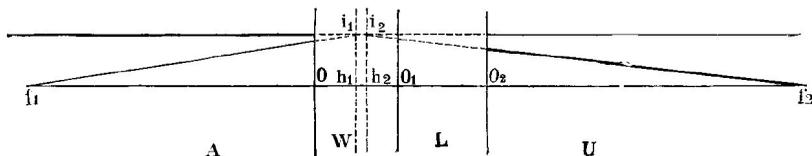


Fig. 208. - Schema dell'occhio.

Una differenza essenziale tra l'occhio e gli ordinari strumenti ottici, costruiti ad imitazione di questo finissimo organo, sta nella disuguaglianza del mezzo rifrangente davanti e dietro alle due superficie della lente che forma l'immagine. Davanti e dietro ogni obiettivo si trova l'aria; nell'occhio, invece, il raggio che penetra dall'aria traversa successivamente tre sostanze diversamente rifrangenti, senza più tornare nell'aria, finchè giunge alla superficie della retina, dove si forma l'immagine. Perciò, le leggi ottiche relative alla distanza focale, sono diverse da quelle trovate per le lenti ordinarie e i nostri obbiettivi; ma si possono ugualmente dedurre dalle leg-

gi generali della rifrazione, per mezzo di considerazioni puramente geometriche, analoghe a quelle fatte a proposito della formazione delle immagini mediante le lenti.

Nella figura schematica, i quattro diversi mezzi ottici sono separati da quattro linee rette. A è lo spazio pieno d'aria fuori dell'occhio, W lo spazio occupato dall'umore acqueo dietro la cornea, L il corpo cristallino ed U il corpo vitreo, nella cavità oculare. O , O_1 e O_2 sono i punti d'incontro dell'asse oculare con le rispettive superficie di divisione; f_1 e f_2 sono i due fuochi del sistema ottico. Risulta allora, che due piani perpendicolari all'asse, la cui posizione è indicata con h_1 e con h_2 , i cosiddetti piani principali, hanno proprietà geometriche che facilitano i nostri ragionamenti sull'azione dell'occhio. Il primo piano dista dal punto O di mm. 1,93, mentre fra l'uno e l'altro piano v è solamente la distanza di 0,4 mm. I raggi nell'occhio procedono come se questo spazio tra i due piani principali fosse affatto nullo, e sembrano sorpassarlo. Se prendiamo due punti i_1 e i_2 in questi piani, un raggio indirizzato verso i_1 parallelo all'asse, sarà rifratto solo in i_2 , in modo da tagliare l'asse nel fuoco f_2 ; invece, un raggio proveniente dal fuoco f_1 che vada in i_1 è poi indirizzato da i_2 parallelamente all'asse. Teniamo conto della distanza del primo fuoco da h_1 di 14,77 mm., di quella del secondo fuoco da h_2 di 19,88, ed allora avremo tutto quel che è necessario per l'esatta costruzione dell'immagine sulla retina. Un calcolo basato su questi dati ci dà, per esempio, che un oggetto di 1 m. di estensione, visto a 10 m. di distanza, darà sulla nostra

retina un'immagine di circa mm. 1,5.

Tutti i rapporti qui indicati valgono solo per un occhio che guardi un oggetto lontano. Se fossero invariabili, tutti gli oggetti vicini si dovrebbero vedere sfumati, come in una camera fotografica, che non ha l'apparecchio per regolare il fuoco alle varie distanze. Questo nell'occhio avviene in tutt'altra maniera che nei nostri apparecchi. Non è possibile nell'occhio cambiare ogni volta la distanza del sistema ottico dalla superficie dell'immagine, ossia il cristallino dalla retina. Perciò, per poter spostare il fuoco, è resa variabile la curvatura delle superficie rifrangenti, il che è facile per le qualità elastiche del cristallino. Contro l'orlo del cristallino fa pressione un muscolo, che gli dà così la necessaria curvatura per gli oggetti vicini, mentre la distanza focale rimane invariata; se cessa la pressione di questo muscolo, il cristallino da sè stesso riprende la sua forma normale. Da ciò risulta, che la visione degli oggetti vicini esige un certo sforzo, che non è necessario invece per guardare gli oggetti lontani; perciò, nelle persone che per la loro professione hanno bisogno di accomodare continuamente l'occhio per osservare oggetti vicini, il cristallino finisce col perdere una parte della sua elasticità, e acquistando una grossa curvatura permanente, gli occhi divengono miopi.

Per mezzo degli occhiali si può riparare, come è noto, a questi e ad altri difetti dell'occhio. I miopi adottano vetri concavi che allontanano il punto di fuoco; i presbitti invece, per i quali il fuoco del cristallino si trova die-

tro alla retina, devono portare lenti convesse, per avvicinare il punto di fuoco. Entrambi questi difetti dell'occhio possono naturalmente anche derivare da troppo grande o troppo piccola lunghezza della cavità oculare, mentre il cristallino ha invece la curvatura normale.

Ma gli apparati così descritti per l'adattamento dell'occhio, funzionano solo dentro certi limiti; e gli oggetti che restano di là da questi, cioè oltre la «distanza visiva» appaiono confusi. La distanza visiva normale è di 25 cm.; nei miopi è più corta, nei presbiteri più lunga, variando da 18 a 36 cm.

Il campo visivo dell'occhio è talmente grande, che non è raggiunto, neppure approssimativamente, da nessuno dei nostri strumenti ottici. I due occhi insieme abbracciano un campo visivo di oltre 180° di angolo, ossia dominano tutto il campo, che si trova dinanzi a noi ed anche una parte di quello che si trova dietro. Questo potrebbe dipendere da un lato, dall'essere la retina piegata in un cerchio, invece che piana come le nostre lastre fotografiche: dall'altro, per la rinuncia ad una notevole correzione dell'aberrazione sferica. Colla prima *disposizione* si arriverebbe a far sì, che la distanza del cristallino dalla retina rimarrebbe la stessa, sia per i raggi periferici come per quelli centrali, impedendo in certo modo l'errore di sfericità. Con un angolo di visuale così grande, questa superficie curva diviene una necessità pratica, ed è anche usata nei cosiddetti apparecchi da panorami (fig. 209), che possono fotografare un'immagine anche con un angolo di visuale di 180° , imprimendo all'ob-

biettivo, durante la posa, un movimento rotatorio.

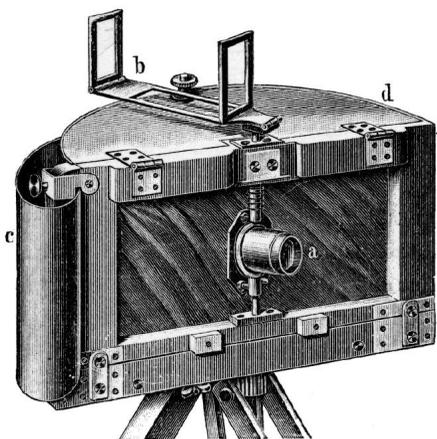


Fig. 209. – Apparecchio panoramico.
a) obbiettivo girevole; – b) mirino; –
c) pellicola curva.

Per la forma variabile della lente cristallina, non è possibile mettere in un tal rapporto tra loro i raggi periferici e quelli centrali, da poter evitare l'aberrazione sferica. Infatti, l'occhio ha in alta misura questo difetto: esso vede nettamente solo nel campo dei raggi centrali, dove la curvatura delle su-

perficie rifrangenti, sulla piccola sezione sferica, può ancora considerarsi come corretta; ma tutto ciò che resta al di fuori di questo piccolo campo centrale, si vede solo confusamente come attraverso una cattiva lente. Già, nella nostra introduzione, considerando la parte degli organi dei sensi nelle ricerche naturali, abbiamo cercato di dimostrare come appunto questa imperfezione accresca notevolmente la fiducia che si può avere nelle nostre impressioni sensitive, relativamente alla conoscenza che per mezzo della vista, il più importante di tutti i sensi, possiamo acquistare del mondo esteriore. Soltanto con questo mezzo, abbiamo occasione continua di potere stabilire confronti e prove, coll'aiuto del solo sistema attendibile delle osservazioni coincidenti; cioè, servendoci

sempre di un medesimo punto della retina colle medesime estremità nervose, per cui gli errori, che potrebbero prodursi in apparati simili, ma non completamente uguali, sono esclusi.

Abbiamo veduto che nel campo di questi raggi centrali si trova la *macchia gialla*, munita di filamenti nervosi particolarmente fini, per rinforzare ancora, in questo punto, il potere visivo. Questa macchia gialla ha appena un'estensione di 0,5 mm.; ma, anche dentro questo piccolo spazio, la sensibilità aumenta verso il centro, cioè, nei confronti esattissimi, si scelgono per l'uso solo le estremità nervose che terminano in questo. Già l'immagine di un oggetto di soli mm. 7,5 di estensione, tenuto a distanza dall'occhio, così da potersi vedere chiaramente, occupa l'intera superficie della macchia gialla. I *coni* della retina, che vanno qui a terminare, hanno uno spessore di 0,0015-0,0025 mm.

Ciò corrisponde, come si può facilmente calcolare dalle dimensioni ottiche dell'occhio date di sopra, ad un angolo visivo di circa 30 *secondi d'arco*. Due o più raggi, che dentro a quest'angolo, da un oggetto giungono al nostro occhio, incontrano perciò un solo e medesimo cono, e possono soltanto produrre l'impressione di un solo eccitamento. Tali oggetti appaiono senza diametro, come punti. In connessione a ciò si è trovato con sicurezza, che due oggetti, per esempio due linee, per essere vedute separate devono distare tra loro almeno di 50 secondi d'arco. Questo è dunque il limite della *capacità di divisione* del nostro occhio. Un oggetto di circa 0,06

mm., osservato a normale distanza visiva, appare sotto questo angolo.

Gli oggetti osservati sotto un angolo visivo più piccolo spariscono, ma non per la troppa piccolezza, poichè noi distinguiamo chiaramente, per esempio, un filo telegrafico nuovo, se luccica al sole, anche sotto un angolo di soli 5 secondi. Tutte le stelle fisse appaiono prive di diametro anche nei nostri più potenti cannocchiali, quindi il loro angolo visivo è tanto piccolo da sparire, e non solo per l'osservazione ad occhio nudo. Eppure esse irradiano, almeno in parte, una luce visibilissima. Quando non è più possibile distinguere le particolarità di un oggetto, è questione generalmente solo di intensità luminosa. Abbiamo già detto più innanzi, come si possa aumentare questa intensità luminosa nel nostro occhio coll'impiego di obbiettivi più grandi che siano possibili. Ma se si vogliono osservare i particolari di un oggetto, la cui ampiezza angolare, per la distanza visiva di un dato occhio, sia inferiore ad un angolo di circa un minuto, occorre ingrandire quest'apertura d'angolo con mezzi ottici; ciò può farsi in due maniere: con una lente d'ingrandimento o col microscopio. La lente d'ingrandimento accorcia la distanza visiva, cosicchè col suo aiuto si può avvicinare l'oggetto all'occhio senza alterare la posizione del secondo punto di fuoco, e quindi la nettezza dell'immagine sulla retina. Coll'avvicinamento dell'oggetto al medesimo angolo limite della capacità di divisione, corrisponde naturalmente una minore estensione dell'oggetto; e da questo comprendiamo, perchè i

miopi abbiano un vantaggio sulle viste normali potendo chiaramente vedere gli oggetti vicini, senza occhiali. Vi è un limite però nell'ingrandimento per mezzo della lente, perchè l'avvicinamento dell'oggetto si può spingere solo fino alla superficie esterna di questa lente. Per la combinazione ottica del microscopio il caso è diverso, poichè in questo l'ingrandimento dell'angolo visivo è ottenuto coll'allargamento del cono di raggi, nella maniera già descritta. Ben s'intende che gli obbiettivi del microscopio devono essere anche acromatici. È un'arte altamente ammirabile questa della composizione dei sistemi di lenti, le quali spesso sono ancora più piccole del corpo cristallino del nostro occhio. Il valore dei pezzettini di cristallo adoperati in queste costruzioni, diviene, a volte, per l'ingegnosità e la perfezione del lavoro, maggiore di quello delle pietre preziose di uguale grossezza.

Non è qui nostro compito d'indagare come l'immagine formatasi sulla retina venga poi avvertita e compresa dalla nostra coscienza (abbiamo detto qualcosa a questo proposito nell'Introduzione); tuttavia, a questo punto, possiamo domandarci, come avviene che i raggi che giungono alla retina siano in grado di suscitare eccitazioni nervose, che differiscono tra loro secondo l'intensità luminosa e secondo un numero infinito di toni di colore.

Il meccanismo della fotografia ci ha permesso fin qui molte analogie con le funzioni dell'occhio; ma rispetto alla colorazione delle immagini, fino a poco tempo fa,

pareva non ci insegnasse nulla, perchè le comuni fotografie sono solo riproduzioni chiaro-scure dell'immagine ottica della camera; quindi, nonostante che sul vetro opaco si abbia un'immagine colorata, esse non riproducono che le differenze d'intensità luminosa. Ma in questi ultimi tempi si sono fatte riuscitissime ricerche sulla fotografia a colori, e così, anche a questo riguardo, ci siamo avvicinati al fenomeno naturale, che avviene nell'occhio.

Occorre, prima di tutto, distinguere nell'eccitamento nervoso prodotto dalle onde luminose, l'intensità luminosa dall'impressione dei colori; che corrispondono, rispettivamente, l'una all'intensità del suono, l'altra all'altezza delle note. In ambedue i casi, l'intensità dipende dall'ampiezza del movimento ondulatorio, mentre la qualità del colore, come l'altezza sonora, dipende dal numero delle vibrazioni. Si capisce che per queste due diversissime specie di movimenti, devono esservi anche apparecchi diversi, che li trasformano in eccitamenti nervosi. Rispetto alle onde sonore, come è noto, si hanno nell'orecchio, per ciascuna nota, o almeno per un determinato e ancora sconosciuto numero di gradazioni di toni, una estremità nervosa nell'organo del Corti, una laminetta che sotto l'azione della nota è posta in vibrazione consonante. Con questo procedimento, l'altezza della nota viene subito trasformata nel grado di vibrazione di quella laminetta, e l'intensità sonora nel corrispondente eccitamento nervoso. Nonostante la somiglianza fisica delle onde sonore con quelle della luce, non è pertanto,

per ragioni facilmente comprensibili, applicabile una disposizione simile per la vista. L'udito è in certo modo una funzione lineare, la vista una funzione superficiale. Noi udiamo contemporaneamente sempre una sola nota, o un accordo che agisce unitamente. Se più note non accordate si formano insieme, diventano un rumore, nel quale non possono più distinguersi le singole note. L'occhio, invece, può ricevere e percepire insieme, sopra una superficie, un'intera immagine formata da una quantità per noi infinita di punti; perciò ciascun elemento della retina dovrebbe contenere un completo organo del Corti per le onde luminose, con un numero apparentemente illimitato di laminette per ogni specie di colore. Per l'osservazione dovrebbe dunque l'occhio essere composto di un'infinità di finissimi organi, e ciò non si poteva in principio supporre. L'esame microscopico ha ora mostrato, che gli elementi della retina consistono di finissimi *coni* e *bastoncini* disposti come si vede nella fig. 210.

Noi vi distinguiamo i bastoncini uniformi *a* che sono collegati tra loro superiormente dallo strato pigmentoso *b*; più sotto, i coni *c* che si trovano tra i bastoncini. Tutti questi sono estremità di nervi, che si continuano fino ai relativi centri cerebrali. Si osserva che i bastoncini sono distribuiti disegualmente tra i coni. Il punto più sensibile dell'occhio, il centro della macchia gialla consta esclusivamente di coni, e a partire da questo i bastoncini vanno crescendo regolarmente verso le parti più lontane della retina. Poichè la sensibilità dell'occhio per i colori dimi-

nuisce col crescere dei bastoncini, se ne potrebbe dedurre che alle due qualità di estremità nervose siano assegnate particolari funzioni, e che i coni servano principalmente o esclusivamente alla sensazione dei colori, i bastoncini a quella dell'intensità luminosa. Ma il problema non è stato ancora perfettamente chiarito.

Il pigmento che si stende sopra i bastoncini è colorato in rosso finché sulla retina non arriva la luce. Si forma allora il cosiddetto *rosso retinico*, che subito si scompone e perde il colore colla luce, e forse esercita una parte simile a quella del sale d'argento nel nostro comune processo

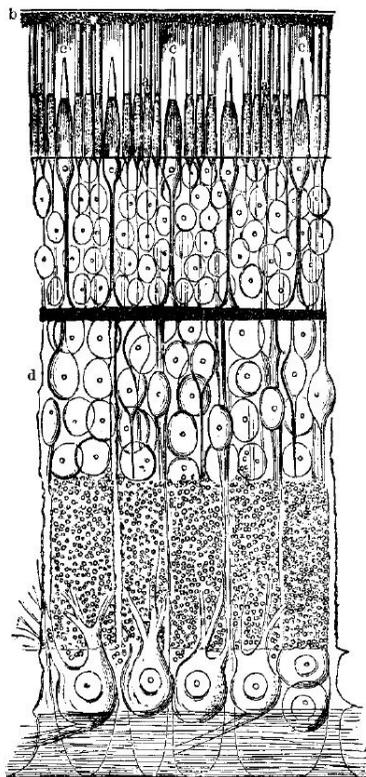


Fig. 210. — Sezione della retina. a) bastoncini; — b) pigmento — c) coni; — d) cellule nervose.

fotografico. Ad ogni pulsazione la retina è irrorata da rosso «retinico» fresco, la lastra fotografica è spalmata di un nuovo strato di patina sensibile. Ma se le quantità di luce che agiscono sono troppo forti, il rinnovamento non può compiersi così rapidamente come la scomposizione, e l'occhio diviene insensibile. Se, al contrario, si tiene l'occhio al buio per un certo tempo, si forma uno

strato più denso di pigmento e l'occhio allora per un poco diviene molto più sensibile alla luce. Ma in questo caso però, la sensibilità per i colori non cresce in ugual misura, anzi l'occhio dopo essere stato lungamente chiuso, nei primi momenti distingue i colori peggio che di solito. Per la percezione dei colori, la scomposizione del rosso retinico non può avere alcuna parte o deve averne una molto subordinata, servendo soltanto per la sensazione dell'intensità luminosa. Questa scomposizione è un processo chimico causato dalla luce; e probabilmente, il prodotto chimico che si forma agisce secondo la quantità di luce agente, provocando un'eccitazione sulle estremità nervose, nella stessa maniera di un acido sui nervi sensibili della nostra pelle.

Se così si può verosimilmente spiegare la percezione dell'intensità luminosa nei diversi punti della retina, la spiegazione della *sensazione dei colori* presenta invece grandissime difficoltà. Una diretta impressione materiale dei coni per mezzo delle onde luminose, non si può ammettere, per quanto fini siano quei piccoli nervi. Le vibrazioni dell'etere, avvengono in un mondo che si trova, per così dire, dentro a quello della materia grossolana, sulla quale non esercitano alcuna diretta azione di movimento che si possa positivamente dimostrare. Esse agiscono solamente sui mondi molecolari, dei quali si compongono quelle maggiori forme a noi esternamente visibili. Noi dobbiamo, dunque, cercare un'altra spiegazione, cioè pensare ad un processo molecolare, come quello chimico supposto per la sensazione dell'intensità

luminosa; e non ci resta altro che ammettere, anche per la sensazione dei colori, un fenomeno simile a quello, oppure un fenomeno di natura elettrica. Anche senza esserci ancora occupati dei fenomeni chimici o elettrici, si comprende tuttavia, che non si può supporre una speciale reazione chimica per ciascuna gradazione di colore, reazione che dovrebbe essere diversa e separata dagli elementi circostanti in ciascun punto della retina, nella percezione di un'immagine colorata. Si deve cercare, per questa percezione dei colori, qualche cosa di più semplice.

La tecnica della pittura ci dà a questo proposito un'importante indicazione. Essa insegna come, con pochi colori fondamentali, si possano produrre un gran numero, anzi quasi tutti i colori misti che si presentano in natura. Il rosso, il giallo e l'azzurro risultano essere quei colori fondamentali, da cui si possono trarre tutte le combinazioni di colori dello spettro nel loro naturale ordine. Se si disegna un diagramma della forma di un triangolo smussato come quello qui disegnato (fig. 211) e in questo triangolo si tira una linea retta che tagli il cerchio indicato con *W*, i colori corrispondenti alle intersezioni della retta coi lati del triangolo, riuniti, formano il bianco, e si dicono *colori complementari*. Le quantità di questi due colori, necessarie a formare il bianco, sono indicate dalla lun-

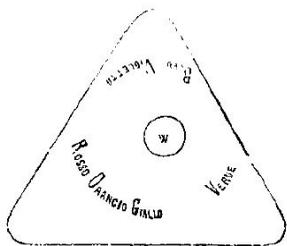


Fig. 211.

Diagramma dei colori.

Se si disegna un diagramma della forma di un triangolo smussato come quello qui disegnato (fig. 211) e in questo triangolo si tira una linea retta che tagli il cerchio indicato con *W*, i colori corrispondenti alle intersezioni della retta coi lati del triangolo, riuniti, formano il bianco, e si dicono *colori complementari*. Le quantità di questi due colori, necessarie a formare il bianco, sono indicate dalla lun-

ghezza dei segmenti di rette dalle due parti di W . Impariamo da questo, il fatto importantissimo che non è assolutamente necessario il miscuglio di tutti i colori dello spettro per ottenere il bianco, mentre invece, dalla scomposizione della luce bianca emergono quei colori; il bianco può prodursi con una sola coppia di colori.

Il metodo da poco tempo applicato da Jolly, per la fotografia in colori naturali, si vale della «teoria dei tre colori» enunciata da Joung ed Helmholtz. Per la fotografia si usano i *filtri* di questi colori fondamentali, ossia, si fa sopra una comune lastra una

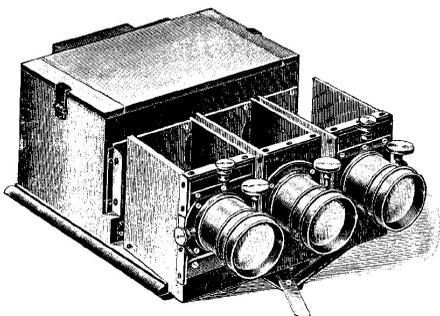


Fig. 212.

Sciopticon triplo per proiezioni.

fotografia di un dato oggetto colorato, facendo passare la luce attraverso un vetro o un liquido colorato chiuso tra due vetri paralleli; lasciamo passare così, uno solo dei tre colori fondamentali. Questa operazione si ripete per gli altri due colori. Nella fotografia fatta col filtro rosso, l'argento, sulla lastra, viene ridotto solo nella proporzione in cui questo colore fondamentale era contenuto nell'immagine ottica, e così per le altre due fotografie. Le tre *negative*, chiaro-scure come quelle comuni, ci indicano allora in quali proporzioni i tre colori fondamentali sono distribuiti nella mescolanza di ogni singola gradazione di colore in ciascun punto dell'immagine. Colla riproduzione positiva, questi tre colori fondamen-

tali vengono di nuovo mescolati nella loro naturale proporzione. Questo sistema è mostrato praticamente nella Tavola II. Se dalle negative, col metodo solito, si traggono le diapositive, con un triplice apparecchio di proiezione, nel quale le tre immagini sono proiettate nuovamente una sull'altra, passando per i loro filtri colorati, si possono ottenere riproduzioni, a grandezza naturale, di queste fotografie a colori, che spesso destano la più alta ammirazione per l'illusione perfetta che danno della realtà.

Noi abbiamo ricordato, appunto, questo metodo, tra i diversi oggi usati per la riproduzione di fotografie a colori, perchè la percezione dei colori nel nostro occhio, si pensa da molti debba avvenire per una simile mescolanza di tre impressioni nervose separate, corrispondenti a quei tre colori fondamentali. Ci si può immaginare che i coni siano di tre diverse qualità o divisi in tre parti, e che ciascuno dei tre colori fondamentali provochi una speciale reazione chimica, che agisce solo sopra una di queste tre specie o parti di coni. L'indagine fisiologica non ha potuto fino ad oggi penetrare abbastanza nelle ultime finissime particolarità del nostro organismo. All'avvenire, forse, la risoluzione di questo arduo e delicato problema.

L'immagine che si forma sulla retina, come sulla lastra fotografica, è piana, senza alcuna prospettiva. Ma per la vita, anzi, in molti casi, per la conservazione di essa nella lotta contro elementi avversi, è necessario l'apprezzamento del rilievo e delle distanze. Per questo

noi abbiamo due occhi. La stima delle distanze potrebbe veramente ottenersi anche con un solo occhio. Abbiamo già descritto un apparecchio misuratore della distanza, il cui principio riposa sul cambiamento della sua disposizione, secondo che gli oggetti che si guardano, sono più o meno lontani. Certi uccelli hanno realmente nel loro occhio un simile apparecchio, essendo per essi di somma importanza il poter rapidamente e sicuramente apprezzare le distanze per regolarsi nella direzione del volo. Rimanendo i loro occhi molto vicini fra loro, il sistema di misura delle distanze, che noi usiamo e che ora descriveremo, sarebbe per essi malsicuro. Ma la visione del rilievo può aversi soltanto coi due occhi, che per noi appunto adempiono la doppia funzione.

Se il geometra vuole misurare la distanza di un oggetto, a cui non può arrivare, egli costruisce tra sè e quest'oggetto un triangolo, del quale può misurare due angoli e il lato fra essi compreso. Le direzioni dei due lati in rapporto alla retta che serve di base, gli indicano l'angolo che corrisponde all'oggetto lontano, e con questo sono noti tutti gli elementi del triangolo, quindi anche la lunghezza degli altri due lati, se quella della base è conosciuta. Questo è il principio per cui l'occhio apprezza la distanze. La linea di base è la distanza fra i due occhi, ciascuno dei quali dal suo punto di vista dà un'immagine diversa del mondo esterno. Ce ne possiamo facilmente persuadere guardando, per esempio, un paesaggio lontano, attraverso una finestra. Un punto dell'imposta della finestra apparirà davanti ad un differente punto del

paesaggio, secondo che si guarda col solo occhio destro o col solo sinistro. Così, un doppio apparecchio fotografico, i cui due obbiettivi distino tra loro come la media dei due occhi umani, darà una doppia immagine degli oggetti distanti. Misurando questa distanza fra gli stessi oggetti, nelle due immagini stereoscopiche della Tavola VI, si vede che questa distanza è più piccola per gli oggetti vicini che per quelli lontani.

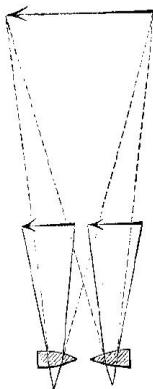


Fig. 213.
Stereoscopio.

Lo stesso deve accadere per le due immagini sulla retina. Per mezzo di un semplice strumento, lo *stereoscopio*, illustrato nel suo effetto dalla fig. 213, due fotografie fatte col metodo detto di sopra, si fanno coincidere nei nostri occhi, come avviene nella visione diretta, e così si ha l'impressione plastica della naturale prospettiva.

Si è dimostrato, che i due occhi sono straordinariamente sensibili per i più piccoli intervalli di due immagini siffatte; di che ci si può persuadere mediante la seconda immagine stereoscopica della nostra tavola, costruita geometricamente. Collo stereoscopio, le diversità di posizione di due gruppi di linee o di figure apparentemente identiche, compaiono subito nella loro prospettiva, mentre non sono affatto riconoscibili con l'ordinaria misura dell'occhio, e spesso molto difficili anche colla più esatta misurazione micrometrica. Queste nozioni hanno portato recentemente alla costruzione di un nuovo misuratore

delle distanze, il cui principio per l'arte metrica promette di acquistare grande importanza. Già da alcuni anni sono stati costruiti i cosiddetti *cannocchiali a rilievo*, mediante i quali, per una disposizione di prismi come mostra la figura 214, la distanza dei due occhi, che serve di base per la visione stereoscopica, è notevolmente ingrandita. Questi cannocchiali, per la maggiore potenza di prospettiva, colla quale permettono di osservare, non solo offrono un gran diletto, ma favoriscono anche essenzialmente la chiarezza e limpidezza dell'immagine.

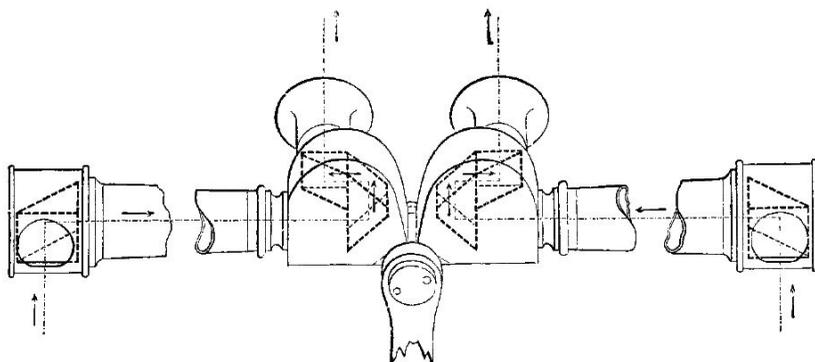


Fig. 214. – Cannocchiale per il rilievo (interno).

Oggi poi, la casa Zeiss di Iena ha fatto aggiungere in questi cannocchiali a rilievo, espressamente costruiti per la misura delle distanze, una scala, come è riportata nelle prime figure stereoscopiche della nostra tavola. Ogni punto segnato corrisponde ad una data distanza, di modo che si può subito leggere questa distanza. Questo sistema di misura, ottenuta guardando semplicemente

col cannocchiale, da dei risultati di un'esattezza sorprendente. Con uno di questi strumenti, la cui base sia di 51 cm. e che dia un ingrandimento di otto volte, su 500 m. di misura si ha solo un errore di 10 m. e su 1000 un errore di 35 m.; coll'aumentare delle proporzioni dello strumento cresce notevolmente la sua precisione, tanto che si può con esso misurare a prima vista l'altezza delle nuvole, almeno fino a frazioni di chilometro.

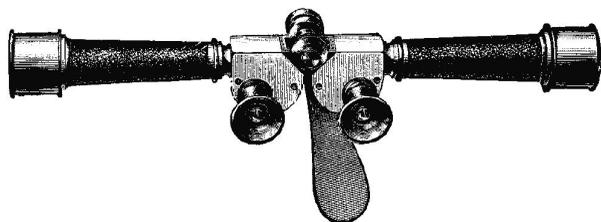


Fig. 215. – Cannocchiale stereoscopico.

Coll'aiuto della fotografia, ci si può procurare una base, per la misura stereoscopica, molto più sicura che

con tali cannocchiali, fotografando contemporaneamente un medesimo oggetto in due diversi punti della Terra; quindi si fanno coincidere le due immagini stereoscopiche. Il principio spiegato innanzi permette di misurare gli intervalli di queste, e su di esso è costruito lo *stereo-comparatore* di Pulfrich, che rende possibile l'applicazione della visione stereoscopica fino nei più lontani spazi celesti. Poichè la Terra, e noi con essa, procediamo nello spazio nell'annuale movimento intorno al sole, ci possiamo procurare una base stereoscopica lunga quanto il diametro dell'orbita terrestre, cioè circa 300 milioni di chilometri. Gli spostamenti di prospettiva delle stelle che vengono così a formarsi si chiamano le loro

parallassi; queste forniscono l'unico mezzo per poter conoscere qualche cosa sulle loro smisurate distanze. La misurazione di tali parallassi colle vie ordinarie è estremamente difficile. Coll'impiego dei nostri due occhi, la misura fatta con lo stereocomparatore, è senza dubbio notevolmente facilitata. La fig. 3 della Tav. VI. rappresenta due di queste fotografie stereoscopiche celesti, fatte sopra la base che la Terra percorre in un giorno. Nello stereoscopio noi vediamo chiaramente che il pianeta Saturno, sebbene distante 1300 milioni di chilometri, è più vicino a noi delle stelle fisse, che sono infinitamente più lontane; possiamo ancora vedere il più grande satellite del pianeta, Titano, che pure si libra nello spazio a grandissima distanza dietro il suo pianeta. La percezione immediata della corporeità fino a distanze così sterminate ha qualche cosa di fantastico.

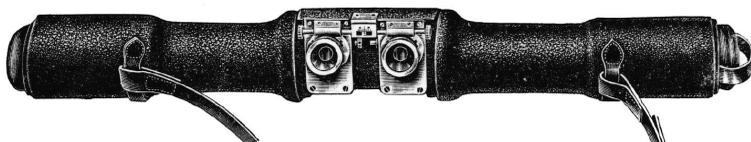
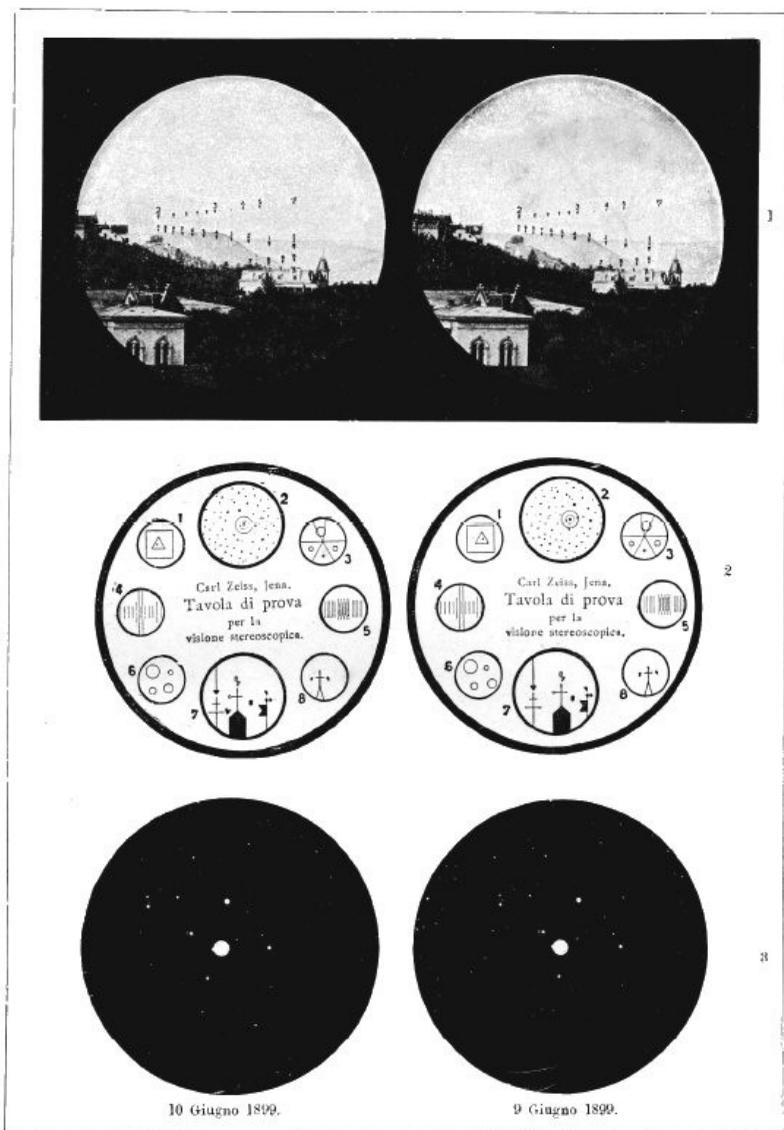


Fig. 216. – Telemetro stereoscopico.

Gli oggetti bianchi, la superficie speculare dell'acqua, i metalli levigati, il vetro mostrano una lucentezza particolare, che nè la pittura, nè la semplice fotografia possono riprodurre. Invece, nei fotogrammi stereoscopici questa lucentezza apparisce, mostrandoci che per risvegliarla occorre proprio la doppia immagine. La causa sta forse in un particolare contrasto fra le due impressioni del-

la retina, che si può fisiologicamente spiegare; ugualmente, le impressioni diversamente colorate dei due occhi generano riflessi metallici. Se un'immagine presenta i colori complementari dell'altra, entrambe si riuniscono stereoscopicamente in un'immagine chiaro-scura. Ciò si può applicare anche ad un interessante metodo per produrre figure in prospettiva degli oggetti materiali, anche senza l'uso dello stereoscopio. Le due immagini stereoscopicamente diverse sono stampate l'una sull'altra e precisamente l'una col colore complementare dell'altra. Si guarda poi questa immagine, confusa ad occhio nudo, per mezzo di occhiali, di cui ciascun vetro ha lo stesso colore di ciascuna delle immagini *sovrapposte*, e così subito si ha l'impressione della prospettiva. Se un'immagine è azzurra, l'altra gialla, l'occhio provvisto di un vetro azzurro vede niente o poco della prima immagine, mentre la seconda gli appare chiaro-scura; l'inverso avviene per l'altro occhio col vetro giallo. Ciascun occhio quindi vede soltanto una delle immagini stereoscopiche. Queste, riprodotte come diapositive a colori, si possono proiettare nella grandezza voluta l'una sull'altra e così presentare figure plastiche ad un intero pubblico, che si può facilmente munire di quegli occhiali colorati, mentre, altrimenti, l'osservazione stereoscopica è solamente personale.

Sopra una proprietà puramente fisiologica dell'oc-



Immagini stereoscopiche.

1. Immagini stereoscopiche con scala di distanza (Zeiss). – 2. Tavole di prova della finezza della vista. – 3. Fotografie stereoscopiche di Saturno (Prof. M. Wolf in Heidelberg).

Se illuminiamo un oggetto azzurro con luce gialla pura, questo apparirà nero, cioè senza colori: lo stesso avverrà guardandolo attraverso un vetro giallo. Ciò sembra essere in aperta contraddizione con l'affermazione, che tali colori, essendo complementari, debbono formare il bianco. Se facessimo cadere, sopra una superficie gialla, luce gialla e insieme luce azzurra, la superficie illuminata rimarrebbe realmente bianca; ma, in tal caso, dove si producesse un'ombra in una sola delle due luci, appare il colore di quella sorgente luminosa che non è coperta.

Risulta, dunque, che la maggior parte delle sostanze, quando sono illuminate, fanno una selezione fra le varie specie della luce che li colpisce. Una sostanza perfettamente trasparente, come il vetro incolore, lascia passare tutte le lunghezze d'onda senza alcun assorbimento significativo; ed una superficie bianca od uno specchio respingono tutte le onde luminose incidenti. Vi sono, poi, corpi assolutamente opachi e neri, che non lasciano passare, nè riflettono alcuna luce, ed altri che assorbono solo certe date lunghezze d'onda, od una parte di esse. Il vetro rosso lascia passare solamente le onde luminose della lunghezza corrispondente al suo colore; tutte le altre le assorbe nel suo interno, ossia le trasforma in altri movimenti molecolari che a noi non danno l'impressione di luce, ma principalmente in calore. Un oggetto rosso non trasparente, assorbe nello stesso modo negli strati della sua superficie tutti i raggi non rossi: i rossi soli esso irradia di nuovo. Ne risulta che un tale corpo così colorato non può essere del tutto impenetrabile alla luce,

perchè per prodursi questa scelta della speciale lunghezza d'onda, la luce deve necessariamente penetrare fino ad una certa profondità. La luce, che può traversare uno strato sottile di tali sostanze, deve avere appunto quelle lunghezze d'onda che non sono riflesse dal corpo. I corpi mostrano dunque, per trasparenza, il colore complementare di quello che presentano per diffusione; per esempio, la luce bianca attraverso sottili foglie d'oro appare azzurra-verdastra, mentre il colore del metallo per riflessione è giallo.

L'attitudine di certe sostanze a trattenere o ad assorbire certe specie di luce, corrispondenti a determinate lunghezze d'onda, si spiega facilmente dal loro comportamento allo spettroscopio; e si connette alla costruzione dei sistemi atomici e molecolari, da cui dipendono anche i caratteri chimici. Come ciascun corpo possiede le sue invariabili linee spettrali, così ha anche un suo *colore superficiale* invariabile. Se questo cambia, si può essere sicuri, che cambia anche lo stato molecolare della sostanza.

Poichè un oggetto giallo e opaco assorbe dalla luce che lo colpisce, tutti i raggi che non siano gialli, e, in particolare, non permette ad alcun raggio azzurro di giungere al nostro occhio, mentre, al contrario, un vetro trasparente azzurro lascia passare soltanto questi raggi, si intende che, osservando con tale vetro il corpo giallo, nessuna qualità di luce potrà arrivare al nostro occhio, e l'oggetto non apparirà luminoso, ossia sarà nero.

L'aspetto magnifico della variopinta natura che ci cir-

conda, deve in gran parte la sua origine a questo multiforme giuoco dei colori superficiali. Gli organismi per i quali la luce è un elemento di vita, si contentano sempre di una sola parte delle onde luminose dei raggi solari che li colpiscono, e per mezzo della luce restituita nella diffusione, abbelliscono l'aspetto del mondo alle altre creature che lo abitano. Così, in special modo, le piante, le quali assorbono i raggi azzurri e violetti per il loro processo respiratorio che rifornisce l'ossigeno al mondo animale, e i raggi rossi per il mantenimento del loro calore. Esse possono fare a meno soltanto dei raggi della parte media dello spettro; donde il loro colore prevalentemente verde. Gli svariati petali colorati dei fiori, invece, che non servono più alla generale alimentazione dell'organismo, sono vestiti gaiamente da nozze: essi rinunziano alla più utile scelta delle onde luminose e fan bella mostra di tutti i colori. Gli organismi animali generalmente non usufruiscono della luce come di un mezzo necessario all'esistenza; i loro colori, che servono solamente per ornamento o per protezione, son distribuiti con la maggior varietà: basti pensare al variopinto sciamme delle farfalle.

Ma non solamente i colori superficiali contribuiscono a formare il quadro della Natura. L'azzurro della volta celeste e gli splendidi colori del tramonto hanno origine dall'assorbimento della luce, nell'aria non perfettamente trasparente, e dalla rifrazione dei raggi nell'aria stessa. L'arcobaleno, gli aloni luminosi che circondano il Sole e la Luna, sono fenomeni di rifrazione, prodotta dalle goc-

cioline d'acqua o dai cristalli di ghiaccio sospesi nell'aria.

k) **La diffrazione della luce.**

Quando abbiamo veduto la luce bianca decomorsi nei suoi colori spettrali, e siamo riusciti a spiegarci questo fenomeno come un movimento di onde eteree di differenti lunghezze, ci siamo serviti per questa dimostrazione dell'esperienza di Fresnel sull'interferenza. Dobbiamo, ora, valerci di nuovo di tale esperienza per illustrare fenomeni simili, che hanno una parte importante, così per la teoria, come per l'applicazione pratica.

Vedemmo, altra volta, come due fasci di raggi monocromatici, che si tagliano con un angolo molto acuto, in certi punti si annullano reciprocamente; in specie, dove le vibrazioni luminose dei due raggi distano fra loro di mezza lunghezza di onda. Allora la primitiva linea di luce, incidendo su uno schermo, appare divisa da strisce chiare e scure, che ci rivelano il fenomeno dell'interferenza.

Ma tali strisce o frangie si possono ottenere anche

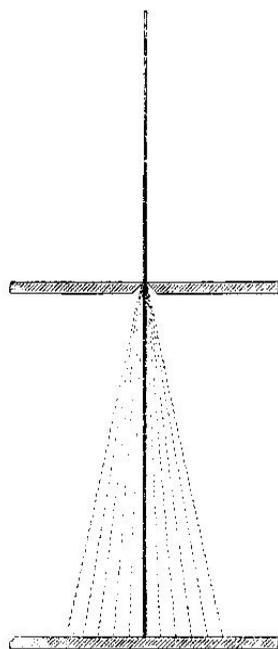


Fig. 218. – Diffrazione della luce.

con una sola sorgente luminosa, e un solo fascio di raggi. Se si fa cadere un fascio di raggi sopra una sottile fenditura, in modo che, solo attraverso di questa possa passare la luce, sullo schermo opposto illuminato appaiono ancora le linee d'interferenza. Ciò può solo derivare dal fatto che oltre al raggio procedente rettilineamente, dalla fessura, sotto un angolo molto piccolo, partono anche altri raggi, che si incrociano coi vicini più o meno divergenti, producendo così quelle onde fisse luminose. Sull'origine di questi raggi laterali, si sono avanzate diverse teorie ed emesse molte diverse opinioni. Per noi, è ancora un fenomeno di rifrazione. Noi sappiamo, che i corpi solidi non constano affatto di una massa compatta, ma che tra i loro sistemi molecolari devono trovarsi lacune molto grandi. Alla superficie, queste lacune sono più grandi, aprendosi verso l'aria circostante, la quale, a sua volta, si ispessisce intorno alla superficie dei corpi formando un'atmosfera, il cui particolare effetto è stato esaminato solamente di recente. Così, anche le proprietà ottiche sono diverse alla superficie dei corpi. Sui lati taglianti della fenditura, dove le molecole divengono sempre minori di numero, la sostanza opaca diviene a poco per volta trasparente e rifrange i raggi che la traversano. A questo fenomeno partecipano così il corpo solido come l'aria che lo circonda; per cui non c'è da meravigliarsi se i fenomeni di rifrazione prodotti, sono nella loro natura un po' differenti da quelli degli ordinari rag-

gi rifratti¹¹.

La luce può anche, invece che per una fessura, passare per un'apertura diversamente conformata, e disegnare speciali *figure di diffrazione* (fig. 219 e 220). Una picco-

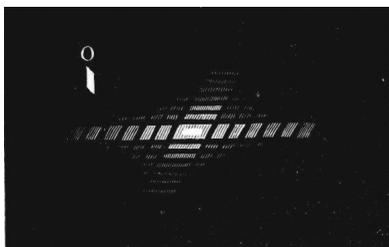


Fig. 219 – Diffrazione attraverso un'apertura. (O).

la apertura circolare disegnerà, quindi, un certo numero di anelli chiari, di intensità luminosa rapidamente decrescente verso l'esterno. Si può così osservare chiarissimamente per mezzo di un cannocchiale, il cui obbiettivo

sia coperto lasciando solo una simile piccola apertura. Gli stessi fenomeni si producono, se, a piena apertura di obbiettivo, si osserva una stella lucente che risalta nel fondo buio del firmamento. La stella presenta allora i cosiddetti *anelli di diffrazione*. Poichè i primi di questi restano proprio addossati alla immagine della stella, così ingrandiscono il suo apparente diametro; in modo che questa, benchè per la nostra potenza visiva sia proprio affatto priva di diametro, tuttavia ci appare come un disco. In un medesimo cannocchiale la grandezza di questo dischetto cresce con la luminosità della stella, e si possono, in proporzione di questa, distinguere sempre

11 I fenomeni della diffrazione sono perfettamente spiegati, con matematica esattezza, dalla teoria delle ondulazioni. Questa spiegazione semplicista dell'Autore, non originale anzi vecchissima, è non solo insufficiente ma in contraddizione coi risultati dell'esperienza. (N. d. T).

più di tali anelli di diffrazione che indeboliscono presto verso l'esterno. Per la medesima stella cresce la grandezza del dischetto con la distanza focale del cannocchiale, perchè i raggi di diffrazione rifratti dagli orli dell'obbiettivo, più lontano, formano un angolo minore che nei cannocchiali più piccoli. Ne nasce il fenomeno che colpisce i poco pratici, i quali vedono coi più grandi e perfetti strumenti d'osservazione, le stelle fisse sempre più piccole, specialmente più piccole che ad occhio nudo, poichè questo per la sua piccola distanza focale

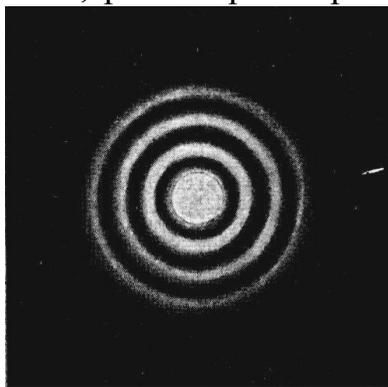


Fig. 220.
Anelli di diffrazione.

presenta forti fenomeni di diffrazione. Un cannocchiale perfetto deve farci vedere un punto, ancora come un punto. Se da questo nasce in qualunque modo nel cannocchiale una figura, anche gli anelli di diffrazione che lo circondano devono aver questa figura ed apparire deformati. Il loro esame offre un decisivo mezzo

di prova della bontà di un obbiettivo. Adoperando le diverse qualità di luce nelle ricerche sui fenomeni di diffrazione, la distanza delle linee diviene massima nella luce rossa e minima in quella violetta. Abbiamo già trovato, nell'esperienza di Fresnel, che questa distanza delle righe deve essere proporzionale alle rispettive lunghezze d'onda; e noi l'abbiamo determinata appunto, da quella larghezza delle righe.

La diversa azione della diffrazione nei singoli colori, ci offre un mezzo di stabilire uno *spettro di diffrazione*, che presenta notevoli vantaggi su quello ottenuto coi prismi. Si può, per via puramente geometrica, mostrare che, per effetto di un gran numero di fessure molto vicine fra loro, ossia di un finissimo reticolato, a causa del complesso intrecciamento dei raggi di diffrazione, invece delle linee, si formano molti spettri continui, che, come quelle linee, si dispongono simmetricamente dal mezzo verso le due estremità, in modo da avere, tanto a destra che a sinistra, sempre le loro parti violette, in dentro, quelle rosse in fuori. Alcuni di quei colori spettrali si mischiano nuovamente a formare righe di luce bianca.

Tra la lunghezza d'onda λ , la distanza delle linee del reticolo b , e l'angolo α di deviazione dell'immagine, passa il semplice rapporto $\lambda = b \sin \alpha$. La nostra moderna tecnica è arrivata a costruire reticoli di estrema finezza, facendo delle sottili graffiature sul metallo o sul vetro con una macchina da dividere, e servendosi quindi dei raggi riflessi dai bordi di queste, invece che di quelli formati passando attraverso a fessure. L'americano Rowland ha costruito reticoli che sopra 1 mm. hanno 1700 linee, di modo che l'intervallo tra queste linee, ossia la grandezza b , è soltanto di 0,000588 mm., ossia, proprio delle stesse dimensioni delle lunghezze d'onda da misurarsi. La lunghezza d'onda delle linee del sodio è anzi un po' maggiore di questi intervalli fra le linee, che la mano dell'uomo ha saputo tracciare in maniera

esattissima.

Tali reticoli generano spettri di straordinaria estensione, come non si potrebbero mai ottenere coi prismi. Perciò, per le ricerche di grande precisione, si adoperano soltanto spettri di diffrazione, i soli che possono permettere una misurazione sicura delle lunghezze d'onda della luce. A tal fine, si misura solo l'angolo di deviazione delle rispettive linee spettrali secondo la formola già data. L'altra grandezza b che resta a conoscere, si ottiene con sufficiente sicurezza, misurando l'intera lunghezza del reticolo, e contando le linee in essa contenute. Moltiplicando questa costante b per il seno dell'angolo di deviazione delle linee spettrali osservate, si ottiene immediatamente la lunghezza d'onda della luce studiata.

Questa misura offre anche la possibilità di verificare l'unità fondamentale di lunghezza, cioè il metro; ossia di avere una *unità assoluta* di lunghezza. Abbiamo già mostrato nell'Introduzione quali e quante difficoltà s'incontrano nella determinazione della lunghezza del metro, dalla quale dipende la *conoscenza* di tutte le leggi naturali, e che sola ci può porre in grado, un giorno, di verificare gli eventuali cambiamenti di queste leggi, anche in migliaia d'anni. Il metro campione può andar perduto, come già è accaduto, altre volte, di tali campioni, ed il suo rapporto con le dimensioni della Terra è pure incerto; tutte le verità scritte corrono un gran pericolo di non durare molto, come mostra la storia; ma, con la cura e le precauzioni che oggi si hanno, è certo per altro, che

anche tra migliaia d'anni si saprà che la lunghezza d'onda luminosa della prima linea del sodio misura 589,61 milionesimi di mm., cioè 0,00000058961 parti di quella misura che fu chiamata metro. Con questo rapporto si può esprimere la lunghezza del metro in qualunque altra unità di misura, occorrendo soltanto di misurare l'angolo di deviazione della linea proveniente da un reticolo, del quale si sappia quante linee sono comprese nell'altra unità. Poniamo il caso, che la determinazione della lunghezza d'onda nella nuova misura dia 0,000000595506. Allora, il quoziente di questo numero per la lunghezza d'onda, già tramandata in metri, dà il rapporto delle due unità di misura. Nell'esempio dato, questo supposto futuro metro starebbe al nostro come 1 a 1,01. In ogni caso, la precisione della misura può spingersi fino a 0,01 milionesimi di mm., il che corrisponde completamente ai bisogni della nostra moderna tecnica d'osservazione. Con questo metodo si può verificare la lunghezza del nostro metro fino ad un'approssimazione di 0,017 mm. Non molto più esatti, riguardo alle incertezze che qui si incontrano per l'influsso della temperatura, sono i diretti confronti fatti coi comparatori dei nostri Uffici di misure: e non c'è dubbio, che tra pochi secoli, si sarà più incerti di quanto il metro campione, conservato in Parigi con cura scrupolosa, possa essersi alterato, che non sulla grandezza del metro stesso definita per mezzo della lunghezza delle onde luminose.

A questo proposito, si ammette sempre, con tacita supposizione, che queste stesse lunghezze d'onde siano

invariabili, sebbene la nostra conoscenza dei fenomeni della natura, quanto più approfondita, tanto più ci induca a pensare che niente nell'Universo vi ha d'invariabile; tuttavia, rispetto a tutti gli altri rapporti e misure fisiche, dobbiamo attribuire a questa delle onde luminose una costanza, che per la mente umana si può considerare assoluta ed eterna. Convieni qui ricordare che la prima origine di quei movimenti atomici e molecolari che a loro volta comunicano all'etere i movimenti ondulatorii, è ancora, secondo le nostre ipotesi, la gravitazione universale. La gravitazione si è fin qui conosciuta come l'unica forza che nella sua azione non subisce l'influsso di alcun'altra energia naturale, e che si presenta invariabile in tutti i cambiamenti dello stato fisico dei corpi. Così deve essere, se la velocità media di quei liberi atomi dell'etere, i cui urti, a nostro avviso, generano la gravitazione, è la stessa in ogni parte delle regioni celesti che noi attraversiamo. A questo riguardo, peraltro, non abbiamo affatto l'assoluta certezza, per quanto la cosa sia probabilissima, che le velocità di movimento e la densità dell'etere, nella sua liberissima mobilità, negli infiniti spazi celesti e nel tempo, siano dappertutto uguali. Ma qui giungiamo novamente ai confini dell'umanamente conoscibile che non è assoluto, e al di là del quale le nostre considerazioni perdono ogni sicura base. Noi dobbiamo perciò, nelle nostre ricerche, seguire mezzi e vie tali che consentano la possibile dimostrazione della variabilità della forza di gravità. Di tali mezzi offre in primo luogo l'indagine astronomica. Se le no-

stre ipotesi sulla genesi dei movimenti molecolari sono giuste, dobbiamo veder variare le lunghezze d'onda della luce colla universale forza di gravità.

Dopo questa parentesi sulla difficile ma interessante questione della determinazione della cosiddetta misura assoluta, ritorniamo ai fenomeni di diffrazione della luce, e precisamente alla differenza di posizione delle linee, in uno spettro di diffrazione ed in uno prismatico, la quale dipende dalla diversità delle leggi geometriche che qui entrano in giuoco. Dalla formula $\lambda = b \sin \alpha$ si vede subito che, nello spettro di diffrazione, la distanza delle linee deve essere proporzionale alle loro lunghezze d'onda; il che non avviene nella rifrazione mediante il prisma. Confrontando, uno sull'altro, due spettri di uguale lunghezza delle due specie, si vede che nello spettro prismatico una metà è quasi totalmente occupata dai raggi azzurri e violetti, mentre il verde, il giallo e il rosso si ammassano dall'altra parte; sullo spettro di diffrazione, invece, vediamo i colori distribuiti molto più uniformemente. Nel mezzo circa si trova la linea gialla *D*, e i raggi rossi sono notevolmente più estesi che sullo spettro prismatico. Ciò offre un grande vantaggio per l'osservazione appunto di questi raggi meno rifrangibili, che non hanno il vantaggio, come la parte violetta dello spettro, di una particolare attività fotografica.

Questi intrecciamenti delle onde luminose che formano gli spettri di diffrazione, producono anche lo splendore madreperlaceo e la lucentezza delle elitre di alcuni insetti. Viste al microscopio, le superficie a riflessi bril-

lanti appaiono coperte da un gran numero di fini rilievi rilucenti che agiscono come i reticoli di diffrazione. Questi riflessi sono dunque un fenomeno puramente ottico e non hanno relazione, come i colori superficiali, colle proprietà interne delle diverse sostanze.

Se si pone una lente convessa, sopra un disco piano di vetro, intorno al punto di contatto, appaiono anelli regolari che presentano ordinatamente i colori dello spettro. Questi cosiddetti «*anelli di Newton*» sono prodotti dalle onde stazionarie luminose che si formano per l'incrocciamento dei raggi riflessi dalla lente e dalla superficie del vetro. Abbiamo dunque avanti a noi, anche qui, un fenomeno d'interferenza. La distanza delle due superficie, che partecipano a questa azione delle onde, si può calcolare dalle diverse distanze dal punto di contatto; e la grandezza dell'anello fornisce, con tale distanza, una misura delle lunghezze d'onda. Le lamine sottili, come per esempio quelle delle bolle di sapone, mostrano pure tali colorazioni, essendo qui riflesse le onde dalla parete interna e dalla esterna della pellicola, in modo che tra i due sistemi di onde si formano le onde stazionarie. Essendo il colore dipendente dalla grandezza di queste onde, e cambiando continuamente lo spessore della pellicola della bolla di sapone, avviene che i colori dell'iride si alternano rapidamente alla superficie di questa.

Questa proprietà delle lamine sottili è stata dal Lippmann di Parigi applicata ad un sistema di fotografia a colori, del quale molto tempo prima Zenker aveva predetto teoricamente la possibilità pratica. Una lastra di

vetro, munita di uno strato finissimo sensibile alla luce, è posta sopra uno strato di mercurio, in modo che la luce, che traversa la lastra, è respinta dalla superficie speculare del mercurio e forma coi nuovi raggi, che penetrano, onde fisse all'interno dello strato sensibile. La distanza dei nodi dipende dal colore della luce impiegata. Come abbiamo veduto nelle corde vibranti, i nodi stanno fermi, mentre, nei loro intervalli, avviene il maggiore movimento; così, in questi nodi, non avviene alcuna o almeno solo una piccola decomposizione della sostanza sensibile, mentre, invece, nei ventri interposti si ha la decomposizione maggiore. L'argento metallico separato deve dunque disporsi in strati finissimi, più vicini tra loro dove ha agito luce azzurra, meno vicini dove ha agito quella rossa. Una tale lastra non si distingue in principio da una comune negativa: ma se da uno specchio, la luce è di nuovo riflessa fra questi strati, ne risultano onde fisse della medesima lunghezza di quelle che hanno generato gli strati; e la negativa così osservata, mostra perciò i colori naturali dell'oggetto fotografato. Quanto questo metodo è interessante dal lato teorico, altrettanto però sono ancora incompleti i suoi risultati pratici. Queste immagini colorate hanno una certa somiglianza coi vecchi *daguerrotipi*, che, pure essi, si vedono bene soltanto sotto un determinato angolo di vista. Non sembra che su questa via debba incamminarsi la futura fotografia a colori; tanto meno poi, in quanto è evidente, che non corrisponde al mezzo di cui si è servita la natura per produrre l'impressione dei colori nel nostro

occhio. Il sistema, già descritto, dei tre colori si avvicina più alla via naturale.

Anche per i fenomeni di diffrazione si può fare un confronto con le onde sonore. A questo proposito il Thomson ha dimostrato che una scossa improvvisa dell'aria prodotta, per esempio, da un colpo, che si franga contro una grata, come le sbarre di chiusura di un lungo ponte, produce, per l'incrociarsi delle onde sonore, una nota molto alta. Ugualmente, pensa il fisico inglese, un improvviso urto dell'etere riflesso in una grata, deve causare un simile fenomeno luminoso.

La proprietà della trasparenza dei diversi corpi solidi, come quella del vetro e più ancora del cristallo, dipende, evidentemente, da una determinata disposizione regolare delle molecole, le quali permettono alle onde luminose di passare attraverso a loro, mentre invece nei corpi opachi, il movimento delle onde, già dopo una piccola penetrazione, viene affatto turbato e deviato dalla disposizione irregolare di questi piccolissimi sistemi. Rimane solo il movimento progressivo degli atomi dell'etere, che, come vedemmo, è causa della gravitazione. La stessa forma esterna dei cristalli, così stupendamente regolare, fa pensare, che anche la interna disposizione molecolare debba seguire le stesse leggi geometriche che determinano la forma esterna. Possiamo perciò presupporre, che in queste geometriche leggi di costruzione tutte le proprietà fisiche, insieme con quelle ottiche, abbiano rapporti tra loro. E ciò è confermato in modo sorprendente dall'osservazione.

Le forme de' cristalli, nelle quali la natura dispone la sua materia, quando dallo stato di mobilità la riunisce in sistemi fissi e costanti, sono di straordinaria varietà. Noi tratteremo particolarmente queste forme quando, nel capitolo della chimica, ci occuperemo delle proprietà particolari a ciascun corpo, alle quali anche si connette la formazione dei cristalli. Si distinguono sistemi cristallini regolari e sistemi irregolari. Ai primi appartengono i cristalli ad assi perpendicolari tra loro, come li troviamo nei cubi di salgemma. A quelli irregolari appartiene lo spato d'Islanda, i cui cristalli formano angoli obliqui. Tutti i cristalli, anche nelle loro forme più complicate, sono costruiti in modo che la combinazione delle loro piccole parti, o della stessa forma o di una più semplice e fondamentale, può riprodurli in grandi proporzioni. Per esempio, con un certo numero di cubetti si può sempre comporre un grande cubo. Oggi non si ammette più come un tempo, che gli ultimi, piccolissimi elementi della materia abbiano queste forme fondamentali, che così si aggrupperebbero per formare i cristalli più grossi; oggi, infatti, sappiamo che le minime particelle di materia, cioè gli atomi nelle molecole e le molecole stesse si trovano in continuo movimento ed esistono perciò tra di loro intervalli e lacune. Tuttavia, noi dobbiamo ammettere, che quei sistemi cosmici molecolari, i cui complessi movimenti cerchiamo sempre di conoscere con maggior precisione, debbano reciprocamente influire gli uni sugli altri in un modo ancora non bene conosciuto, per riunirsi in queste forme solide fonda-

tali.

Ma tutte queste non sono che supposizioni. Volendo, anche qui, fare la solita nostra comparazione coi grandi sistemi cosmici dell'Universo, ci possiamo immaginare che un insieme di sistemi sferici, con rapporti di grandezza e di movimento in tutto uguali, può presentarsi come corpo cristallino in forma cubica, analogamente a quel che possiamo fare con sfere materiali (fig. 221). Dovendo ammettere, che la coesione dei singoli atomi, nell'interno delle molecole, debba essere molto maggiore di quella delle molecole tra loro, è chiaro che, lungo quelle immaginate superficie sferiche di contatto fra i sistemi molecolari, formanti il cubo, le particelle si potranno separare più facilmente che in altra direzione, poichè tali superficie di separazione non passano mai per la sfera d'azione di una molecola. Un cristallo dunque, se le nostre ipotesi sono giuste, generalmente è sfaldabile con la massima facilità, parallelamente alle sue superficie, proprietà questa veramente caratteristica nei cristalli. Ma ciò che vale per l'azione meccanica della sfaldatura, vale anche come principio per ogni altra azione fisica, perchè in generale i cristalli dovranno presentare la minima resistenza lungo queste superficie. Da questo punto di vista dobbiam

ottiche dei cristalli.
Ma certamente l'azione dei sistemi molecolari non sarà limitata sempre da sfere. Anche il nostro sistema planetario,

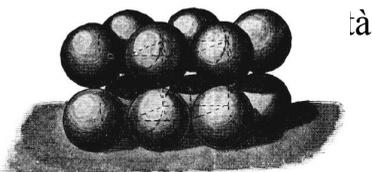


Fig. 221.
Origine dei cristalli.

così considerato, colle sue orbite riunite in un piano principale, con piccoli angoli d'inclinazione, può paragonarsi ad un corpo cristallino piano a più assi. Tutte le altre forme cristalline potrebbero ugualmente essere formate dall'unione di orbite circolari o ellittiche intorno ad un comune centro di gravità.

Che cosa accadrà quando le varie onde di un raggio di luce si incontreranno con un sistema molecolare così composto? Se il raggio penetra nella direzione del piano cristallino, è evidente che sarà minimamente impedito nel suo passaggio trovando in questo verso la minima resistenza. Dove, invece, un raggio incontra una delle parti vibranti intorno alla molecola, il suo movimento ne sentirà l'influenza, la sua temperatura sarà alterata, e andrà perciò perduta come luce: per cui realmente nessun corpo è affatto trasparente. Se poi un raggio incontra, con un certo angolo, la superficie di sfaldatura di un cristallo, penetra tanto più nelle sfere d'attrazione delle molecole quanto più obliquamente è diretto: il cristallo diviene come scabroso per il raggio: donde si producono i fenomeni di rifrazione con legge rigorosamente geometrica che si può seguire in tutte le più fini particolarità. Si comprende facilmente, che la più parte dei liquidi ed il vetro hanno le stesse proprietà ottiche di questi cristalli regolari, se ci immaginiamo queste sostanze composte di molecole sferiformi poste ad intervalli uguali. Nei liquidi questa forma sferica delle molecole deve essere solo apparente, perchè esse si muovono in tutte le direzioni ed in tal modo con la loro rotazione determina-

no un campo d'azione sferiforme.

1) Polarizzazione della luce.

L'aggruppamento degli elementi della materia in cristalli produce anche una serie di fenomeni notevolissimi, che chiamiamo *polarizzazione della luce*, e che appunto ci hanno fornito molti importanti dati circa la speciale natura della struttura molecolare cristallina. Per poterci render conto della natura di questi fenomeni, dobbiamo, tornando un po' indietro, considerare più da vicino i movimenti dell'etere nelle onde luminose.

Abbiamo già detto, che i movimenti ondulatorii della luce, che descrivemmo comparandoli colle vibrazioni delle corde, devono essere assai più complessi. I movimenti di una corda procedono in un piano, quelli della luce nello spazio. Dalla linea di onde si origina perciò una linea a spirale. Lo spessore di questa «spirale di luce» dà l'intensità luminosa; l'intervallo fra un'onda e l'altra, ossia il «passo» di questa vite o spirale dà la lunghezza d'onda, da cui dipende il colore del raggio. Occorre ora conoscere più intimamente le particolarità del movimento in tali linee ondulate.

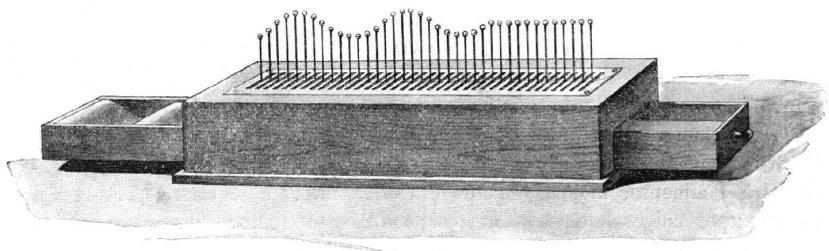


Fig. 222. – Modello delle onde luminose.

A questo scopo ci serviremo dell'apparecchio rappresentato dalla fig. 222. Si fa in modo che le astucelle coi bottoni non solo si muovano in alto e in basso, ma anche lateralmente, incastrando perciò ciascuna astucella in una fessura, come si vede dalla figura. Il movimento dall'alto in basso è ottenuto per mezzo di una superficie ondulata, che si fa scorrere al di sotto delle astucelle (fig 223). Oltre a questa superficie, si aggiunge un apparec-



Fig. 223. – Base ondulata.

chio a scanalatura che disegna una linea ondulata orizzontale (fig. 224). Così le astucelle, facendo scorrere la superficie ondulata, sono costrette a prendere un movimento, oltre che in alto e in basso, anche in direzione la-



Fig. 224. – Parte orizzontale dell'apparecchio per le onde.

terale. Allora i due movimenti così riuniti dei bottoni

danno l'impressione di un movimento a spirale, e realmente vi corrispondono, astraendo da quello di avanzamento, che pure dobbiamo dedurre dalle nostre considerazioni sulle onde luminose. Questo movimento a spirale si può scomporre in due movimenti ondulatori perpendicolari tra loro, ciascuno dei quali si compie solo in un piano e non più nello spazio. Occorre però intendere bene, che questo non è altro che un espediente per ricondurre le nostre osservazioni sopra piani, sui quali noi operiamo con molta maggior facilità che nello spazio. Il movimento luminoso dell'etere non si compone realmente di due parti così divise; ma la scomposizione della spirale in due onde piane perpendicolari tra loro, deve solo servire a spiegare questo movimento dell'etere, come già nel capitolo della meccanica abbiamo imparato a decomporre una forza, che in se stessa è unica, in due o più componenti, secondo la legge del parallelogrammo.

La nostra macchina ci permette ora di riferire a due piani, le svariatissime combinazioni di questi due supposti movimenti ondulatori. Prendendo uguale l'altezza d'onda nei due piani, ciascun bottone si muoverà in un cerchio: se le altezze d'onda sono diverse, in una ellisse. Se facciamo una delle altezze d'onda uguale a zero, le asticelle si muoveranno o solamente in alto e in basso, o solamente a destra e a sinistra. Secondo la nostra teoria sulla costituzione dei sistemi molecolari, i corrispondenti movimenti delle particelle dell'etere rispecchiano quelli di rivoluzione degli atomi nelle molecole e quelli

riscontrati da noi sperimentalmente nello spazio celeste, che avvengono secondo orbite o circolari o ellittiche. Questa immaginaria decomposizione del movimento in due componenti semplicizza notevolmente le nostre considerazioni sul comportamento di un raggio luminoso, che penetra nei descritti corpi cristallini.

Per comprendere la diversa resistenza che le due componenti delle vibrazioni luminose trovano in un cristallo, i cui elementi molecolari sono disposti in serie ad angolo retto formanti un cubo, cerchiamo di fare scorrere fra questa serie una superficie piana, come una striscia di cartone. Questa striscia, posta parallela ad uno spigolo del cubo e perpendicolare ad una faccia di questo, scivola facilmente tra l'una e l'altra serie (fig. 225).

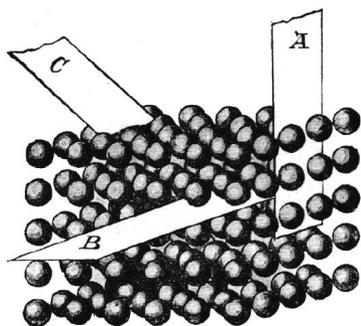


Fig. 225. – Passaggio della luce fra le molecole d'un cristallo.

Lo stesso accade con una striscia *B* perpendicolare alla prima, che sarà allora parallela ad un'altra faccia del cubo. Ne consegue che un raggio di luce, che cade perpendicolarmente ad una faccia di un cristallo cubiforme, non subisce alcuna notevole resistenza nè alcun cambiamento.

Sia invece il raggio inclinato. In questo caso la striscia *C*, che penetra obliquamente, deve tagliare il sistema molecolare, che consideriamo come un corpo solido, ed incontrerà perciò una resistenza proporzionale alla sua inclinazione. In un raggio che cade obli-

quamente le due componenti si trovano in condizioni diverse, e devono quindi presentare differenti proprietà.

La componente perpendicolare alla superficie d'incidenza penetra nel cristallo, e,

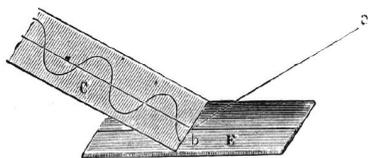


Fig. 226. – Polarizzazione.

per effetto della resistenza che le vibrazioni trovano nel passaggio tra le sfere d'azione delle molecole, darà luogo alla rifrazione con le proprietà che già conosciamo. Ma le particelle d'etere, che colpiscono il cristallo con una componente di movimento nel piano d'incidenza C , avranno molto più occasione, nella loro vibrazione in qua e in là, lateralmente, d'incontrarsi colle molecole del cristallo e saranno da queste respinte secondo le leggi che sappiamo, per l'urto obliquo, cioè con quelle della riflessione della luce. Con questo si è data la causa molecolare della divisione di un raggio obliquo in uno rifratto ed in un altro riflesso: ed, insieme, si è dimostrato teoricamente che le onde luminose del raggio riflesso debbono avere una proprietà affatto speciale. Le sue vibrazioni non possono più procedere in una linea a spirale come la cosiddetta luce naturale, ma avvengono solo in un determinato piano C (fig. 226), parallelo al piano d'incidenza E del corpo riflettente. Si dice che il raggio ab è *polarizzato* (una parola veramente disadatta, ma che tuttavia è entrata nell'uso, tanto che difficilmente potrebbe ad essa sostituirsi un'altra). Il piano C , nel quale si muove il raggio polarizzato e sul quale le vibrazioni avvengono perpendicolarmente,

Ma le particelle d'etere, che colpiscono il cristallo con una componente di movimento nel piano d'incidenza C , avranno molto più occasione, nella loro vibrazione in qua e in là, lateralmente, d'incontrarsi colle molecole del cristallo e saranno da queste respinte secondo le leggi che sappiamo, per l'urto obliquo, cioè con quelle della riflessione della luce. Con questo si è data la causa molecolare della divisione di un raggio obliquo in uno rifratto ed in un altro riflesso: ed, insieme, si è dimostrato teoricamente che le onde luminose del raggio riflesso debbono avere una proprietà affatto speciale. Le sue vibrazioni non possono più procedere in una linea a spirale come la cosiddetta luce naturale, ma avvengono solo in un determinato piano C (fig. 226), parallelo al piano d'incidenza E del corpo riflettente. Si dice che il raggio ab è *polarizzato* (una parola veramente disadatta, ma che tuttavia è entrata nell'uso, tanto che difficilmente potrebbe ad essa sostituirsi un'altra). Il piano C , nel quale si muove il raggio polarizzato e sul quale le vibrazioni avvengono perpendicolarmente,

si dice il *piano di polarizzazione*.

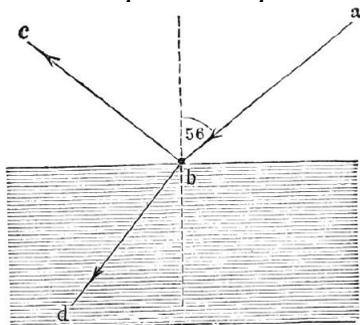


Fig. 227.

Angolo di polarizzazione.

Un raggio polarizzato non si distingue apparentemente da un altro. Ma, per esaminare le sue proprietà in circostanze speciali, sarà meglio dedurre dalle nostre considerazioni le condizioni, per le quali deve aversi il massimo della polarizzazione, cioè in cui il raggio non penetra affatto nella superficie d'incidenza. Abbiamo visto che la polarizzazione cresce coll'inclinazione del raggio, e non avviene quando l'angolo d'incidenza è di 90° , quando le vibrazioni sono parallele alla superficie d'incidenza come quando sono perpendicolari. Se così, a 0° come a 90° , non ha più luogo alcuna polarizzazione, se ne potrebbe dedurre che il massimo di essa deve aversi a 45° . Però, da un più sottile esame di questi rapporti di movimento nei quali non possiamo addentrarci tanto, risulta che ciò non è esatto, ma che la divisione in due componenti di movimento può essere misurata principalmente da quella direzione che prende il raggio rifratto. Il massimo della polarizzazione di un raggio avviene nella direzione (*bc*) perpendicolare al raggio rifratto (*bd*). Per il vetro corrisponde a 56° di angolo. Il raggio riflesso dalla parte opposta con un angolo uguale fa in questo caso un angolo retto col raggio rifratto, che passa nel corpo, e quest'ultimo raggio fa col prolungamento della verticale al

piano d'incidenza, un angolo $90^\circ - 56^\circ = 34^\circ$.

Per studiare questo raggio polarizzato, in rapporto alla direzione di vibrazione delle sue onde luminose, ci può sembrare utile guardarlo attraverso cristalli, la cui forma rivela una certa conveniente costruzione molecolare. Si è visto che la «tormalina», la quale forma prismi allungati a sei lati, esercita una notevolissima azione sul raggio polarizzato. Una sottile lamina tagliata da un cristallo di tormalina, la cui superficie sia parallela all'asse geometrico principale del cristallo, che passa nel verso della lunghezza, lascia passare inalterata la luce comune, ma non, in queste condizioni, quella polarizzata. Facciamo cadere sulla lamina un raggio polarizzato, ed allora non avverrà alcun cambiamento se la direzione dell'asse del cristallo è parallela a quella del piano d'incidenza di questo raggio, ossia perpendicolare al piano di polarizzazione; la luce lasciata passare dalla lamina diviene però minore nella stessa misura che la direzione dell'asse principale del cristallo viene girata verso quella del piano di polarizzazione. Se l'asse ha preso questa direzione, la lamina non lascia più passare alcuna luce. Fa molto meraviglia, pertanto, che la lamina resti trasparente in qualunque posizione, ed il raggio riflesso al nostro occhio appare essere luce come l'altra. Non si può così senz'altro capire come la semplice rotazione di una lamina, trasparente come il vetro, debba rendere questa in diverso grado trasparente. Il fenomeno però si spiega subito nella supposizione, che le molecole della tormalina siano disposte in modo da formare, per la luce, come

un reticolo. Noi ci possiamo immaginare, che all'interno del cristallo si trovino dei più piccoli cristalli di ugual forma coi loro spigoli. Per questo reticolo passano, allora, solo raggi, il cui piano di vibrazione si trova nella direzione delle linee del reticolo; invece, le onde trasversali incontrano nelle sbarrette del reticolo, nelle quali devono urtare, molto più resistenza. La tormalina lascia perciò passare solamente quella luce polarizzata, il cui piano di vibrazione è parallelo al suo principale asse-cristallino, e rimane invece trasparente per la luce che ha vibrazione in tutti i piani.

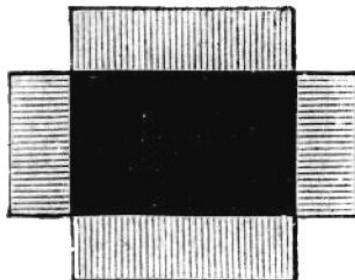


Fig. 228. – Lamine di tormalina incrociate.

Se questa spiegazione è giusta, dobbiamo ottenere da una lamina di tormalina solo luce già polarizzata, perchè attraverso al suo reticolo possono passare soltanto onde che si trovano in questa direzione. Infatti, se facciamo passare un comune raggio attraverso una lamina di tormalina, questo sarà estinto da una seconda lamina, se gli assi di questa saranno incrociati (fig. 228), mentre potrà passare liberamente, disponendo i due assi

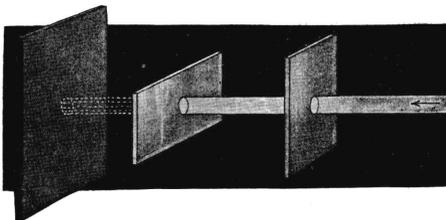
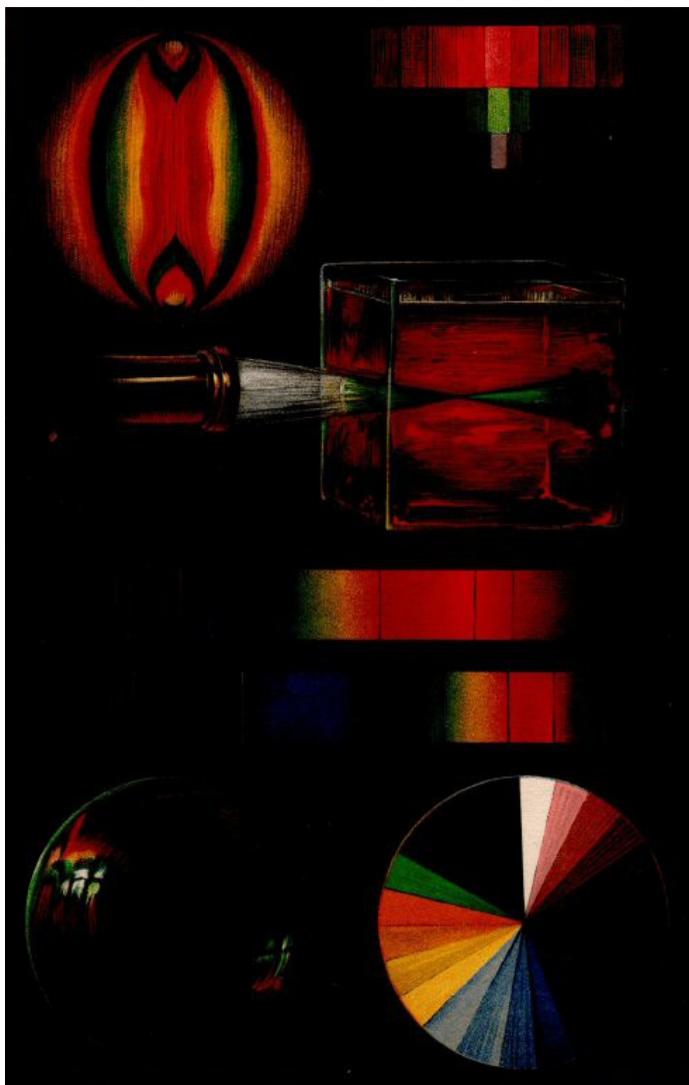


Fig. 229. – Cammino dei raggi attraverso le tormaline.

Fluorescenza ed altri fenomeni cromatici.



1, Disco di Newton. – 2, Frange d'interferenza coi vari colori. – 3, Spettro di diffrazione e prismatico. – 4. Bolla di sapone. – 5, Birifrangenza del vetro compresso. – 6, Fluorescenza.

Tra le sostanze che danno cristalli dotati di analoghe proprietà, va ricordato la *spato d'Islanda*, un minerale divenuto molto raro, il quale all'infuori che nella grotta d'Islanda, divenuta celebre appunto per questo, si trova in pochi altri punti della Terra, in cristalli puri e di sufficiente grossezza. Questi hanno una forma detta romboedrica. In natura, lo spato si presenta di rado in queste forme perfettamente trasparenti. Ma dai cristalli formati irregolarmente, si può, per mezzo della sfaldatura, ottenere la loro forma regolare, perchè questa sfaldatura si compie sempre facilissimamente secondo le superficie, corrispondenti, all'interno, alla disposizione delle molecole. I sei lati di tali romboedri hanno angoli obliqui. In due degli otto spigoli si congiungono tre angoli ottusi, ciascuno dei quali misura $101^{\circ} 53'$; i restanti spigoli hanno un angolo ottuso e due acuti. Per ciò il romboedro ha l'aspetto come di un cubo, cogli angoli spostati da tutte le parti.



Fig. 230. – Doppia rifrazione dello spato d'Islanda.

In corrispondenza a ciò, si spostano anche i raggi luminosi nel suo interno, ma l'effetto è, a prima vista, sorprendente. Se, per esempio, si pone uno di questi cristalli sopra uno scritto, questo appare raddoppiato, come

mostra la figura qui sotto [Fig. 230]. Con nessuna rotazione del cristallo si possono far coincidere le due im-

magini; delle quali l'una gira intorno all'altra che rimane ferma. Ne risulta, che un raggio ab che cade sopra una superficie del cristallo, si scinde in due raggi bc e bd , uno dei quali bc è rifratto nella maniera ordinaria come nei cristalli regolari e nel vetro, ed è detto *raggio ordinario*, mentre l'altro bd , detto *raggio straordinario*, è deviato di un angolo affatto determinato, in modo da dirigersi parallelamente ad una faccia del romboedro (fig. 231); in questa posizione rimane anche se si gira il cristallo. Se, invece, si inclina il cristallo, i due raggi si avvicinano o si allontanano fra loro, ma coincidono insieme, se il raggio d'incidenza è parallelo alla faccia seguita dal raggio straordinario.

Lo strano fenomeno si capisce subito, aiutandoci colla teoria sulla costituzione dei cristalli. Noi ci immaginiamo il romboedro di spato composto da sistemi molecolari di forma sferoidale, come sarebbe presso a poco il nostro sistema solare: soltanto dobbiamo supporre le orbite degli atomi planetari ancora più allungate. Se aggruppiamo questi sistemi con la maggior possibile economia di spazio tra gli uni e gli altri, essi verranno a disporsi non verticalmente, ma lateralmente, uno accanto all'altro; e le superficie, che si possono far scivolare colla minima resi-

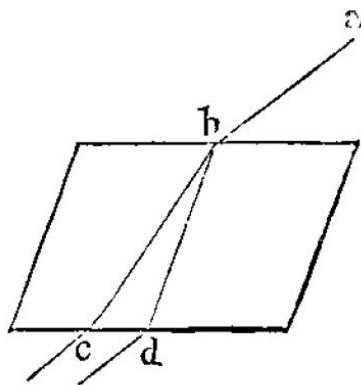


Fig. 231. — I due raggi nella doppia rifrazione.

stenza tra le sfere d'attrazione di tali aggruppamenti, non saranno più, come nel cubo, e negli altri cristalli regolari, perpendicolari tra loro, ma includeranno angoli diversi che danno origine a questa speciale forma cristallina. Tra questi angoli deve sempre esservene uno acuto, sul quale il raggio d'incidenza si scinde, e le sue due parti proseguono lungo le due superficie di minor resistenza. Questa scissione porta evidentemente ad una decomposizione del primitivo movimento a spirale delle onde luminose in due superficie d'onda, come nella rifrazione o riflessione. Il raggio straordinario si spinge per una superficie obliqua, e le sue vibrazioni, quindi, avvengono solo in questa; similmente l'altro raggio, quello ordinario, è polarizzato ed i due piani di vibrazione sono perpendicolari tra loro. Ciò è confermato dall'esperienza fatta colle lamine di tormalina.

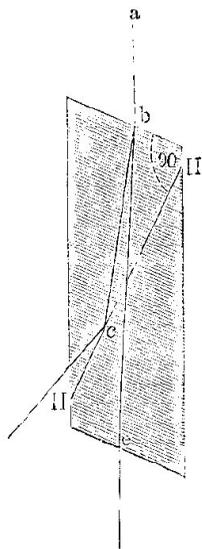


Fig. 232. — Prisma di Nichol.

senza giungere al secondo. Una simile combinazione si chiama prisma di Nichol, e si adopra negli *apparecchi di polarizzazione*. Attraverso uno dei *nichol* (il *polarizzatore P*) viene prima mandato un comune raggio che così resta polarizzato; tra questo e l'altro *nichol* (l'*analizzatore A*), si colloca in *S* la sostanza che si vuole esaminare. Il polarizzatore sta fisso, l'analizzatore, invece, è girevole intorno al suo asse maggiore (fig. 233).

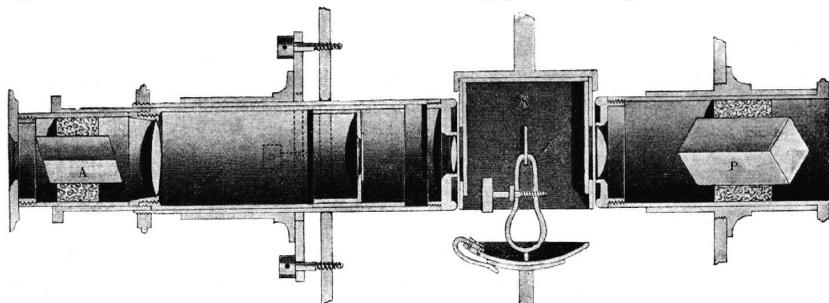
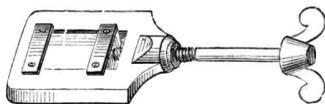


Fig. 233. – Apparecchio per la polarizzazione.

Si comprende subito che il raggio proveniente dal polarizzatore deve passare senza ostacoli anche per l'analizzatore, se gli assi del cristallo, e con essi quelle superficie dei due *nichol*, che lasciano passare la luce polarizzata, sono paralleli fra loro. Ma se si inclina l'analizzatore di 90° , i piani di polarizzazione s'incrociano e non passa più luce. Questo stato di cose, evidentemente, non muta, se tra i due *nichol* si pone una lastra di vetro a piani paralleli, che in ogni parte ha uguale potere rifrangente, quindi è omogenea, e lascia passare liberamente, e senza rifrangerla, qualunque luce. Diversamente avviene, se noi comprimiamo la lamina di vetro, per esempio,

con una vite (fig. 234).

Allora le particelle del vetro devono addensarsi in una maniera speciale secondo la direzione della pressione; la massa del vetro diviene in alcuni punti più densa che negli altri, ed il suo



potere rifrangente viene ad essere così alterato, e il vetro quindi

Fig. 234. – Apparecchio per la compressione del vetro.

non è più omogeneo. Ad occhio nudo questa alterazione non si avverte, se la pressione non è molto forte, ma si avverte bene, invece, nell'apparecchio polarizzatore. La luce polarizzata che vi penetra viene insieme rifratta. Si formano così, e si vedono coll'analizzatore, dei fenomeni di colorazione, che si aggruppano in corrispondenza alla cangiante densità della lamina, come si vede dalla nostra Tavola. Se si gira l'analizzatore questi colori cambiano; e con uno spostamento di 90° passano ai loro complementari. La luce rifratta non sparisce dunque completamente colla polarizzazione. Anche questa osservazione si può, secondo le nostre ipotesi, dimostrare geometricamente come necessaria. Noi vediamo, che l'esperienza della luce polarizzata ci fornisce un eccellente mezzo per provare l'omogeneità delle varie specie di vetro, ed è anzi una delle condizioni per giudicare della bontà dei migliori strumenti ottici di qualunque genere.

La sfaldabilità dei cristalli, insieme con le altre proprietà ottiche di cui abbiamo parlato prima, ha dimostrato che nel loro interno, la resistenza agli impulsi esterni

di movimento varia secondo leggi geometriche; similmente, anche il potere rifrangente. La densità della materia deve essere diversa nelle varie direzioni, e perciò con l'apparecchio di polarizzazione a luce convergente, vi osserviamo fenomeni cromatici simili a quello del vetro compresso. In una lamina di spato tagliata perpendicolarmente all'asse, che si ponga tra i nostri nichol incrociati, con una conveniente disposizione dei raggi incidenti, si presentano bellissime colorazioni, con anelli colorati simili a quelli di Newton, interrotti da una croce scura. Girando l'analizzatore, cambiano i colori e le parti chiare diventano scure. Nei «cristalli uniassici» queste figure hanno un solo centro, in quelli «biassici» ne hanno due. Dalla forma di queste immagini si possono generalmente determinare con precisione matematica gli aggruppamenti degli elementi materiali nei cristalli. Quindi, i fenomeni di polarizzazione ci permettono di addentrare il nostro sguardo nella costituzione di questi sistemi cosmici di dimensioni piccolissime.

Abbiamo già detto che il vetro e i liquidi partecipano delle proprietà ottiche dei cristalli regolari, per cui tra le altre cose non danno mai una doppia rifrazione come lo spato d'Islanda. Per i liquidi, però, dobbiamo ora fare una limitazione, che cioè, solo le soluzioni di sostanze inorganiche hanno un comportamento così semplice. Molte sostanze organiche, la cui costruzione molecolare è notevolmente più complessa delle prime, presentano l'importantissima caratteristica di far rotare il piano di polarizzazione, come ad esempio, le soluzioni zuccheri-

ne.

Queste fanno deviare un raggio polarizzato, che le traversi, dal suo primitivo piano, tanto più quanto più sono concentrate. Si può quindi adoperare l'apparecchio di polarizzazione per determinare il contenuto in zucchero di una soluzione, e l'apparecchio costruito a questo scopo speciale si chiama *saccarimetro* (fig. 235). La rotazione del suo analizzatore r , dà direttamente, sopra una scala, il contenuto per cento della soluzione.

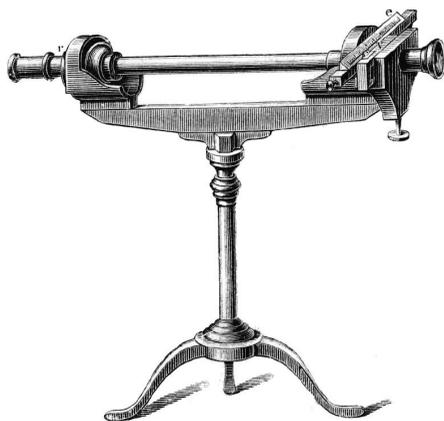


Fig. 235. – Saccarimetro.

Che i materiali, coi quali la Natura è giunta a plasmarle le macchine meravigliosamente organizzate degli esseri viventi, abbiano delle proprietà loro speciali, rispetto alle sostanze inerti del mondo inorganico, ce lo mostrano in particolar modo i fenomeni ottici della clorofilla. Questo composto, il più misterioso e importante di tutte le combinazioni organiche, produce, come è noto, il verde delle foglie, e, solamente in presenza della luce, è capace di liberare novamente l'ossigeno dall'anidride carbonica emessa dagli animali nella espirazione, rendendo così possibile il corso circolatorio della materia organica e la perpetua attività di tutto il mondo vivente. Nessun altro processo chimico può compiere questa se-

parazione dell'ossigeno dal carbonio bruciato per la produzione di calore e lavoro meccanico; ed anche la clorofilla può farlo solo sotto il misterioso influsso della luce, le cui onde agiscono come scompositrici della sua costituzione chimica, nella stessa guisa che nel processo fotografico decompongono i sali d'argento. Nel capitolo della chimica torneremo a parlare ancora di questa sostanza singolare, indispensabile a tutti gli esseri viventi.

m) Fluorescenza, Fosforescenza, e azione chimica della luce.

Una soluzione di clorofilla appare ordinariamente verde. Ma se si fa attraversare da un raggio di luce, il percorso di questo, visto lateralmente, appare rosso, ossia del colore complementare a quello ordinario: se, invece, quel raggio stesso, dopo aver attraversato la soluzione, colpisce direttamente il nostro occhio, è ancora verde. Mentre le altre soluzioni verdi assorbono le onde di tutti gli altri colori della luce bianca, impiegando la corrispondente energia per altri invisibili movimenti molecolari, specialmente per l'aumento del calore, la clorofilla trasforma questi raggi assorbiti, di nuovo in luce di modo che ogni singola sua molecola diviene relativamente luminosa, e irradia da tutte le parti questa luce complementare. Gli interni processi molecolari, che provocano questo fenomeno della *fluorescenza*, non sono ancora bene spiegati: in conformità a quello che spesso ci occorre di ricordare, che cioè tutte le opinioni circa i

veri movimenti di questi sistemi cosmici molecolari non sono che ipotesi, le quali per altro sono confermate ognora più dall'analogia e dalle deduzioni di nuovi fenomeni. In quanto alla fluorescenza, possiamo ammettere che tra i movimenti molecolari di certi sistemi atomici se ne riscontrano alcuni, che con un piccolo aumento di energia si trasformano in vibrazioni visibili. I corrispondenti corpi liquidi o solidi presentano uno spettro d'assorbimento a bande: avvengono dunque già in essi vibrazioni di diversissime lunghezze d'onda. Abbiamo veduto come lo spettro di un corpo solido, che sia sempre più riscaldato, passa lentamente dal rosso al violetto. Col riscaldamento di un corpo, per effetto dell'assorbimento della luce, deve avvenire in sostanza la stessa cosa; soltanto che le quantità di energia da considerarsi qui sono così piccole, che praticamente non si possono notare.

In una completa serie di sostanze organiche, ed anche in sostanze inorganiche, si osserva la fluorescenza. Il fenomeno ha preso il nome dallo spatofluore (fluoruro di Calcio), che per trasparenza è verde chiaro, mentre la luce irradiata in ogni parte dal suo interno è azzurra. Il petrolio giallo ha le fluorescenze azzurre; l'uranio giallo, aggiunto al vetro, gli conferisce una bella luce fluorescente verde, e ugualmente una soluzione rossa di Eosina dà delle bellissime fluorescenze verdi (Tav. VII). Poichè la luce di fluorescenza dipende da un assorbimento di altra luce, un raggio luminoso già passato attraverso una sostanza fluorescente non deve poter pro-

vocare per la seconda volta la fluorescenza dello stesso genere: così infatti si osserva. Anche il platinocianuro di Bario presenta molto bene questo fenomeno, ed è perciò utilizzato per convertire la luce ultra-violetta in luce di minore rifrangibilità, ossia in raggi violetti visibili. Abbiamo già parlato di questa proprietà.

Un altro speciale fenomeno luminoso è connesso evidentemente colla fluorescenza. Alcuni corpi hanno la proprietà di rilucere al buio, se prima sono stati per qualche tempo esposti alla luce viva. Il diamante appartiene notoriamente a tali corpi, ed anche certi solfuri hanno pure questa facoltà, che si suol paragonare alla *risonanza*. La luce assorbita, non convertita in calore, non passa istantaneamente a luce di fluorescenza, e si irradia perciò, ancora per un momento, dopo l'azione della luce che prima è giunta al corpo. Ma la durata di questa «fosforescenza» è però molto piccola. Si può osservare, per lo più, soltanto quando l'occhio, per essere rimasto lungo tempo al buio, ha acquistato una particolare sensibilità, e se allora si porta rapidamente la sostanza, già stata esposta alla luce solare, nell'ambiente oscuro. Per un paio di secondi si avverte allora chiaramente il fenomeno luminoso, che va poi rapidamente cessando. Il colore della luce di fosforescenza sta a quello dei raggi irradiati, nello stesso rapporto che la luce di fluorescenza a quella di assorbimento.

Si deve tuttavia ricordare che la luminosità del fosforo nel buio, la quale ha dato nome al fenomeno, non appartiene affatto a questa specie di luce. La luminosità

del fosforo accompagna un processo chimico, un'ossidazione o lenta combustione, che anche in altri casi molto spesso produce luce.

Per il concetto che ci siamo fatti della natura della fluorescenza, è molto interessante il fatto che certe sostanze, e specialmente lo spatofluore e il diamante, danno fosforescenza, anche se avanti non sono stati tenuti alla luce, ma quando furono soltanto riscaldati, senza spingere il riscaldamento fino all'incandescenza. Vediamo, da ciò, che l'aggiunta di energia, anche sotto forma di calore, può direttamente produrre questo fenomeno luminoso, mentre nella fluorescenza l'energia luminosa assorbita, altrimenti trasformata in calore, produce il medesimo movimento ondulatorio. Forse anche nella fluorescenza si ha, in principio, una trasformazione della luce assorbita, in calore: ma questo calore vien cambiato poi subito nel nuovo movimento luminoso. Richiedendo questo calore, per la sua azione, un tempo notevolmente maggiore della luce, si comprende senz'altro la fosforescenza che tien dietro alla fluorescenza.

Questi fenomeni di fosforescenza hanno preso un nuovo aspetto, da che fu scoperto che anch'essi, ed anzi nella forma più intensa, possono essere provocati da quella luce ad onde cortissime che noi non possiamo più percepire come tale. Vedremo più avanti, nel capitolo che tratta dei nuovi raggi, che non solo la luce ultravioletta, ma anche certe azioni elettriche, ed il misterioso Radio, producono simili onde eteree cortissime, per mezzo delle quali molte sostanze divengono luminose in

modo sorprendente.

Dell'azione chimica della luce abbiamo ripetutamente parlato specialmente per quel che riguarda la fotografia. Anche facendo astrazione dalla sua vitale influenza sull'attività di scomposizione della clorofilla, è evidente, che la luce coopera dappertutto alla costituzione degli organismi viventi, benchè nella maggior parte dei casi la sua azione sfugga ai nostri occhi, i quali non ne osservano che i risultati completi. In certe circostanze, pertanto, la luce può provocare anche effetti subitanei e veementi, come nel gas detonante di cloro e idrogeno, che esplose violentemente sotto l'azione della luce. Ma tutti questi effetti sono causati principalmente

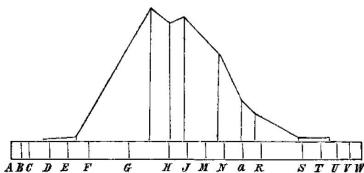


Fig. 236. - Azione chimica nello spettro solare.

dai raggi violetti ed ultra-violetti; quelli di maggior lunghezza d'onda hanno un'attività chimica molto più debole o non ne hanno affatto. Nella fig. 236 è disegnata la curva schematica dell'azione chimica della luce nello spettro ordinario. Una debolissima azione comincia un poco avanti alla linea gialla *D*; sale poi subito improvvisamente nel verde, raggiunge il suo massimo presso l'estremità dello spettro visibile *H* e ridiscende poi, lentamente, nella parte ultra-violetta. Noi spieghiamo già innanzi queste particolari proprietà chimiche delle piccolissime onde luminose, con ciò che esse possono più facilmente penetrare nel tessuto atomico delle molecole e scomporlo: per cui questi effetti chimici sono per lo più

di separazione: combinazioni chimiche assai complesse sono decomposte in altre più semplici, e spesso nei loro elementi di costituzione. Le vibrazioni rapidissime delle

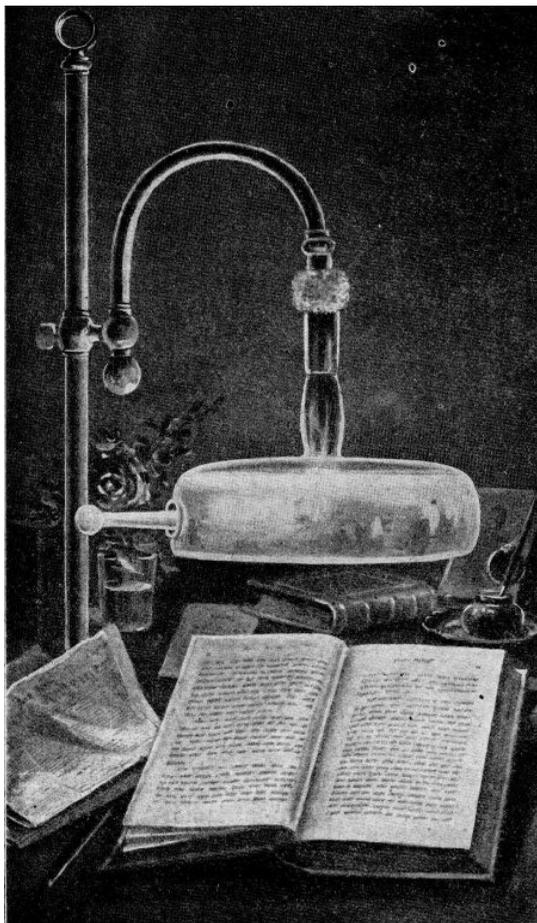


Fig. 237. — La luce dei bacteri.

onde di piccolissima lunghezza, comunicano agli atomi rotanti di un sistema molecolare, movimenti così veloci che l'interna forza d'attrazione del sistema non può più tenerli uniti. Anche qui vediamo, come per la fluorescenza e fosforescenza, che la luce assume subito una forma di movimento più alto del calore.

Avendo visto che la luce è causa di effetti chimici, i quali soprattutto tornano a grande

vantaggio del mondo organico, si potrebbe presupporre che nel mondo animale si producesse il caso inverso; cioè che i multiformi processi chimici degli organismi

animali o vegetali generassero fenomeni luminosi, come generano in larga misura fenomeni calorifici. Ma, esaminando meglio la cosa, entriamo subito in una difficoltà. Tutta la luce che noi produciamo artificialmente per via chimica, ossia mediante il riscaldamento o la combustione, come pure la luce dei corpi celesti luminosi, manda anche raggi calorifici che già per i nostri scopi di illuminazione artificiale sono assai dannosi, pure astraendo dal fatto che una grande quantità di energia, poichè la produzione delle grandi onde calorifiche ne richiede molto di più, va consumata inutilmente. Queste grandi onde calorifiche distruggono il tessuto organico, e alla temperatura delle nostre artificiali sorgenti di luce, gli organismi bruciano. Quando essi possono generare luce propria, questa non può avere che piccole lunghezze d'onda: non può contenere raggi rossi nè calorifici, ma solo azzurri o, in ogni caso, verdastri; sappiamo che infatti ciò si avvera. La natura organica produce più luce propria di quel che fino a poco tempo fa si credeva, quando si conoscevano soltanto pochi insetti luminosi e il bagliore del legno in decomposizione, i fuochi fatui. Abbiamo già detto che l'esplorazione delle profondità marine ha rivelato una grande quantità di esseri animati, che abitano negli oscurissimi abissi del mare, e che sono muniti di organi luminosi certamente molto forti, coll'aiuto dei quali essi possono orizzontarsi nel loro cammino. Il fenomeno di *fosforescenza* del mare è originato da miriadi di bacterî luminosi; e, ultimamente, siamo arrivati ad ottenere abbondanti culture di questi microrgani-

smi luminosi, i quali emettono tanta luce che prendono il nome, quando sono rinchiusi in un recipiente di vetro, di lampade viventi. Vedasi nella fig. 237, una di tali lampade di Dubois: i bacterî son chiusi in un vetro, e alla luce che mandano si può legger bene anche uno scritto minuto. Come tutti i microrganismi, anche questi sono straordinariamente resistenti, in modo che anche fuori dell'aria per dei mesi mandano la loro misteriosa luce fino a che muoiono. Questa luce è di gran lunga la più economica di tutte, essendo sempre bluastra o verdastra, e non contenendo punto raggi gialli o rossi; è quindi una luce fredda. Noi non siamo ancora giunti a penetrare il mistero della sua formazione in natura. Chi riuscirà a scoprirlo raccoglierà certamente grandi ricchezze, poichè l'umanità gli sarà riconoscente di averle procurato un considerevole risparmio di forza. Tra tutte le qualità di luce oggi in uso, la cosiddetta luce a *incandescenza Auer*, sodisfa nel miglior modo possibile alle condizioni teoriche dell'economia. I minerali rari, principalmente i sali di torio, con cui si formano le «reticelle», presentano un comportamento speciale allo spettroscopio. Portati all'incandescenza, non danno, a differenza di tutti gli altri corpi solidi, un completo spettro continuo; questo invece presenta piuttosto bande luminose che spiccano maggiormente nel campo azzurro dello spettro. Durante il riscaldamento, questi corpi sorpassano in certo qual modo un dato numero di gradi di temperatura e giungono così, con un'uguale quantità di energia, agli alti gradi di vibrazione della luce, più pre-

sto degli altri corpi, che incandescenti danno uno spettro continuo e completo.

Il mistero della luce fredda prodotta da certi organismi sarà forse un giorno diradato, per mezzo di quella specie di raggi scoperti recentemente e pure ancora misteriosi, delle cui meravigliose proprietà dovremo occuparci dopo aver conosciuto i fenomeni di elettricità. Intendiamo accennare ai raggi uranici o di Becquerel.

9. – Magnetismo ed elettricità.

Volgiamoci ora al campo più meraviglioso di fenomeni che offra la natura, cioè al magnetismo e all'elettricità. Queste forze ci circondano d'ogni parte e tuttavia l'umanità, che oggi utilizza in modi innumerevoli questa universale e potentissima energia dell'elettricità, per migliaia d'anni non ne ha conosciuto che alcuni tenui e piccolissimi effetti, se si fa astrazione dall'imponente fenomeno della folgore, che fu lungamente ignorata nella sua natura e creduta manifestazione soprannaturale. Le nostre più profonde scoperte sulle azioni dell'elettricità e del magnetismo sono di recente data. I primissimi studi su questi fenomeni non risalgono a più di tre secoli indietro: ma la prima grande spinta a portarli definitivamente nel dominio della fisica, fu data dalla scoperta casuale del Galvani, o piuttosto di sua moglie, la quale nel 1789 vide che una zampina di rana, vicina ad una macchina elettrica eccitata, si contraeva. Ricerche sistemati-

che e profonde furono fatte poi, intorno al 1840, dal geniale Faraday, che, uscito dal laboratorio di un rilegatore di libri, divenne uno dei primi e specialmente dei più esatti, tra i fisici sperimentatori. Ma appena da una diecina d'anni datano le scoperte di Enrico Hertz, pur troppo così presto perduto, per mezzo delle quali siamo riusciti a poter esaminare sperimentalmente la natura di questi fenomeni fino allora avvolti nel mistero, cosicchè soltanto ora si comincia a disporli e coordinarli nel quadro dei fenomeni naturali.



Fig. 238. — Michele Faraday.

vedere, rende loro verosimili tutte quelle cose soprannaturali. Si pensi solo alle vetture che si avanzano senza alcuna visibile forza di trazione, lasciando dietro di sé tracce di fuoco, o ai colloqui che si possono tenere ad alta voce da regione a regione, come se si fosse nella stessa stanza, o allo scambio di segnali telegrafici senza alcun collegamento dei due apparecchi, che a distanza grandissima compiono gli stessi movimenti come guidati da uno spirito. L'elettrotecnico Tesla, uomo veramente di grande fantasia, ma pure pratico e che nelle sue fantastiche idee ha avuto spesso ottimo successo, dopo aver costruito con dimensioni «americane» i suoi apparecchi, sentenziò tempo addietro, esser proprio venuto il tempo di poter tentare di scambiare il nostro pensiero cogli esseri intelligenti degli altri pianeti; egli crede di avere scoperto delle misteriose onde elettriche di origine extra-terrestre, che potrebbero essere segnali provenienti da intelligenze più avanzate della nostra, al di fuori della terra; a tali segnali però il nostro povero scetticismo non vuole ancora prestar fede. Certamente, alla multiforme potenza dell'elettricità quasi nulla è impossibile, e noi non dovremmo perciò gettar via con indifferenza qualunque possibilità, come questa, che ci presenti prospettive insperate.

La ragione per cui un gruppo così esteso di forze e di fenomeni naturali è rimasto per tanto tempo ignorato, è facile a trovarsi. Noi non possediamo alcun organo speciale per avvertire l'elettricità, come l'abbiamo per il suono nell'orecchio, per il calore nella cute, per la luce

nell'occhio. Vedemmo che per lo studio dei fenomeni calorifici ci è dannosa l'imperfezione dell'organo ricevitore del calore, in modo che per lo più abbiamo dovuto ricorrere ad altri organi dei sensi, diversi da quello destinato a queste percezioni; così, ci manca un vero organo per la diretta sensazione ed apprezzamento dell'elettricità, e perciò conosciamo solo i fenomeni concomitanti di quest'energia, quelli cioè che hanno azione sui nostri organi sensorî, insensibili direttamente all'elettricità. Noi ci troviamo, rispetto all'elettricità, nella stessa posizione di un cieco rispetto alla luce. Questa, oltre la sua azione principale sull'occhio produce anche altri effetti secondarî come quelli chimici e calorifici; un cieco potrebbe certamente avvertire questi ultimi. Ma si immagini frattanto quali difficoltà gli si opporrebbero, se da questi soli piccoli effetti egli dovesse dedurre una completa teoria della luce. Ma pure la possibilità di farlo è sempre nell'ordine naturale delle cose.

Le piccole e simili azioni del magnetismo e dell'elettricità, che si conoscevano già anticamente, sono la forza d'attrazione della calamita, quella che regola la direzione dell'ago magnetico, e la proprietà che ha l'ambra gialla strofinata di attirare i corpi molto leggieri. A questi pochi fatti fu limitata, durante l'antichità ed il medio evo, la conoscenza di questo immenso campo di fenomeni naturali, che oggi dominano il mondo. Anche noi vogliamo cominciare coll'esame di queste semplici esperienze, per poi da esse ricostruire tutto il superbo edificio di questo interessantissimo fra tutti i rami delle

scienze naturali. Noi veramente in questa ricostruzione non seguiremo il naturale ordine storico, perchè la storia dell'elettricità contiene anche degli errori; ma procederemo sulla traccia degli studi più recenti che han portato tanta nuova luce sulla natura di questa energia, rafforzando il concetto dell'unità delle forze naturali.

a) Il magnetismo.

Già agli antichi Greci, e prima ancora ai Cinesi, era noto che un certo minerale, detto *pietra magnetica*, perchè scoperto la prima volta nella città di Magnesia, possedeva la misteriosa proprietà

di attrarre il ferro. Lo stesso minerale, la magnetite, si trova assai frequentemente, ma non possiede sempre quella qualità. Si presenta come una massa dura, nerastra, di lucentezza metallica, che chimicamente si compone di ferro

e ossigeno, in modo da somigliare al comune ossido di ferro ma con meno ossigeno. Molto di frequente si trova associato con altri minerali e rocce, specialmente con le rocce dette plutoniche e vulcaniche, come il granito. Spesso rivela la sua presenza col far deviare l'ago magnetico: donde quella favola tramandata dall'antichità classica, e anche dai cinesi, delle montagne magnetiche che traevano a rovina tutte le navi che vi si avvicina-

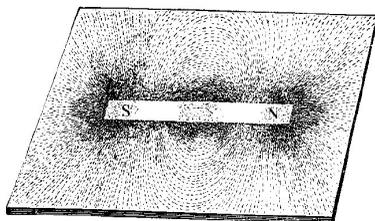


Fig. 239. – Una calamita nella limatura di ferro.

navano, togliendo tutti i chiodi e le parti di ferro dallo scafo. In realtà, niente di simile avviene mai sulla Terra, per l'accumulamento di questo minerale.

La calamita si trova il più delle volte nei coni montagnosi isolati, più raramente nei grandi giacimenti di magnetite, e non mai a grandi profondità nell'interno della Terra. Vedremo più tardi che il ferro ordinario, per effetto di una corrente elettrica, si magnetizza; che inoltre la scintilla di una tale corrente elettrica è di una potenza straordinaria. Perciò, oggi prevale l'idea che la calamita sia stata formata nel minerale dall'azione della folgore; ossia, che nessuna materia di per sé si trova costantemente allo stato magnetico, ma che gli è comunicato da una speciale energia, e soltanto temporaneamente.

A questa meravigliosa proprietà della calamita naturale, di attirare il ferro, va aggiunta l'altra, di potere con tutta facilità trasmettere questa sua proprietà al ferro stesso. Il semplice sfregamento di ferro, il più che è possibile duro e rigido, ossia di acciaio, con la calamita, trasforma questo in una calamita *artificiale* che attira pure il ferro, e può alla sua volta trasmettere ancora il magnetismo senza per questo perdere notevolmente del suo proprio. Con questi magneti artificiali, ai quali si possono dare tutte le forme desiderabili per i nostri scopi, noi cominciamo lo studio di questa misteriosa forza.

Sono note specialmente le calamite «a ferro di cavallo» e in forma di sbarra. Se si avvicina l'estremità di una tale sbarra magnetica ad un piccolo pezzetto di ferro, come un ago, questo balza subito sulla calamita e rima-

ne attaccato, se non è troppo pesante, all'estrema punta di essa. Le due estremità della verga agiscono con ugual forza, mentre invece la parte centrale di questa rimane sempre non magnetizzata; e la forza d'attrazione cresce regolarmente dal centro verso le estremità. Per persuadercene meglio, basta collocare la calamita sopra un foglio bianco, e su questo spargere della limatura di ferro; le particelle di ferro si disporranno in speciali linee curve che si addenseranno particolarmente alle due estremità del magnete, formando ampi archi di cerchio intorno al centro e racchiudendolo (fig. 239). Nel mezzo della sbarra non rimarrà attaccata nessuna particella di ferro. La forza magnetica agisce dunque verso le due estremità dette «poli».

Ma il magnete esercita la sua forza d'attrazione – non considerando per ora certe più sottili osservazioni ed attenendoci ai fenomeni più appariscenti – esclusivamente sul ferro. Tutti gli altri corpi non prendono parte alcuna al fenomeno, lasciando passare la forza magnetica; essi sono *diamagnetici*, mentre il ferro sarebbe *paramagnetico*. La carta, benchè tanto più leggiera del ferro, non si muove affatto, anche se posta a grandissima vicinanza di una forte calamita. Ma se davanti ad un polo di questa si pone un foglio di carta, un ago di ferro è pure attirato anche attraverso a questo foglio. Così il legno, gli altri metalli e sostanze, presentano una maggiore o minore permeabilità per questa enigmatica forza.

Ad un ago attaccato ad un polo di una calamita se ne può attaccare un secondo: a questo un terzo e così via

(fig. 240). La forza magnetica attraverso a questa catena



Fig. 240. – Catena magnetica.

si spinge molto più oltre di quel che non farebbe nello spazio libero. Se si tolgono i due aghi posti fra la calamita e il terzo ago, la calamita non avrà più la forza di attrarre quest'ultimo. Ciò si spiega, ammettendo che gli aghi, che vengono a contatto col magnete, diventino essi stessi contemporaneamente magneti, come si può vedere tenendo ferma un'asticella di ferro e avvicinandola con un'estremità ad un polo di una calamita; l'asticella, prima non magnetizzata, comincia allora ad attrarre

all'altra estremità il ferro, e questa proprietà si mantiene fino a che dura la vicinanza del polo magnetico; appena però questo è allontanato, l'asticella ritorna inerte (fig. 241).

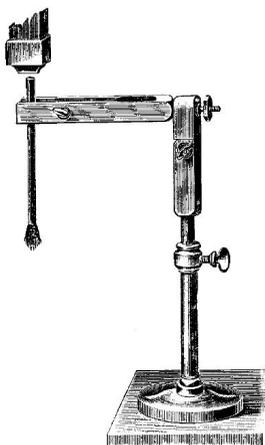


Fig. 241.

Influenza magnetica.

sono respingersi tra loro; la reciproca attrazione o repulsione dipende dalla posizione loro. Sebbene i due poli di un magnete non si distinguano in nulla tra loro, si comportano però diversamente di fronte ad un secondo magnete. Per questo noi distinguiamo i poli di ogni magnete coi nomi di polo nord, e polo sud; riscontrando che sono sempre soltanto determinati poli che si attraggono o si respingono. E la designazione dei poli è convenzionale, ma il fatto è, che il polo nord di un magnete attira quello sud di un altro, e respinge quello nord, ossia *si attraggono i poli di nome contrario e quelli di ugual nome si respingono*. Con tutta facilità si può fare l'osservazione di questo fenomeno, servendoci di un magnete formato ad ago appuntato alle due estremità e sorretto inferiormente al suo centro sopra una punta, in modo da potersi liberamente muovere. Tutto ciò costituisce il cosiddetto «ago magnetico» universalmente conosciuto (fig. 242).

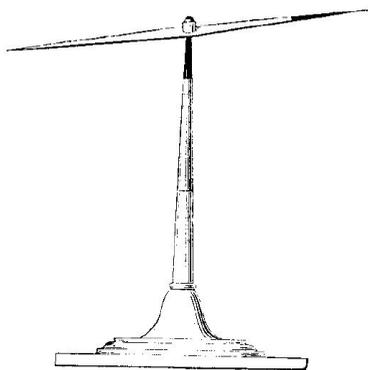


Fig. 242. – Ago magnetico.

Anche in questo si ha il polo nord e il polo sud: avvicinando un magnete all'ago, sempre lo stesso polo di questo si volgerà alla stessa parte del magnete: se si volterà quest'ultimo dall'altra parte, subito l'ago magnetico girerà su se stesso e presenterà il polo opposto. Se intorno ad un magnete a sbarra si formano quelle linee con la

limatura di ferro, come abbiamo visto prima, portando poi, in vicinanza del magnete, un ago magnetico, questo, qualunque posizione venga ad assumere, si disporrà sempre nella direzione di qualcuna di quelle linee che indicano quindi la direzione della forza colla quale il magnete esercita l'attrazione o la repulsione. Queste linee sono dette, perciò, *linee di forza magnetica*, e lo spazio da esse traversato è detto *campo magnetico*. Una particella che obbedisse solo alla forza magnetica, dovrebbe muoversi da un polo all'altro lungo una di quelle linee di forza. Se non incontrasse alcuna resistenza, se fosse cioè della piccolezza degli atomi eterei, ai cui movimenti potremmo attribuire tutte le energie naturali fin qui studiate, correrebbe all'altro polo attraverso il magnete, e *tornerebbe* poi nuovamente all'altra estremità per ricominciare il suo cammino. L'etere deve formare come un vortice intorno al magnete. Mentre la corrente magnetica all'esterno si estende in larghi archi di cerchio, all'interno del magnete invece si restringerebbe concentrandosi, ed il magnete così formerebbe una specie di tubo che da una parte assorbe in sé l'etere per mezzo di una incognita forza e dall'altra parte lo caccia fuori. Così ci si possono immaginare le linee di forza. In modo molto caratteristico si presentano, anche se si studiano in un piccolo magnete, che si trovi vicino ad un altro più grosso. Se i due poli di nome contrario sono avvicinati, le linee di forza del magnete più grosso deviano (fig. 243) come se fossero da quello assorbite; se invece s'inverte la loro posizione, si osserva chiara-

te una controcorrente che parte dal più piccolo magnete.

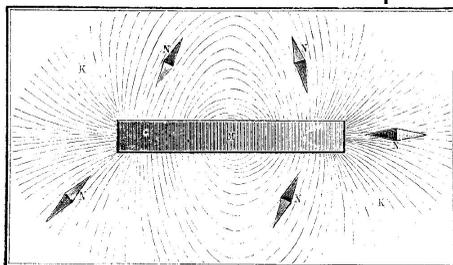


Fig. 243. – Il Campo magnetico.

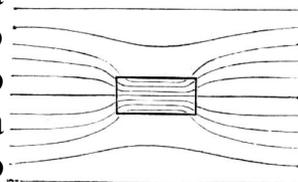
Già a questo punto ci sembra opportuno d'interrompere l'esposizione dei fatti osservati circa a questa misteriosa forza, per farne almeno un preliminare ordinamento dal punto di vista della

nostra fondamentale teoria atomica.

Secondo questa, fu scartata ogni ipotesi di azione a distanza della materia e si potè sufficientemente spiegare la generale forza di attrazione, coll'azione diretta degli urti dell'etere che traversa gli spazi. Ma qui, nei fenomeni magnetici, abbiamo davanti a noi una forza d'attrazione, che non ha niente che fare colla massa. Essa non può essere un rinforzamento della forza *di gravità* che avvenga in certe date circostanze, poichè l'attrazione di massa agisce ugualmente su tutti i corpi; e riguardo ad essa, la materia, per quanto poi siano variate le sue proprietà, ha sempre una medesima proprietà costante, massa ed estensione. Nel magnetismo le cose sono ben diverse. Da quello che abbiamo appreso fin qui, il magnetismo, tra l'infinita quantità dei composti, non emana che da un corpo solo, cioè dal ferro; in seguito vedremo anche in altre sostanze simili proprietà magnetiche, ma in grado così piccolo, che ordinariamente non possiamo neppure accorgercene. Ma anche nella medesima sostanza, nel ferro, questa forma d'at-

trazione è soggetta a continui sbalzi per effetto dei più svariati influssi, anzi può talvolta trasformarsi addirittura in repulsione. Noi ci siamo spiegati l'attrazione universale col fatto, che i corpi oppongono uno schermo alla corrente di etere proveniente da

ogni parte, ma nello stesso tempo abbiamo riconosciuto come questo schermo, di fronte all'etere, sia straordinariamente poroso; perciò



solo grandissimi corpi, come ad es. la Terra, possono esercitare un'azione per noi notevole. La forza ma-

Fig. 244. – Le linee magnetiche traverso il ferro.

gnetica anche nelle sue minime manifestazioni è già senza confronto maggiore della gravità. Ciò appare subito evidente, e più tardi, con qualche misura esatta ce ne persuaderemo anche meglio. Dove si può trovare uno schermo di una densità così enorme, da opporre alla corrente di etere diretta verso il magnete una *resistenza* tale da produrre urti che giustifichino l'attrazione magnetica? In conclusione, è affatto impossibile spiegare il magnetismo in maniera analoga alla gravità. Par proprio che la universale validità della nostra teoria atomistica debba qui essere scossa dai suoi fondamenti, e che questa incomprensibile forza sia realmente interna al magnete e da questo emani direttamente senza alcun mezzo riconoscibile. Ma noi non vogliamo così presto darci per vinti, e dobbiamo cercare una nuova ipotesi che sia d'accordo colle nostre teorie e coi nuovi fenomeni.

Le linee di forza ci debbono essere di buona guida. Esse mostrano che il magnete agisce come un assorbente dell'etere circostante. L'aria qui non ha che fare, perchè le azioni magnetiche avvengono anche nel vuoto. Il magnetismo deve spiegarsi solo per mezzo di azioni molecolari interne. Delle molecole sappiamo ch'esse sono piccoli sistemi cosmici, nei quali i singoli atomi che li compongono hanno movimenti di rivoluzione, coi quali abbiamo potuto spiegare i fenomeni della luce e del calore, tenendo conto dell'azione reciproca tra gli atomi materiali e l'etere. Un effetto di aspirazione può esser prodotto subito da questi sistemi in vibrazione, se si dispongono in maniera che i movimenti vibratorî siano rivolti gli uni contro gli altri. Consideriamo un recipiente, in cui cada per poco tempo un violento getto d'acqua (v. fig. 245); l'acqua che prima era in quiete, comincerà ad essere

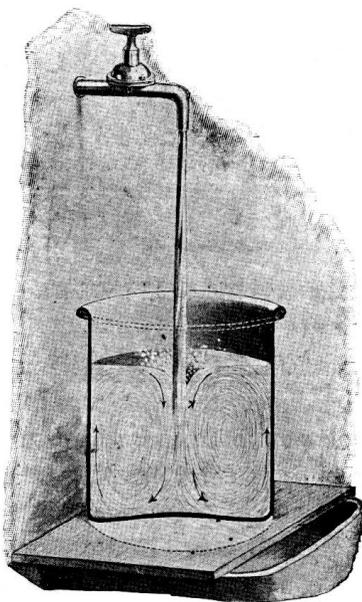


Fig. 245. – Vortice liquido.

da ciascuna parte di questo un vortice che si manterrà per un certo tempo, ed un poco alla volta trascinerà in movimento tutta l'acqua del recipiente, anche se il getto che ha dato l'impulso a questo movimento, verrà a cessare. In questo caso il movimento dell'acqua presenta li-

nee analoghe a quelle di forza del magnete, e come questo trascina gli oggetti nel suo vortice. La direzione del getto d'acqua corrisponde all'asse del magnete, e si può rendere ancora più palese il confronto, incanalando veramente il getto in un tubo che rappresenta il magnete.

Similmente si potrebbe ammettere che nel ferro non magnetizzato penetrasse, per effetto di una qualche influenza esterna, una densa corrente di liberi atomi dell'etere, provocando quel particolare aggruppamento dei sistemi molecolari del ferro, che poi suscita a sua volta il vortice d'etere rivelato dalle linee di forza. Si tratta ora di vedere se tutti i fenomeni magnetici possono con questa ipotesi essere spiegati.

A questo scopo vogliamo studiare dapprima i fenomeni che si presentano nei vortici artificiali simili a quelli magnetici. Per poter ottenere un vortice che si mantenga per lungo tempo, costruiamo un apparecchio speciale. In una lunga cassetta o tubo *A* sono disposte internamente due serie di ruote a palette *a*, *b* in modo che le loro rotazioni avvengano in verso contrario l'una all'altra (v. fig. 246). Il campo d'azione interposto fra le due serie di rotelle contrapposte può essere ingrandito o impiccolito collo spostamento reciproco di queste; il movimento rotatorio poi è mantenuto da una forza esterna. Questo apparecchio è tenuto fermo in un liquido; un altro più piccolo apparecchio tubolare *B* di ugual costruzione può liberamente muoversi nel liquido stesso. Sul principio le rotelle del tubo libero non devono girare. Quando il tubo fisso per il movimento delle ruote, co-

mincia a formare il vortice nel liquido, la corrente subito trascina il tubo più piccolo, che si trova abbandonato alla sua forza, come farebbe di qualunque altro corpo sospeso, tendendo a spingerlo dentro il tubo grande dalla parte, in cui per effetto del movimento delle ruote il gorgo penetra nel tubo. Avendo il piccolo tubo natante forma allungata, dispone il suo asse in direzione della corrente, precisamente come una bacchetta di ferro fa in rapporto alle linee di forze magnetiche. Per cui la corrente penetra nel tubetto *B*, dalla parte superiore all'apertura d'entrata del tubo maggiore e proprio da quella delle sue aperture che non è rivolta verso il grosso tubo *A*; da quella rivolta a quest'ultimo la corrente esce di nuovo e va poi direttamente nel tubo *A*. Al passaggio della corrente attraverso il tubetto *B* anche le sue ruotelle, finora rimaste in quiete, entrano in movimento e generano un vortice che ha la stessa direzione di quello grande. Un fenomeno analogo si ha nel magnetismo, quando, avvicinando ad un magnete una sbarra di ferro più piccola, essa diviene magnetica per «influenza». Se nel nostro esperimento le rotelle dell'apparecchio più grande cessano il movimento, si arresta pure, almeno dopo un breve tempo, la corrente vorticoso e si fermano pure le rotelle dell'apparecchio piccolo; così lo stato magnetico prodotto da influenza cessa, se si toglie il magnete che lo ha generato. La piccola azione residua, che si riscontra nei nostri magneti meccanici, si può osservare anche nei reali magneti, nei quali il fenomeno si chiama *magnetismo permanente*.

Se ora, mediante una forza esterna, mettiamo in moto anche le ruote del piccolo apparecchio, ossia, mantenendo la corrispondenza stabilita, se lo magnetizziamo, portandolo poi vicino al magnete meccanico fisso, il vortice prodotto da quest'ultimo agirà insieme con l'altro. Se le due correnti hanno la medesima direzione, saranno causa

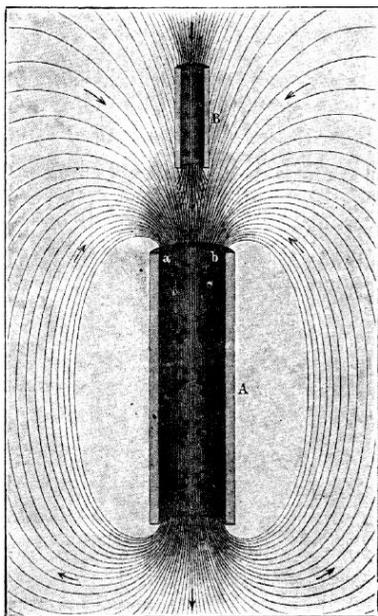


Fig. 246. — Modello dei fenomeni magnetici.

di un'accelerazione nel movimento del magnete mobile verso quello fisso; se saranno invece contrapposte, le due correnti si respingeranno; il tubo piccolo sarà costretto dalla corrente a tornare indietro, ed il suo vortice a seguire la direzione del vortice maggiore. Questo fenomeno l'abbiamo pure osservato nei veri magneti, ed è anzi tutto quello che fin qui sappiamo delle azioni magnetiche. Per spiegarci questi pochi fatti è dunque suffi-

ciente la nostra ipotesi del vortice e della relativa circolazione. Ma si aggiunga ora anche questo complemento: che cioè il nostro magnete meccanico non va d'accordo perfettamente colla nostra teoria molecolare, in quanto che i membri di quei sistemi microcosmici devono immaginarsi sempre in perpetuo movimento di rotazione.

Nei corpi non magnetizzati, dobbiamo supporre che nei movimenti rotatorî non prevalga alcuna speciale direzione, cosicchè essi non possono dare origine nell'etere ai vortici sopra descritti. Ma se dall'esterno, agisce su questi sistemi una corrente di etere, comunque generatasi, di forza sufficiente, essa deve necessariamente avere influenza sui loro movimenti rotatorî, sì da produrre più o meno quella disposizione che ci rappresenta il vortice magnetico. Quanto più forte sarà il primo impulso esterno, ossia l'azione magnetica, tanto più tempo durerà la rotazione delle molecole, ovvero delle nostre rotelle, e tanto più lungamente il corpo rimarrà magnetizzato.

Pertanto, pur essendo le resistenze che si oppongono ai movimenti molecolari assai più piccole di quelle che noi siamo abituati a osservare nelle nostre macchine, tuttavia a lungo andare, per il lavoro che un magnete deve compiere all'esterno, la sua forza deve finire. Ed infatti lo stato magnetico va diminuendo sempre col tempo.

Ma dobbiamo anche riflettere, che qui si tratta di qualche cosa di diverso dalla quiete finale delle nostre rotelle del modello di magnete meccanico. I movimenti delle vibrazioni molecolari si mantengono perennemente come le rotazioni dei corpi celesti. Tutt'al più la reazione dell'etere ai movimenti molecolari può essere simile a quella esercitata dallo spazio celeste nei movimenti degli astri la quale fin qui risulta tanto piccola che solo in pochi e dubbi casi si è creduto di averne scoperto traccia. Nei fenomeni magnetici si osserva solo una de-

terminata disposizione reciproca dei piani orbitali o forse solo dei movimenti di rotazione degli stessi atomi, che corrisponde alla giornaliera rotazione dei pianeti. Supponiamo che la nostra Terra sia un astro doppio come molte stelle, e che i suoi due corpi si trovino relativamente vicini tra loro, e che i loro giornalieri movimenti di rotazione siano opposti, come le ruote di un mulino. Questo doppio pianeta formerà certamente nel mezzo resistente del firmamento un vortice che in ogni suo rapporto presenterà le proprietà del magnete, che cioè attrarrà a sè i corpi celesti più piccoli, secondo le leggi magnetiche, e non secondo quelle della gravitazione.

Se tra questi corpi più piccoli si troverà un'altra stella doppia, i cui elementi girino normalmente intorno al loro asse, la corrente di etere mossa magneticamente li costringerà ad assumere movimenti contrapposti ed ordinati magneticamente; ossia magnetizzerà questi corpi per influenza. Tutto ciò si può dimostrare con sicurezza matematica, seguendo le leggi della meccanica generale.

Ora i movimenti dei corpi celesti sono generalmente ordinati diversamente, «amagneticamente» se è lecito esprimerci così; essi sono tutti equilibrati tra loro, secondo quell'eguaglianza a cui tutte le leggi di natura tendono. Così anche la maggior parte dei corpi terrestri sono amagnetici, e solo in casi specialissimi, per certe cause particolari, può subentrare lo stato magnetico. Nel cielo si riconoscono certe nebulose di straordinaria estensione, le cui forme rivelano tali movimenti vortico-

si ricurvi da due lati. In queste masse vaporose può esser penetrato un altro corpo. Formazioni vorticosse affatto simili noi continuamente vediamo nel fumo delle nostre sigarette. Secondo i principî della meccanica celeste questi movimenti contrapposti non sono stabili, come anche lo stato magnetico non si mantiene indefinitamente. Le posizioni delle orbite devono un poco per volta ordinarsi in maniera che non sussistano più movimenti contrapposti.

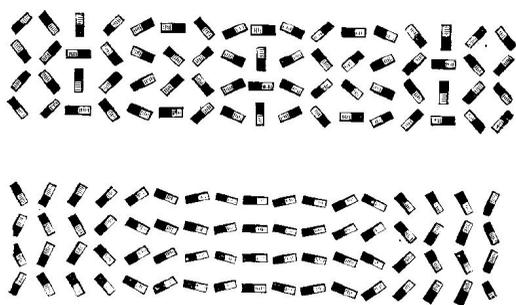


Fig. 247. – Struttura dei Magneti.

Il concetto che più comunemente ci si fa di un magnete è di supporlo composto di un gran numero di magneti molecolari, ciascuno dei quali dunque ha i suoi poli nord e sud. I magneti

molecolari veramente non possono muoversi dal loro posto, ma solo disporsi nelle varie direzioni. Essi si disporranno perciò in modo, che un polo sud sia volto contro un polo nord, come si vede nella parte superiore della figura 247. Fino a che la sbarra metallica non è magnetizzata, la disposizione di queste particelle è irregolare, ma appena magnetizzata i magneti molecolari si orientano tutti, prendendo la disposizione, che è data nella parte inferiore della figura.

Si capisce facilmente, che questa spiegazione è ancora pienamente basata sulle antiche ipotesi circa i proces-

si molecolari, e che anzi non è affatto una spiegazione, ma soltanto modifica il primitivo concetto, che questa misteriosa forza d'attrazione risieda nella superficie portandola fino alle molecole, che sono considerate ancora come corpi solidi, anzi come completi magneti; noi però dagli altri rami delle scienze fisiche sappiamo che le molecole hanno movimenti molteplici, di cui dobbiamo tener conto per l'esplicazione di ogni speciale fenomeno, come abbiamo sempre procurato di fare nella presente opera. Se perciò noi immaginiamo la materia costituita di molecole e atomi, e poi attribuiamo a queste minime particelle le stesse proprietà che hanno i più grandi ammassi di materia è evidente che non abbiamo concluso nulla di utile o siamo ancora alle antiche teorie dell'azione a distanza.

Sebbene ora la nostra ipotesi sull'origine dei fenomeni magnetici sia una necessaria conseguenza delle leggi meccaniche, sarebbe tuttavia una leggerezza l'ammetterla senz'altro come esatta, senza curarci di fare qualche prova sperimentale in proposito. Vogliamo perciò raccogliere dei fatti che stiano in appoggio della nostra teoria rispetto a questo ordine di fenomeni.

La forza dei vortici magnetici prodotti artificialmente nei nostri apparecchi, essendo determinato il numero e la velocità delle ruote qui rappresentate dalle molecole e dagli atomi, dipenderà dalla loro reciproca distanza. Se si allontanano tra loro queste ruote che compiono il lavoro, la corrente assorbita dal tubo sarà attirata con minor forza ed il vortice sarà più debole: avvicinandole,

invece, deve avvenire il contrario. Nei veri magneti si può variare la distanza delle molecole in due maniere: esercitando una pressione o trazione sul magnete, ovvero servendosi del riscaldamento o del raffreddamento.

In tutti questi casi il magnete si comporta precisamente come la nostra teoria porterebbe a supporre. La trazione e la pressione alterano notevolmente la forza magnetica, la quale è specialmente indebolita per opera del riscaldamento. A circa 775 gradi il ferro non è più magnetizzabile. A questo punto le molecole non comunicano più all'etere che vibrazioni calorifiche e luminose. Se da un lato, mediante la rotazione, che genera il vortice, si produce un concentramento della corrente di etere nel magnete, questa deve anche esercitare una reazione nell'interno del magnete stesso, e la corrente più densa tenderà a comprimere le più piccole particelle del magnete. In realtà, nell'interno dei magneti si hanno variazioni di tensione molecolare durante la magnetizzazione. Il ferro, per esempio, magnetizzandosi si dilata, benchè pochissimo, (3 o 4 milionesimi).

Vedremo prodursi un'intera serie di fenomeni corrispondenti a questi, quando avremo imparato i rapporti dell'elettricità col magnetismo. Basti, ora, accennare ad una stupefacente proprietà del magnete, la quale colla nostra teoria si spiega perfettamente. Se si divide un magnete in quante si vogliano parti, ciascuna di queste è un nuovo magnete completo. Se per esempio si spezza un magnete dalla parte del polo nord, il frammento mostra subito anche un polo sud; se anche si prende il fram-

mento a metà del magnete, cioè dove, quando è connesso col tutto, non presenta alcuna attività magnetica, esso diventa ugualmente un magnete completo. Lo stesso deve accadere col nostro tubo, se lo dividiamo in varie parti più piccole. Fino a che in ciascuna parte rimarranno almeno due rotelle giranti in senso contrario, questa sarà sempre sufficiente a produrre un vortice proprio.

Ma al ferro non si può conferire un'intensità illimitata di magnetizzazione; vi ha sempre un limite, un massimo, che non si può superare. Quanto più grande è il pezzo di ferro, tanto più elevato è anche questo limite massimo dell'intensità magnetica. Il che si spiega facilmente, considerando che, quando tutte le molecole sono disposte in quell'ordine, che abbiamo visto esser necessario per la produzione del vortice magnetico, non è più possibile un ulteriore accrescimento dell'azione. Ma un grosso pezzo di ferro ha, naturalmente, più molecole di uno piccolo.

Il ferro dolce si magnetizza più facilmente dell'acciaio, ma perde rapidamente la maggior parte del suo magnetismo. La mollezza di una sostanza significa una maggiore mobilità delle sue particelle: perciò si capisce facilmente, che le sue molecole si lasceranno più facilmente disporre in quello speciale ordine richiesto dal magnetismo, ma anche con altrettanta facilità, una volta cessata la causa che ve le obbligava, torneranno a riprendere la posizione normale. Il magnetismo residuo nell'acciaio, che si *attribuisce* ad una speciale *forza coercitiva* rende possibile l'ottenere i magneti perma-

menti, che sono appunto d'acciaio. Molto caratteristica è la circostanza che lo stato magnetico, che spesso rimane anche nel ferro dolce, si perde percuotendo il ferro stesso; come se si trattasse di vincere solo una debole resistenza a ritornare nella normale disposizione molecolare. Così un tubo di vetro, ripieno di limatura di ferro e magnetizzato, perde il suo magnetismo, agitando la limatura con delle scosse.

Ma nonostante questo accordo tra la nostra ipotesi e i fatti sperimentali, tutti questi fenomeni rimarrebbero molto enigmatici, se tra le migliaia di corpi e di composti in cui si distingue la materia, si osservassero i detti fenomeni in una sola sostanza, il ferro. Si dimostra, invece, con più attento e sottile esame, che molti altri corpi, anzi probabilmente tutti, possiedono proprietà magnetiche, come appunto deve essere secondo la teoria. Nei vortici di quell'etere, i cui urti sono la causa per la quale una pietra abbandonata cade a terra e i pianeti girano intorno ai loro soli, tutta quanta la materia deve essere trascinata. Soltanto il grado dell'azione, in corrispondenza alla penetrabilità dei corpi per questo movimento vorticoso, può essere diverso. Questo grado di permeabilità magnetica non ha evidentemente alcuna relazione colla generale permeabilità dei corpi, ossia colla loro densità: ma impareremo più tardi interessantissimi rapporti tra questa densità e le proprietà ottiche, elettriche e magnetiche della materia.

Il nichel ed il cobalto, due corpi che anche nelle proprietà chimiche hanno grande analogia col ferro, sono i

più magnetici dopo di esso, sebbene sempre molto meno. Tutti gli altri corpi hanno una suscettività magnetica ancora più piccola; per l'aria, per esempio, è quasi così piccola come per lo spazio vuoto, ossia per l'etere. Per poterne dare un'idea con cifre di comparazione, ci è necessario accordarci sopra una *unità magnetica*.

Volendo misurare la forza del magnetismo, occorre confrontarla con un'altra forza. Secondo le conclusioni del Congresso degli elettricisti tenuto a Parigi nel 1881, riferiremo anche la forza magnetica al sistema assoluto, *centimetro-grammo-secondo*, del quale abbiamo, già altrove, esposto i fondamenti. L'unità di forza in questo sistema, è la forza che in un secondo comunica ad un grammo la velocità di 1 cm. Questa unità di forza l'abbiamo chiamata *dine*; abbiamo trovato che il peso di un grammo equivale a 980 dine all'incirca, ossia che una dine corrisponde al peso di milligrammi 1,02. Anche la forza magnetica si misura in dine: ma per dare un'idea della grandezza delle forze magnetiche, aggiungiamo che un ago d'acciaio ben magnetizzato ha una forza d'attrazione di circa 10 *dine*. Si vede quanto più grande sia la forza magnetica di fronte alla gravità, considerando che rispetto a quest'ultima, 1 Kg, ossia una massa almeno cento volte maggiore del nostro *ago d'acciaio*, esercita a distanza uguale, una forza 15 volte più piccola. Tali misure si riferiscono alla stessa distanza di 1 cm. Per riferirle a diverse distanze, occorre la conoscenza della legge secondo la quale la forza magnetica si irradia nello spazio. Secondo nostre ipotesi, la legge dell'a-

zione magnetica deve essere assai diversa da quella della gravitazione, del calor raggianti e della luce, per le quali energie, conformemente alla teoria, abbiamo sempre visto confermata la legge del quadrato delle distanze; non è quindi da aspettarsi che anche per l'energia magnetica debba valere questa legge. Noi non possiamo, intanto, avere alcun corpo capace di una sola specie di magnetismo, la cui intera massa cioè sia sempre o soltanto attratta o soltanto respinta da un altro magnete. I due poli sono indivisibili ed agiscono in senso contrario. Tuttavia, si è potuto capire dall'osservazione dei fatti, che anche la forza d'attrazione di tali magneti ideali, di cui uno fosse solo un polo sud, l'altro un polo nord, seguirebbe la stessa legge secondo la quale i corpi si attraggono reciprocamente: cioè che la «forza diminuisce col quadrato della distanza, ma cresce colla massa dei corpi»; ed in questo caso, soltanto con la massa magnetica. È questa la «legge di Coulomb» che vedremo valere anche per l'azione elettrica.

Le determinazioni della permeabilità magnetica hanno dato questi risultati per le diverse sostanze riferite allo spazio vuoto, che ha il valore di zero, e fatta eccezione del ferro.

Cloruro di ferro	+ 64	Bismuto	- 14
Solfato » »	+ 20	Mercurio	- 2.61
Ossigeno » »	+ 0.12	Acqua	- 0.82
Aria	+ 0.02	Alcool	- 0.66

Abbiamo qui di fronte due serie di corpi, di cui l'una comincia con un composto di ferro, l'altra col bismuto;

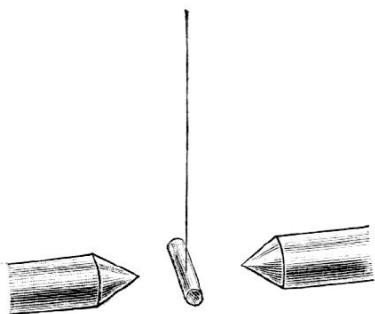


Fig. 248.

Diamagnetismo del bismuto.

la seconda serie è di segno contrario alla prima. I corpi della serie a destra sono *diamagnetici*, quelli a sinistra *paramagnetici*. Che cosa significano questi nomi? Se tra i poli di un forte magnete, che si può produrre mediante la corrente elettrica, poniamo un pezzetto di bismuto allungato, sospeso ad

un filo, non si disporrà, come se fosse di ferro, col suo asse maggiore in direzione dei due poli, ma di traverso (fig. 248). Pare quasi che si abbia qui un fenomeno di nuovo genere, che abbia bisogno di una particolare spiegazione meccanica: con un poco di riflessione se ne capisce facilmente la causa. I corpi attratti magneticamente devono comportarsi rispetto al magnete come le altre masse di fronte alla forza d'attrazione universale. Le cifre riportate di sopra corrispondono al peso specifico dei corpi; riferite alla forza magnetica esse esprimono la loro densità magnetica. Un pezzo di legno nell'acqua è spinto in alto, mentre un pezzo di piombo va a fondo: eppure entrambi sono soggetti alla medesima forza d'attrazione terrestre. Il principio d'Archimede vale anche per l'attrazione magnetica in un mezzo resistente, il quale qui è l'etere cosmico che offre una resistenza ma-

gnetica quasi uguale a quella dell'aria. Il bismuto è dunque magneticamente più leggero dell'aria, il ferro più denso. Il bismuto perciò sarà respinto dalla forza magnetica nell'aria o nel vuoto: offrirà dunque, in corrispondenza ai principî di meccanica generale, il suo lato più largo alle linee di forza, e prenderà una posizione non «polare» come il ferro, ma «equatoriale». Se questa è la giusta spiegazione del diamagnetismo, questa proprietà non deve mantenersi costante in certi corpi: un corpo deve, invece, essere diamagnetico o paramagnetico secondo la densità magnetica del corpo, in mezzo a cui il primo si trova. Il ferro galleggia nel mercurio, ma affonda nell'acqua. E che questo sia proprio il caso, lo ha dimostrato sperimentalmente Faraday. Egli preparò tre soluzioni magnetiche di sali di ferro di diversa concentrazione, con cui era determinato anche il grado della loro densità magnetica. Ognuno di questi liquidi in un tubo di vetro, posto nell'aria tra i poli magnetici di una calamita, si comportava come il ferro. Invece, quando egli immerse successivamente quei tubi in un recipiente che conteneva quelle stesse soluzioni, se la soluzione del recipiente era più diluita di quella del tubo, questo si disponeva nel campo magnetico nella comune posizione polare; se invece la soluzione esterna era più densa, prendeva la posizione equatoriale. Dunque la stessa soluzione ferrosa presentava le proprietà diamagnetiche.

Se fra i poli di un magnete, si pone una bacinella con vari liquidi, questi assumono varie forme che ricordano quelle prodotte dall'attrazione o repulsione capillare (v.

fig. 249). Anche le fiamme, per effetto dei gas che in esse bruciano o delle piccole particelle di materia che vi si trovano sospese, sono magnetiche ed assumono pure forme speciali sotto l'azione di un magnete (fig. 250).

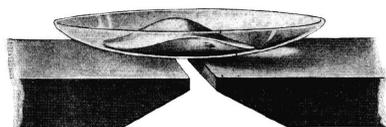


Fig. 249.
Magnetismo dei liquidi.

In modo particolare, come per altre proprietà, si comportano, anche rispetto al magnetismo, i cristalli dei sistemi irregolari di cui ci siamo già occupati trattando dei fenomeni della luce. Mentre i cristalli regolari non mostrano alcuna particolare proprietà magnetica, quelli irregolari fanno girare in un certo senso la direzione delle linee di forza, in modo che il vortice magnetico trovi nel loro interno la minima resistenza possibile. Sappiamo che nei cristalli, questa direzione della minima resistenza si rivela dalla loro sfaldabilità e dal loro contegno alla luce polarizzata; e reciprocamente, possiamo dire, che il ferro magnetizzato prende per i suoi aggruppamenti molecolari le proprietà dei cristalli. È cosa affatto comune il considerare il magnetizzazione di una sostanza come una specie di incipiente cristallizzazione. In seguito avremo ancora spesso

portano, anche rispetto al magnetismo, i cristalli dei sistemi irregolari di cui ci siamo già occupati trattando dei fenomeni della luce. Mentre i cristalli regolari non mostra-

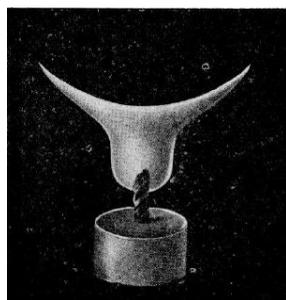
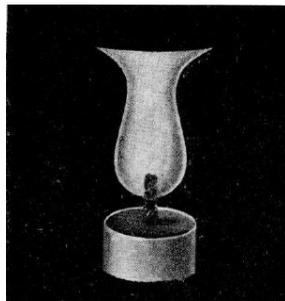


Fig. 250. – Fiamme magnetiche.

da parlare di simili rapporti.

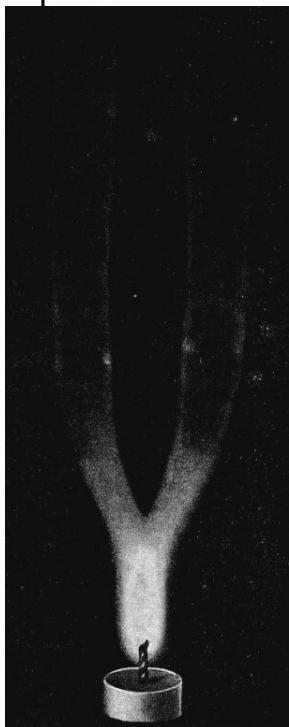


Fig. 251. – Altra fiamma magnetica.

girava l'analizzatore di un determinato angolo. Di tanto dunque era stato girato il piano di polarizzazione nella bacchetta di vetro, per effetto della forza magnetica.

D'altra parte anche il vortice magnetico reagisce sugli aggruppamenti molecolari dei cristalli. Il piano della luce polarizzata viene deviato dalla forza magnetica dalla sua direzione primitiva. Faraday mostrò per il primo questo importantissimo fenomeno ottico-magnetico, facendo un foro attraverso i poli di un elettromagnete ed introducendovi una bacchetta *g* di vetro (fig. 252): dirigendo in questa la luce polarizzata da *a*, osservava in *d*. Mentre il campo visivo dell'apparecchio di polarizzazione rimaneva oscuro finchè non agiva il magnete; appena che la forza magnetica entrava in azione, si illuminava, per tornare di nuovo oscuro, se si

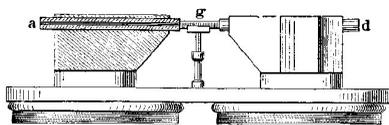


Fig. 252. – Rotazione magnetica del piano di polarizzazione.



Animali luminosi delle profondità marine.

Vedendo, da questi fenomeni ottico-magnetici, che il magnetismo agisce sulla direzione delle vibrazioni luminose, si poteva già prevedere che dovesse aver influenza anche sulla loro grandezza, poichè questi cambiamenti di direzione devono necessariamente esser connessi con un assorbimento dell'energia delle vibrazioni stesse. Quando una palla da biliardo, per effetto della sua rotazione, prende, dopo l'urto in una sponda del biliardo, una direzione e una velocità diverse da quelle che prenderebbe senza tale movimento, ciò può avvenire solo a spese della sua velocità di rotazione. Questa influenza di un forte campo magnetico sulla durata delle vibrazioni luminose fu veramente scoperta nel 1897 da Zeeman, osservando allo spettroscopio un raggio di luce, che passava vicino ad un forte elettromagnete. Osservò allora il fenomeno, detto ora di Zeemann, che le semplici linee spettrali si dividevano in due, tre, fino ad 8 linee speciali. La maniera della suddivisione era diversa secondo che il raggio scorreva parallelamente o trasversalmente alle linee di forza magnetiche. Tutte queste linee sono formate da luce polarizzata ed alcune di esse sono polarizzate in una direzione: le altre in direzione contraria. Separando allora l'una dall'altra queste linee per mezzo di un polariscopio si hanno i tipi di aggruppamenti che riportiamo qui sotto, in cui si scinde ciascuna comune linea spettrale. I gruppi superiori *A B C* appaiono polariz-

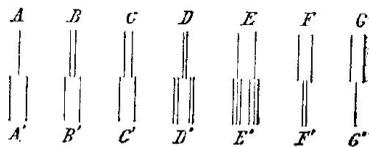


Fig. 253.

Il fenomeno Zeemann.

I gruppi superiori *A B C* appaiono polariz-

zati in una direzione, quelli $A' B' C'$ nell'altra. Dalle semplici linee si formano dunque linee triple, quadruple, sestuple, ecc. La teoria può spiegare e prevedere questo fenomeno, dal fatto della rotazione della luce nel campo magnetico; ma pure vi sono ancora molte particolarità che abbisognano di una spiegazione. Per esempio, le linee di un medesimo spettro si dividono in maniera diversa. La linea D del sodio presenta il tipo di divisione $C C_1$; la linea D_2 dello stesso spettro, così vicina all'altra che negli strumenti un po' deboli si confonde con quella, ha invece nel campo magnetico il tipo $D D_1$ e si suddivide dunque in sei nuove linee, mentre la sua vicina si scompone solamente in quattro. Ma sono appunto queste particolarità che ci permetteranno un giorno di penetrare più profondamente nel mistero dei sistemi cosmici molecolari, i quali esercitano un'influenza così complessa, ma pur soggetta a leggi esatte e costanti, sulle onde eteree da cui sono investiti o che essi generano.

b) Il magnetismo terrestre.

Un ago magnetico, mobile, vicino al quale non si trovi alcun altro magnete, prende sempre, come è noto, una determinata direzione, cioè dal sud al nord, anzi, più precisamente, la direzione del cosiddetto *meridiano magnetico*.

Per questa proprietà noi abbiamo denominato le due estremità del magnete che agiscono in senso inverso «polo sud» e «polo nord». Noi chiamiamo polo nord di

un magnete quello che si volge al nord, ma veramente per la legge della repulsione dei poli omonimi, i nomi dovrebbero essere invertiti.

Da ciò che abbiamo imparato sul comportamento di un ago magnetico in presenza di un altro magnete, se ne conclude che questo orientamento dell'ago dipende dal fatto che la terra stessa agisce come un grande magnete. Ma lo studio più completo ed esteso di questa forza direttrice della Terra, cioè del *Magnetismo terrestre*, fa vedere che le cause e le leggi del fenomeno sono tutt'altro che semplici.

Innanzitutto la direzione dell'ago magnetico non coincide col meridiano geografico ossia colla vera direzione nord-sud della superficie terrestre. L'angolo che il meridiano magnetico fa con quello geografico si chiama *declinazione magnetica*, ed è variabile colla posizione geografica e anche col tempo. Per es., nel 1880, la declinazione in Parigi era di 16, 87° e in Londra di 18, 75°, essendo il polo nord dell'ago spostato verso Ovest rispetto al meridiano astronomico. Nel 1698 invece la declinazione era, sempre ad Ovest, di 7, 67° per Parigi, e di 7° per Londra. Nel secolo precedente, la declinazione nell'Europa era verso Est; e presentemente la declinazione verso Ovest decresce di nuovo regolarmente. Questa *variazione della declinazione magnetica* è dunque manifestamente soggetta ad una legge periodica. Come è noto, questa forza direttrice del magnetismo terrestre viene utilizzata nella navigazione d'alto mare per l'orientamento delle navi. Un ago magnetico mobile in uno

speciale apparecchio costruito a questo scopo, costituisce la Bussola.

Sembra che i cinesi, già fino da tempi antichissimi, adoperassero nella navigazione questo strumento in forma di un piccolo magnete fissato ad un sughero galleggiante sull'acqua; anzi si racconta che l'imperatore Hoangti, vissuto intorno al 2700 av. C. avesse attaccata al suo cocchio una piccola figura che stava voltata sempre verso il sud.

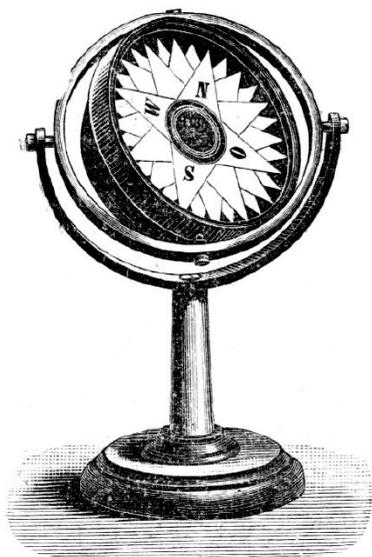


Fig. 254. – Bussola marina. In Europa la bussola apparve la prima volta nel secolo XIV, probabilmente portata dalla Cina. Oggigiorno l'arte di costruzione delle bussole e la loro applicazione per la guida delle navi hanno raggiunto la massima perfezione. Si adoperano un certo numero di sottili asticelle magnetiche disposte in un ordine prestabilito sopra un disco, il cosiddetto quadrante o anche rosa dei venti, sul quale sono indicati i punti cardinali, che gira per l'azione magnetica, o per essere più esatti, resta fermo, per quanto il bastimento si muova e si volga. Sono a tale scopo evitate o diminuite le oscillazioni pendolari dell'ago, e il quadrante si mette subito nella sua stabile posizione. Il sistema di sospensione cardanica del disco,

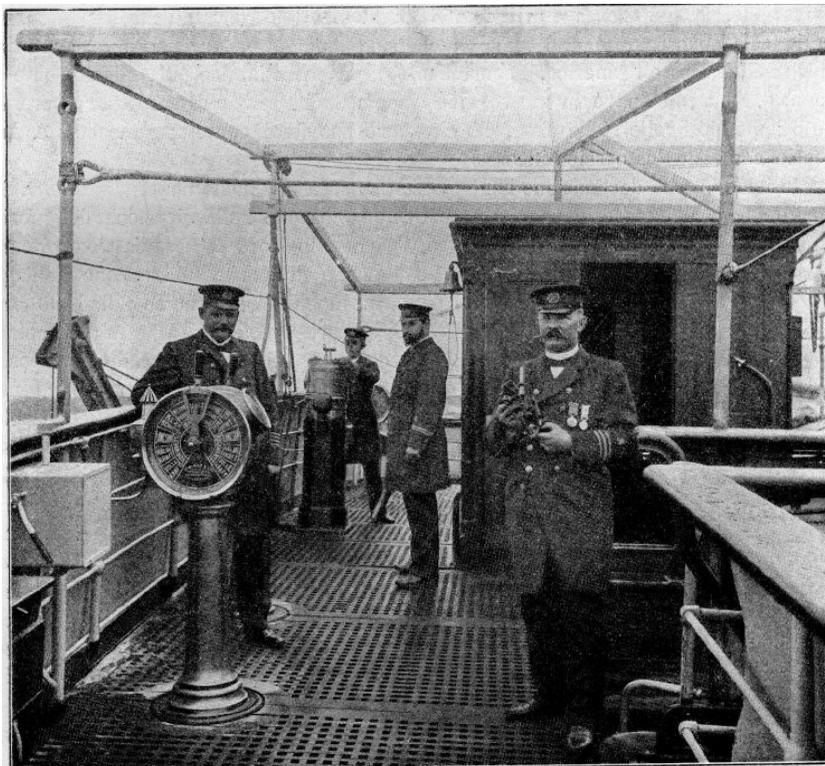


Fig. 255.

Ponte di comando di un transatlantico del
“Norddeutscher Lloyd”.

rappresentato nella fig. 254, mantiene la bussola orizzontale, nonostante tutte le oscillazioni della nave. Inoltre, è risultato da esperienze pratiche, che la accennata distribuzione di magneti fissi nella bussola, elimina anche l'azione perturbatrice derivante dalle masse di ferro che si trovano nella nave, le quali sempre sono più o meno magnetizzate. La fig. 255 ci conduce sul ponte di

comando di un piroscalo transatlantico del Norddeutscher Lloyd: nel mezzo è collocata la bussola, e quella massiccia palla di ferro serve per controbilanciare l'azione magnetica delle parti di ferro della nave. Sopra la cassa della bussola si trova uno strumento ottico per mezzo del quale si può determinare la direzione, per es. di un faro, rispetto al quadrante della bussola.

A destra, nella figura, è un ufficiale che si accinge a misurare l'altezza del Sole, col sestante che abbiamo già descritto.

La declinazione magnetica è oggi conosciuta e indicata per ogni punto sulle carte marine, e fu Colombo che ne scoprì la variazione con la posizione geografica, quando egli, nonostante gli esatti calcoli fatti, si trovò condotto molto lontano dal cammino che contava di percorrere. Era perciò della massima importanza per la navigazione, la conoscenza esattissima degli elementi del magnetismo terrestre, ed oggi questa conoscenza è così completa che sulle linee di più frequente percorrenza, come tra l'Europa e l'America, il comandante di un transatlantico può, dal suo ponte di comando, guidare la nave in mezzo all'Oceano colla bussola, e con maggior sicurezza che orientandosi colle stelle fisse, ciò che pure può farsi contemporaneamente, ma proprio come un luso scientifico.

Insieme con la declinazione l'ago magnetico presenta anche una *inclinazione*. Se un ago libero di rotare in un piano verticale si dispone nella direzione del meridiano magnetico, il suo polo Nord si abbassa verso terra (fig.

256). Anche l'angolo di questa inclinazione dell'ago varia col tempo e coi luoghi. A Göttingen nel 1893 era di $66^{\circ}, 28'$; nel 1806, invece, di $69^{\circ}, 48'$. Nelle regioni polari arriva fino a 90° , cosicchè quivi l'ago prende una posizione verticale; infatti là si trova il polo magnetico nel quale anche si congiungono i meridiani magnetici. Il polo magnetico nord è situato a 70° di latitudine nord e 264° di longitudine est da Greenwich, ossia sopra una delle isole dell'arcipelago artico americano, la *Boothia Felix*.

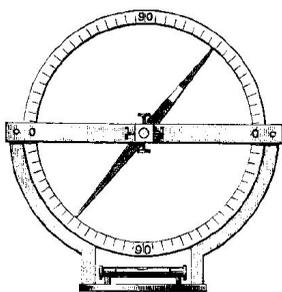


Fig. 256.
Ago d'inclinazione.

John Ross raggiunse nel 1831 questo importantissimo punto, e si accorse con stupore, che ivi l'ago magnetico si volgeva in direzione del centro della Terra, come se da questo emanasse la misteriosa forza. Al polo magnetico nord corrisponde naturalmente dall'altra parte della Terra un polo magnetico sud. Ma riguardo a questo, come del resto a tutto ciò che si riferisce alle estreme regioni antartiche, le nostre cognizioni per ora rimangono molto superficiali. È da sperare che le numerose spedizioni polari intraprese in questi ultimi tempi da varie nazioni, possano riempire anche questa notevolissima lacuna nella conoscenza dei fenomeni terrestri.

Per farsi un concetto del modo d'azione del magnetismo terrestre si dovette ricorrere a qualche ipotesi. Si ammise l'esistenza di un magnete situato nel centro del-

la Terra, e si trattava allora di calcolarne la posizione e la grandezza, perchè potesse dar ragione dei fenomeni magnetici osservati in ogni punto del globo terrestre.

Ma questo problema apparve insolubile dopochè osservazioni magnetiche di una certa esattezza furono estese ad una buona parte della superficie terrestre, il che si deve specialmente allo zelo di Alessandro Hum-

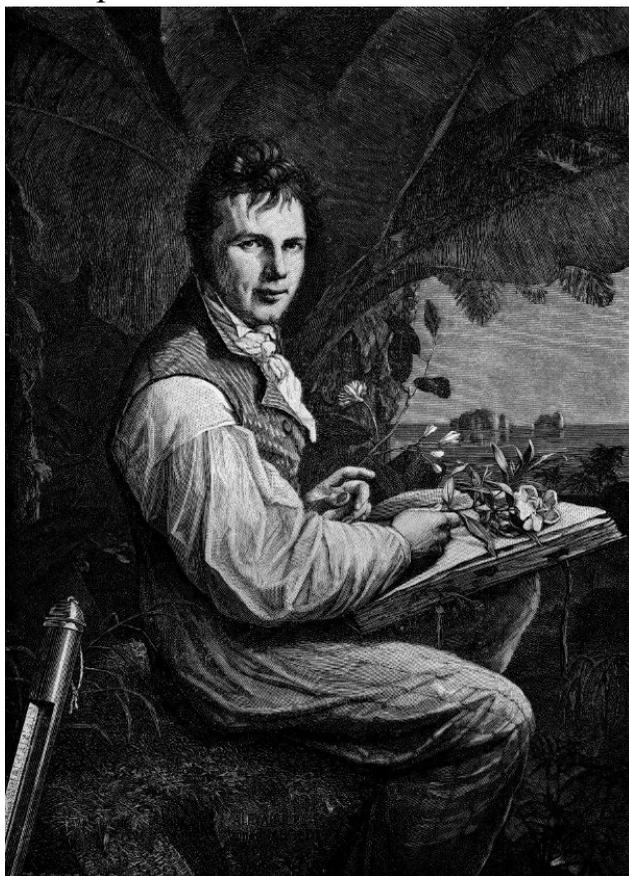


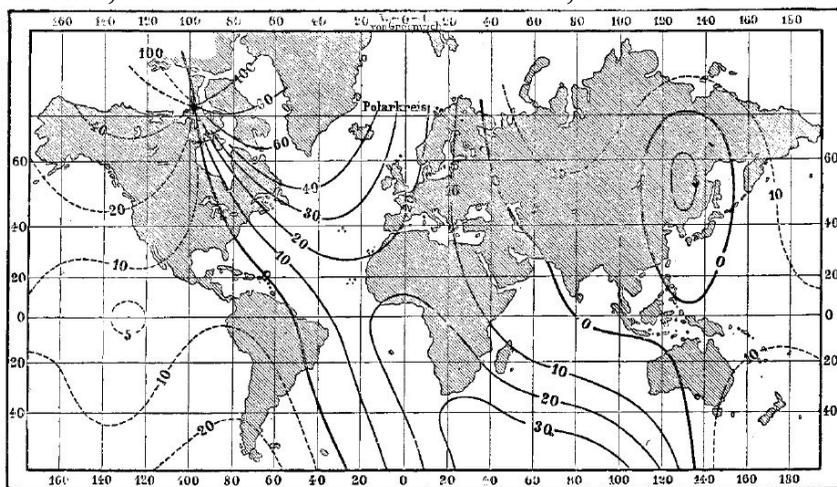
Fig. 257. – Alessandro Humboldt
(Quadro di Weitsch nella galleria Nazionale di Berlino).

boldt (fig. 257).

Gli osservatori magnetici sorti in ogni parte e forniti di finissimi strumenti hanno stabilito con sicurezza, che, anche facendo astrazione delle deviazioni locali, le linee di forza sulla superficie della Terra non sono così semplici come sarebbero nel caso di un magnete terrestre centrale. Se, per esempio, si congiungono tutti i punti che hanno nello stesso tempo uguale declinazione, per mezzo delle linee dette *isogone*, queste dovrebbero prender la forma di meridiani e similmente le linee che collegano i punti di uguale inclinazione, cioè le *isocline*, dovrebbero esser dei cerchi paralleli. Noi riportiamo qui appresso due carte con queste linee, le quali mostrano a prima vista che la legge della loro origine e distribuzione non è certamente quella supposta, per quanto non molto dissimile. Anche facendo l'ipotesi di uno o due magneti situati eccentricamente nell'interno della Terra, non si giunge a conclusioni soddisfacenti. Dietro questi risultati, Gauss di Göttingen propose l'ipotesi di un gran numero di piccoli magneti distribuiti con una certa legge nella massa terrestre, avvicinandosi senza dubbio con ciò alla realtà dei fatti osservati, per cui divenne il vero fondatore della teoria del magnetismo terrestre. Secondo i suoi calcoli, l'asse magnetico terrestre ha la direzione da $77^{\circ} 50'$ di latitudine nord verso la stessa latitudine sud, e da $296^{\circ}, 29'$ di longitudine est verso $116^{\circ}, 29'$.

La posizione dei poli alla superficie è spostata rispetto a quella dell'asse. Essi secondo i calcoli di Gauss si trovano l'uno, quello boreale, a $73^{\circ} 35'$ di latitudine

nord e $264^{\circ} 21'$ di longitudine est, e l'altro a $72^{\circ}, 35'$ di latitudine sud e $152^{\circ} 30'$ di longitudine est. La posizione del polo nord, così calcolato, si accorda con quella osservata, con una differenza di circa $3^{\circ}, 5'$.



Iso-gone magnetiche nel 1860.

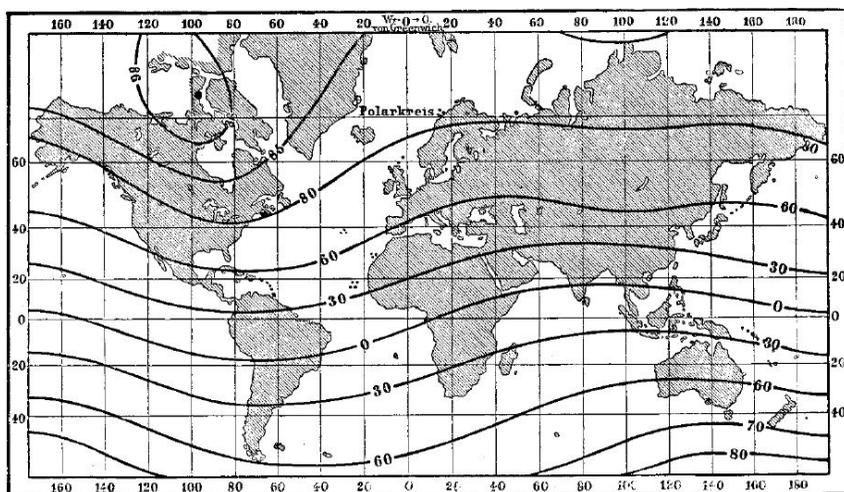


Fig. 258. – Iso-cline magnetiche nel 1860.

Tra gli elementi magnetici terrestri da considerare, vi è anche la grandezza della forza. Per determinarla, si deve conoscere, prima, l'intensità orizzontale che si misura dalle oscillazioni che fa una sbarra magnetizzata, di cui è noto il momento d'inerzia. Gauss trovò che il momento magnetico della Terra è uguale a $0,331 \times R^3$, dove il raggio terrestre R deve esser preso in centimetri, essendo l'unità di forza quella del sistema centimetro-grammo-secondo.

Nel 1900, a Potsdam, si ebbero i seguenti risultati per

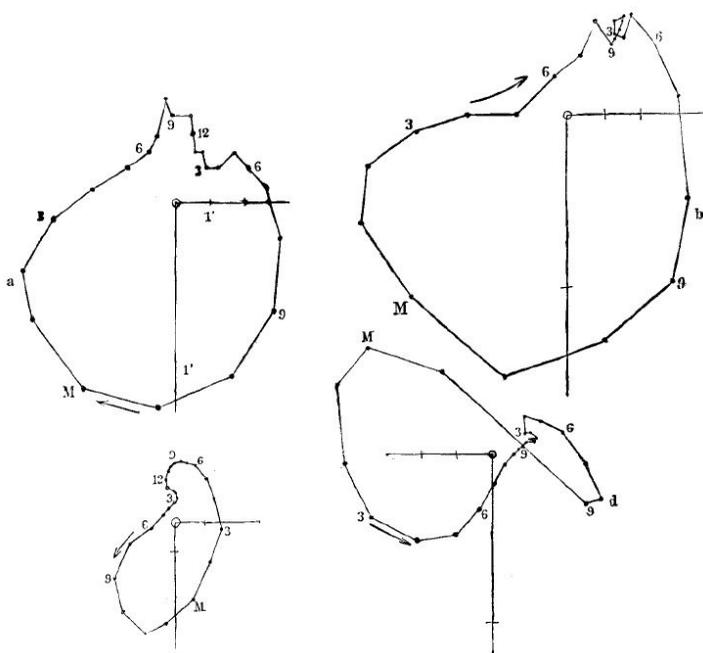


Fig. 259.

Oscillazione giornaliera dell'ago magnetico secondo Mascart.
a) Pietroburgo 1873-85; – b) Potsdam 1893; – c) Batavia 1884-93; – d) Lissabon 1884-93.

gli elementi magnetici terrestri definiti più innanzi. Declinazione $9^{\circ}56, 3' W$; cambiamento annuale $4, 4'$; inclinazione $66^{\circ} 33', 7 N$; cambiamento annuale $+ 0,4'$; intensità totale $0,47375$; cambiamento annuale $+ 0,00078$. Volendo ammettere che nell'interno della Terra sieno distribuiti piccoli magneti la cui azione totale dia effetti corrispondenti alla teoria, un diecimillesimo della materia terrestre dovrebbe esser costituita di buon acciaio magnetico. Ma ciò è reso poco probabile innanzi tutto dal fatto che già alle profondità terrestri ancora a noi accessibili non si trova più ferro magnetico, ed anche perchè a profondità relativamente piccole si raggiungono tali alte temperature che lo stato magnetico non è più possibile. Possiamo perciò considerare anche la teoria di Gauss come una convenzione, che può servire piuttosto a rappresentarci il fenomeno che a spiegarlo. Certo è, che la causa del magnetismo terrestre è da ricercarsi non nell'interno della Terra ma all'esterno di essa, nel cosmo; in appoggio di questa ipotesi sta la circostanza che gli elementi magnetici oltre alle «variazioni secolari» già ricordate presentano anche variazioni annuali e giornaliere. L'ago magnetico segue in certo qual modo il corso del sole, come risulta dalle quattro curve chiuse (fig. 259) le quali corrispondono al medio movimento giornaliero dell'ago, e si presentano in forme affatto simili anche in luoghi lontanissimi fra loro. L'ago magnetico sente dunque anch'esso l'azione della causa prima di tutti i movimenti terrestri. Così l'intervallo medio della declinazione in Göttingen, fra le ore 8 e le 13 nel-

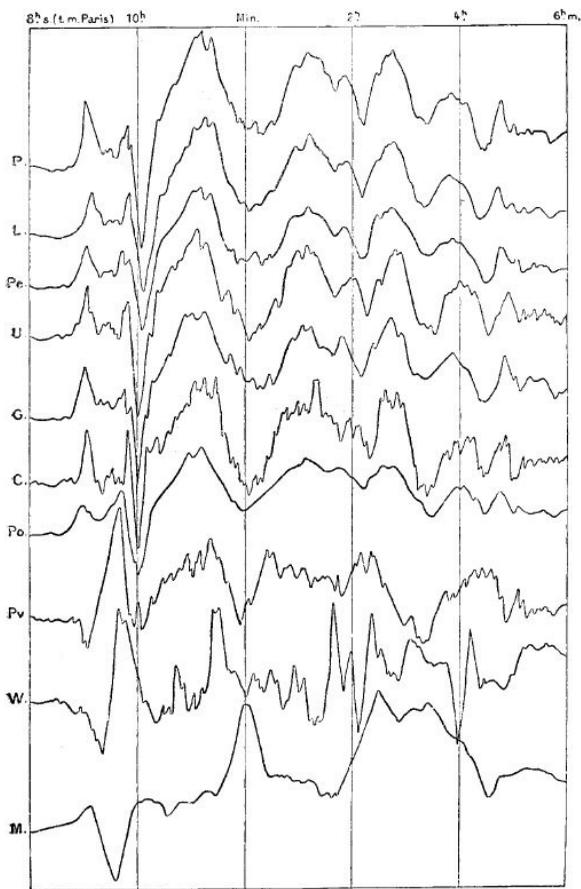


Fig. 260. — Burrasca magnetica del 18-19 Maggio 1892. (P) Parigi; — (L) Lione; — (Pe) Perpignan; — (U) Utrecht; — (G) Greenwich; — (C) Copenaghen; — (Po) Pola — (Pw) Paulowsk; — (W) Washington; — (M) Mauritius.

agitazione che si chiamano burrasche magnetiche; queste si estendono contemporaneamente su tutto il nostro pianeta, come mostrano queste curve (fig. 260) tracciate

l'aprile 1837, risultò di 18', 8, nel dicembre invece soltanto di 5', 4 e due anni dopo nello stesso mese e nelle stesse ore di 14', 0 e 4', 1. Anche qui si tratta dunque di oscillazioni continue e periodiche. A questo si aggiungono finalmente gli sbalzi subitanei dell'ago magnetico, che spesso assumono valori considerevoli, durante quei periodi di forte

dall'ago magnetico in punti molto lontani tra loro.

Spesso, ma non sempre, tali tempeste sono accompagnate anche dal fenomeno visibile dell'aurora boreale. Le aurore polari si manifestano contemporaneamente ai due poli della Terra, e congiungono i loro misteriosi raggi molto al di sopra dell'Equatore. Talvolta, gli aghi dei nostri osservatori magnetici, pur così ben protetti, divengono improvvisamente irrequieti, se a 20 milioni di miglia di distanza, sul nostro astro centrale qualche grossa macchia solare viene a trovarsi sulla parte più vicina a noi, durante la rotazione dei due corpi celesti. E così il periodo di 11 anni che si osserva nel ritorno delle macchie solari è pure, come dimostrò Wolf in Zurigo, il periodo di queste perturbazioni dell'ago magnetico. Da tutte queste nozioni risulta la probabilità, che la terra in sostanza non sia da considerarsi come un magnete permanente, ma come un magnete di influenza, che cambia continuamente la sua azione per effetto delle linee di forza sempre mutevoli che attraverso lo spazio celeste giungono ad essa dal Sole e dagli altri corpi, che son pure centri di movimenti vorticosi dell'etere. Quando la luce del corpo solare in causa di un'eclissi totale si è completamente coperta, il contorno dell'astro apparisce allora in un

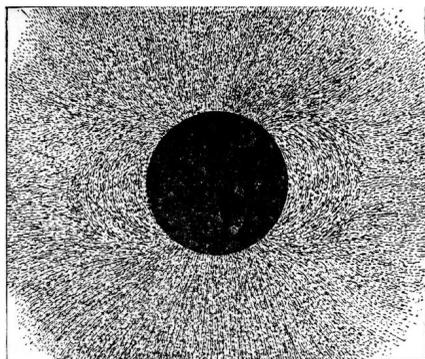


Fig. 261 – Linee di forza di un disco magnetico.

aspetto speciale, la corona, i cui raggi sono collegati e disposti in modo da ricordare le linee di forza di un magnete, quali si vedono con la limatura di ferro intorno ad un disco magnetico (fig. 261). Probabilmente, si tratta di fenomeni magnetici od elettrici, che debbono aver parte essenziale nei movimenti dell'ago magnetico.

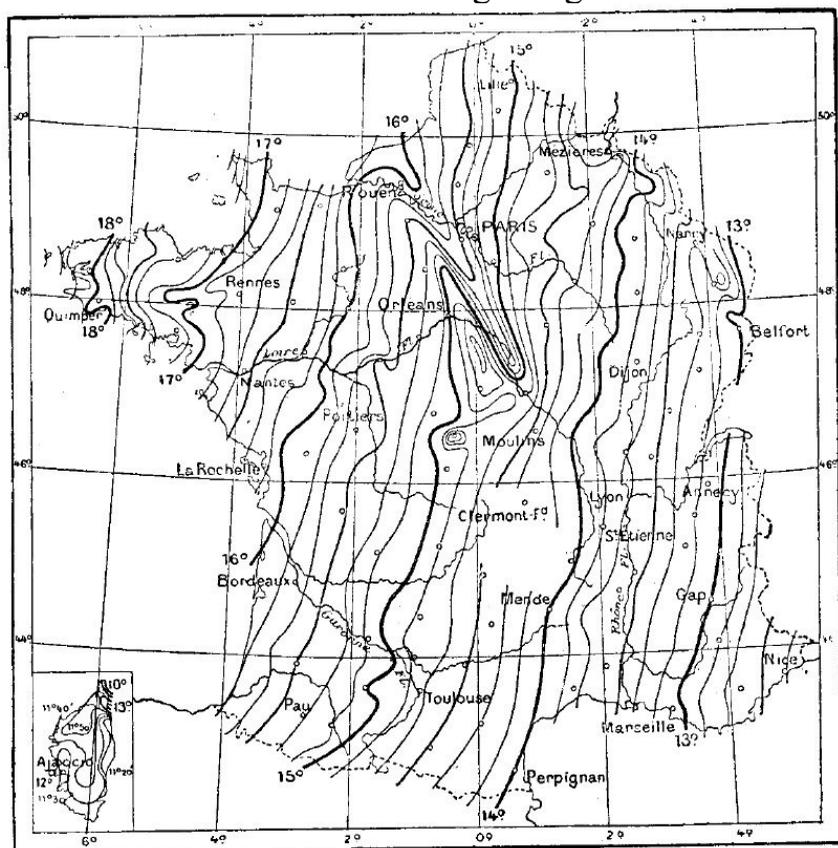


Fig. 262. – Isogone della Francia secondo Mascart.

Oltre a tutte queste cause influenti sui fenomeni magnetici, si hanno finalmente anche gli «influssi locali», i

quali spesso si estendono sopra ampie regioni. La fig. 262 presenta una carta della Francia colle sue isogone. Queste presentano a nord e a sud di Parigi notevolissimi piegamenti che non possono attribuirsi ad alcuna visibile causa esterna, come catene di montagne o noti giacimenti di ferro. Di recente poi, in Russia, a Kursk, circa a metà strada tra Mosca e il Mar Nero, si è scoperto pure un polo magnetico nord completamente isolato, in cui l'ago si dispone verticalmente, mentre intorno la declinazione prende qualunque valore si voglia. Il terreno quivi è piano e costituito da strati eocenici, gessi, marne, calce, ecc., ossia non da rocce che facciano supporre la presenza di grandi giacimenti di ferro, i quali però devono necessariamente trovarsi nel sottosuolo. L'ago magnetico in questo caso ha una funzione rivelatrice simile a quella del pendolo, facendoci conoscere i punti magneticamente più o meno densi nell'interno della Terra.

c) L'elettricità statica.

Vi è un altro gruppo di fenomeni, da un lato strettamente connessi al magnetismo, da un altro apparentemente molto diversi, i quali fanno capo alla antica e notissima osservazione, che un pezzo di ambra attira i corpi leggeri, come frammenti di carta, palline di midollo di sambuco, limatura di ferro. Si sa che dall'ambra, detta in greco *electron*, ha preso il nome l'intero campo dei fenomeni elettrici.

Ma l'elettricità di attrito, propria di quella resina pie-

trificata, forma oggi solo un gruppo relativamente piccolo degli svariatissimi fenomeni dovuti a questa prodigiosa forza che domina l'intera vita moderna. Questa elettricità d'attrito, per contrapposto alla corrente elettrica, di cui avremo da occuparci più tardi, si chiama anche *elettricità statica*.

Non è solo l'ambra, che presenta collo strofinamento la proprietà che abbiamo esposta, ma anche la gomma, lo zolfo, la lacca, e così pure il vetro, la seta, la lana, ecc. Secondo la qualità dei due corpi strofinati tra loro si ottiene una maggiore o minore forza d'attrazione; e già in questo apparisce una notevole differenza dal magnetismo, il quale, solo nel caso del ferro, dà fenomeni intensi. Ma non occorre differenza di sostanza fra le masse attraentisi, e il vetro strofinato attira pure altro vetro, come il ferro magnetico attira l'altro ferro. Abbiamo veduto che il ferro comune può esser reso magnetico col semplice sfregamento con altro ferro precedentemente magnetizzato, mentre invece due corpi ambedue allo stato naturale, col semplice attrito si elettrizzano. I corpi elettrizzati, però, perdono rapidamente questa proprietà, in modo da poter poi essere nuovamente riportati allo stato elettrico; mentre invece lo stato magnetico del ferro, in condizioni normali, è apparentemente costante.

La quantità di questa energia elettrica così prodotta, noi la misuriamo colla bilancia di torsione costituita da una piccola palla di metallo, fissata ad una sbarretta con un contrappeso, e girevole attorno ad un filo (fig. 263). La deviazione ch'essa subisce, avvicinandole per es.

una bacchetta di vetro elettrizzata, misura la forza elettrica di quest'ultima. Come unità di misura della forza, anche qui si è adottata quella assoluta, la *dine*, cioè la forza che comunica in un secondo l'accelerazione di 1 cm. ad 1 gr. di massa.

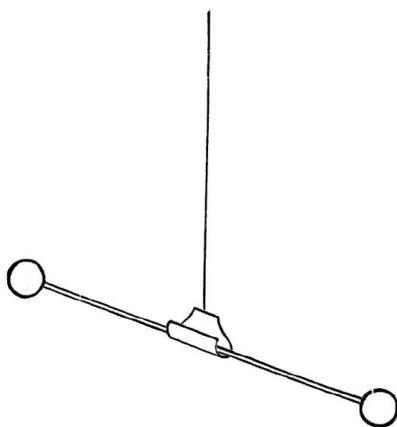


Fig. 263. – Bilancia elettrica.

Come si poteva prevedere, anche nella forza elettrica, azione e reazione sono eguali. Si può anche sospendere la sbarra di vetro elettrizzata ed avvicinare a questa una palla di metallo, ed allora la sbarra devierà dello stesso angolo che nella precedente disposizione, per l'attrazione esercitata dalla palla metallica.

Un corpo elettrizzato differisce da un magnete, in quanto non ha alcun polo; diviene elettrico solo dove è stato strofinato, ma uniformemente. E se noi sfregiamo un pezzo di ferro anche soltanto da una parte con un magnete, esso diviene pure magnetizzato dall'altra parte e con polarità opposta; e nel mezzo rimarrà neutro, per quanto sia forte la magnetizzazione acquistata.

Viceversa, nei corpi elettrici, noi scopriamo subito una nuova proprietà che ha evidente analogia con la polarità magnetica. Se si elettrizzano due bacchette di vetro ugualmente e ne poniamo una sulla bilancia elettrica, questa sarà respinta dall'altra che teniamo in mano. Ma

ciò non si verifica in tutti i corpi elettrizzati. Strofiniamo, per es., una bacchetta di lacca con della lana; essa, oltre a tutti i corpi non elettrici, attirerà anche la bacchetta elettrica di vetro, mentre invece respingerà un'altra bacchetta di lacca elettrizzata, come già facevano le due bacchette di vetro. E nel modo stesso che si è immaginato il magnetismo nord e il magnetismo sud, come dovuti a due fluidi diversi e separati, così per l'elettricità si è ammesso l'elettricità *positiva* e quella *negativa*, la qual distinzione ha perduto alquanto il suo significato reale nella recente riforma atomistica della Fisica. Ma, tuttavia, questa maniera di designazione è ormai tanto radicata ed offre nel tempo stesso tanta comodità per l'esposizione dei fenomeni, che fin qui non è stato possibile fare a meno di adattarla alle nostre moderne teorie. Se, dunque, anche qui ci serviamo di questo concetto, si ricordi però che deve considerarsi solo come una espressione convenzionale per facilitare lo studio dei fenomeni, come quando si dice che il Sole si leva o tramonta, mentre tutti sanno benissimo che il Sole sta fermo rispetto a noi, e che la Terra ruotando si muove in verso contrario.

Si chiama elettricità «positiva» quella del vetro strofinato, «negativa» quella della ceralacca. Si possono ordinare le varie sostanze in una serie cosiffatta, che ciascuna di esse prende lo stato elettrico positivo, strofinata con una di quelle che seguono, e quello negativo, strofinata con una di quelle che precedono. Così è la scala seguente:

+ Vetro, lana, seta, legno, metalli, ambra, gomma, zolfo, mastice, ceralacca. – La serie comincia col corpo che è prevalentemente positivo e finisce con quello più negativo. I due stati elettrici sono originariamente collegati e come complementari, cioè sempre si generano insieme. Per esempio, nello strofinamento di vetro con seta entrambi questi corpi si elettrizzano, l'uno positivamente, l'altro negativamente. Se invece strofiniamo con questa seta una bacchetta di caoutchouc, la seta si elettrizza positivamente, essendo la gomma, nella scala, più vicina all'estremo negativo. Ci troviamo qui di fronte a un fenomeno analogo a quello del paramagnetismo e diamagnetismo. L'elettricità positiva e negativa non sono proprie stabilmente a un corpo piuttosto che ad un altro, ma sono soltanto fenomeni relativi.

Nella nostra scala figurano anche i metalli. Giudicando dalla loro posizione se ne dovrebbe dedurre che, per esempio, un'asticella di ottone strofinata con lana debba elettrizzarsi negativamente. Ordinariamente, invece, non avviene così e nessun metallo presenta fenomeni elettrici quando venga strofinato nella solita maniera con qualsiasi sostanza. A questo riguardo è evidentissima per il ferro la differenza tra elettricità e magnetismo. Qui, peraltro, è da fare una osservazione importantissima relativamente ai metalli, o più generalmente alle molte altre sostanze che nelle condizioni ordinarie, come i metalli, non si elettrizzano coll'attrito, per cui risulta una differenza sostanziale fra questi corpi e gli altri della serie.

Se si fissa una palla metallica ad una colonnetta di vetro, in modo che, soltanto per mezzo di questa, sia sostenuta, e si sfrega con una coda di volpe, senza mai toccare la palla con le mani, questa si elettrizza negativamente. Questo stato elettrico, però, sparisce subito appena si tocchi la palla con un dito o si metta in comunicazione col suolo mediante un filo metallico; viceversa, mantiene il suo stato elettrico se posta a contatto con uno dei corpi che abbiamo già visto elettrizzarsi subito, come il vetro, ecc. Una palla di vetro, invece, non perde la sua elettricità con tale contatto o conduzione, o la perde solo nel punto del contatto stesso. Si è spiegato questo fatto, ammettendo nei corpi un diverso potere conducente per l'ipotetico fluido elettrico di cui già abbiamo parlato. Si ammette cioè, che tutti i corpi si elettrizzino ugualmente mediante l'attrito, ma che lo stato elettrico, nel vetro, nella seta, nell'ambra, ecc. non possa diffondersi e propagarsi, e perciò rimanga nel punto in cui fu generato. I metalli invece hanno la proprietà di lasciare espandere immediatamente l'elettricità su tutta la loro massa. Tenendo un'asta metallica in mano, l'elettricità prodotta e comunicata dall'asta passa attraverso al corpo umano e quindi va nel suolo, essendo asta, mano e terreno *conduttori* dell'elettricità. I metalli sono detti, per eccellenza, *conduttori*; gli altri corpi, *isolanti*. In questi ultimi l'elettricità rimane dove fu prodotta, nei primi, invece, vi rimane solamente se essi sono isolati dal terreno per mezzo dei corpi non conduttori, e in queste condizioni i metalli si comportano come tutti gli altri corpi. Si posso-

no in essi provocare le due specie di elettricità o trasmetterle loro mediante il contatto e si dice allora che si caricano. Così, si osserva, che due pezzi di metallo caricati ugualmente si respingono; e questo fenomeno si utilizza per riconoscere anche minime quantità di elettricità, coll'aiuto dell'*Elettroscopio a foglie d'oro* (fig. 264). In una sfera di vetro vuota stanno sospese ed isolate due piccole striscioline di foglia d'oro, le quali per mezzo di un'asticella metallica sono in comunicazione con una piccola pallina, pure di metallo, posta all'esterno del recipiente. Se si tocca questa pallina con un corpo elettrizzato, le due foglioline si caricano di elettricità dello stesso nome e, quindi, si respingono a vicenda, allontanandosi come i due lati di un angolo, per ricadere lentamente dopo un poco. La grandezza di questo spostamento fornisce una misura della quantità di elettricità comunicata alla pallina.

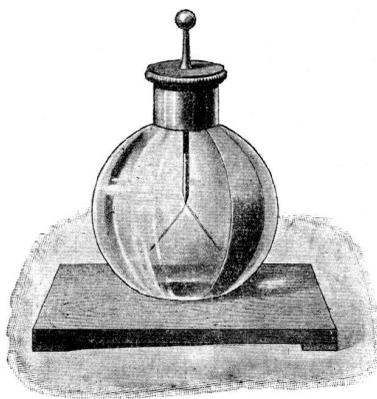


Fig. 264. – Elettroscopio.

Prendiamo ora una palla metallica isolata, cioè un corpo conduttore, ed elettrizziamolo. Avviciniamo a questo un altro conduttore di forma allungata, come il cilindro che si vede nella fig. 264; osserveremo allora che questo, anche senza toccare il primo, si elettrizza, come è provato dalle coppie di palline che da entrambe le parti si respingono. Ma l'elettrizzazione appa-

risce diversa alle due estremità.

Se la sfera a cui è stata accostata è carica positivamente, la parte del conduttore rivolta a questa si elettrizza negativamente, e l'altra opposta, positivamente, come la sorgente. Se quest'ultima si allontana, subito il conduttore perde tutta la carica. Questo fenomeno è insomma identico a quello che nel magnetismo abbiamo chiamato «influenza» e perciò anche qui parleremo di «influenza elettrica». Per essa, un corpo, a differenza di quelli che elettrizzati direttamente accolgono una sola specie di elettricità, ha proprio tutte le qualità caratteristiche di un magnete, il quale, in questo caso, si rivela non solo sul ferro, ma in ogni sostanza conduttrice, e, inoltre, perde subito questa proprietà col contatto. Un'altra analogia ancora si ha nel fatto, che così nell'elettricità come nel magnetismo, l'azione *diminuisce col quadrato della distanza*, come dimostrò il Coulomb.

Circa all'influenza elettrica, sul principio si credette che all'interno di ogni corpo le due specie di elettricità si trovassero insieme unite e perciò fossero inattive. Poichè le elettricità di nome

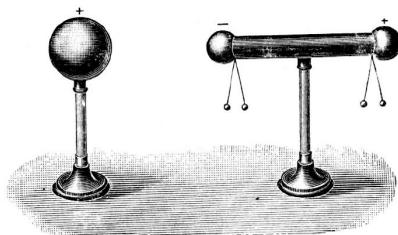


Fig. 265. – Influenza elettrica.

uguale si attraggono e quelle omonime si respingono, si credeva che esse per l'azione a distanza di un corpo elettrizzato si dividessero nel conduttore, così da formare in esso dei poli. Si potrebbe, ora, al posto di questa teoria, porre la nostra dei vortici magnetici; ma noi vo-

gliamo acquistare ancora altre cognizioni sopra questa meravigliosa energia, prima di entrare a studiarne l'essenza e la natura in ordine ai nostri concetti atomistici fondamentali.

Dalla divisione delle elettricità in un conduttore provocata dall'influenza, l'attrazione tra il conduttore e il corpo elettrizzato influenzante viene aumentata, e se è possibile, il conduttore soggetto all'influenza si fa incontro al primo con moto accelerato; ma appena ha toccato il corpo elettrizzato influenzante si carica subito, per conduzione,

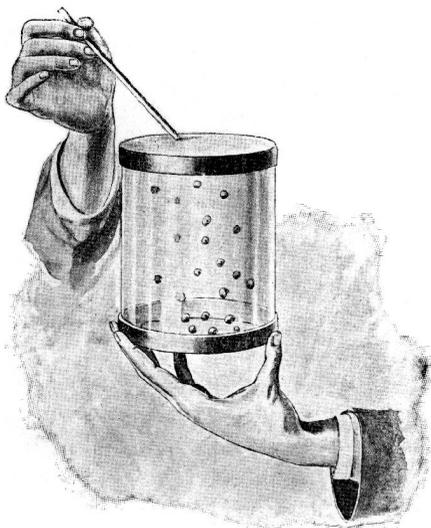


Fig. 266. – Danza elettrica.

della elettricità di questo, e allora ne è respinto. Se poi è posto in contatto col suolo, perde nuovamente la sua carica, ed allora il corpo isolato torna ad attrarlo, per poi respingerlo di nuovo e così via. Su questo principio è basato uno dei tanti giochetti elettrici. Si prende un cilindro di vetro con due coperchi di metallo sopra e sotto (fig. 266), contenente alcune palline leggiere. Tenendo in mano il cilindro della base inferiore in modo da lasciar isolato il coperchio metallico di sopra, e elettrizzando quest'ultimo, le palline cominceranno una vivace danza tra i due coperchi metallici, fino a che tutta l'elet-

tricità di quello superiore non sia da esse condotta a quello inferiore, e di qui poi, attraverso al corpo umano, dispersa nel suolo.

Convien dire, ora, che i concetti di conduttori e isolatori elettrici sono da considerarsi come relativi; si tratta invero di diverso grado di conduttività, ossia di conduttori più o meno buoni. L'aria è un mezzo isolatore eccellente, per quanto non perfetto; se così non fosse, non sarebbe possibile di avvertire quasi alcun fenomeno elettrico, poichè l'aria ricondurrebbe subito nella grande riserva della Terra ogni quantità di elettricità che si fosse potuta raccogliere sopra i corpi. Invece, tale dispersione avviene lentamente, come si vede dalle foglie d'oro dell'elettroscopio che anche senza alcun contatto, un poco per volta si richiudono. Il potere isolante, come quello conducente, possono esser soggetti a variazioni anche nel medesimo corpo. Così l'aria riscaldata diventa conduttrice, e basta porre un elettroscopio carico sopra una fiamma per scaricarlo subito. Similmente, l'aria rarefatta è fino a un certo grado conduttrice, mentre il vuoto assoluto è di nuovo isolante. L'acqua ordinariamente è un buon conduttore, ma se si libera di qualunque materia eterogenea purificandola, diventa quasi isolante. A questo proposito si potrebbero ricordare parecchi fenomeni che ancora non possiamo spiegare.

Le cognizioni fin qui acquistate ci mettono già in grado di costruire degli apparecchi atti ad accumulare quantità maggiori di elettricità, molto maggiori di quelle che si possono ottenere mediante il semplice attrito eser-

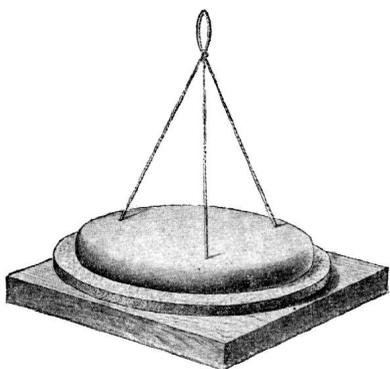


Fig. 267. – Elettroforo.

citato a mano. Una delle forme più antiche di tali generatori di elettricità è l'*elettroforo* (fig. 267). Esso consiste di un disco di resina distesa in una forma metallica, come una schiacciata; sopra questa schiacciata, e senza toccare il piano metallico inferiore, è appoggiato un coperchio metallico che può esser sollevato con fili di seta. Strofinando la resina con la coda di volpe si elettrizza negativamente. Allora il metallo inferiore si elettrizza, per influenza, positivamente, mentre l'elettricità negativa si disperde per il contatto col suolo. Poichè, ora, le due elettricità di nome diverso, della focaccia e dell'armatura metallica, tendono ad avvicinarsi reciprocamente e sono come legate, la carica che si disperde nel contatto della resina con un conduttore è ben poca; e quindi il disperdimento nell'aria è piccolo, e l'elettroforo rimane carico lungamente. Se ora si pone il coperchio metallico sulla focaccia, sarà sempre poca l'elettricità trasmessagli direttamente, perchè i punti di contatto tra due superficie non levigate con grande cura sono sempre relativamente pochi, quindi anche il coperchio si elettrizzerà per influenza. Toccando con un dito questo coperchio superiormente, mentre è sempre sopra la resina, se ne toglierà l'elettricità negativa accumulata alla sua superficie superiore, e quindi alzandolo coi fili di seta, lo tro-

veremo carico positivamente. Si può allora trasmetterne la carica sopra un altro conduttore, e così ripetere l'operazione indefinitamente, perchè l'elettrizzazione del disco metallico mobile avviene per influenza e non per conduzione diretta; e la resina disperdendo all'esterno soltanto poca elettricità, la carica dell'elettroforo si conserva per lungo tempo quasi invariata.

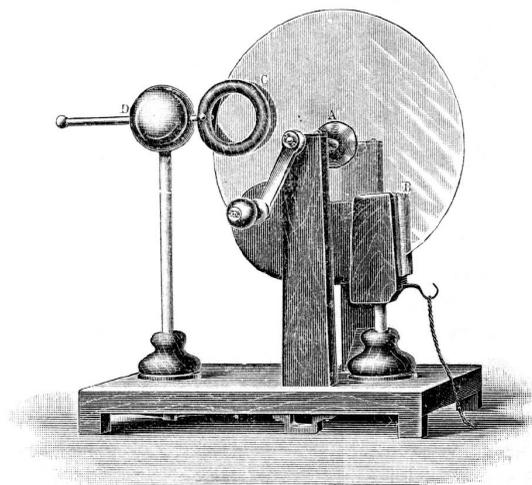


Fig. 268. – Macchina elettrica.

vetro che gira intorno ad un asse con movimento continuo, e che passa strisciando tra due cuscinetti di cuoio (fig. 268). La carica che si produce nel disco di vetro A viene portata nella rotazione fra le punte di un doppio pettine C che sfiora dappresso il disco e trasmette poi l'elettricità al conduttore isolato D. Per la stessa ragione che l'armatura nell'elettroforo, il cuscinetto B deve essere in comunicazione col suolo. Un po' più complesso è il funzionamento della *macchina ad influenza*, nella

Per ottenere una continua produzione di elettricità, in modo da rinnovare quella che continuamente va perduta o viene utilizzata, si può ricorrere ad un attrito continuato, quale si ha nella *macchina elettrostatica*; la forma più pratica è un disco di

quale una piccola quantità di elettricità preesistente viene, come nell'elettroforo, utilizzata per un effetto di influenza; e di quella generata, solo una parte giunge al conduttore, mentre l'altra parte serve ad un più forte caricamento della macchina. Così, ad ogni rotazione, l'effetto si moltiplica e può raggiungere presto una grande intensità. L'elettricità che quasi sempre si trova nell'aria basta per lo più per mettere in azione la macchina. È notevole che in questa macchina non si ha alcuna sorta di attrito: un disco di vetro ruota davanti ad un altro che è fisso. Tuttavia, appena la macchina comincia ad eccitarsi ed a trasmettere sempre maggiori quantità d'elettricità, si nota che il disco rotante trova una resistenza maggiore, come se in realtà strisciasse su qualche cosa. Questa resistenza

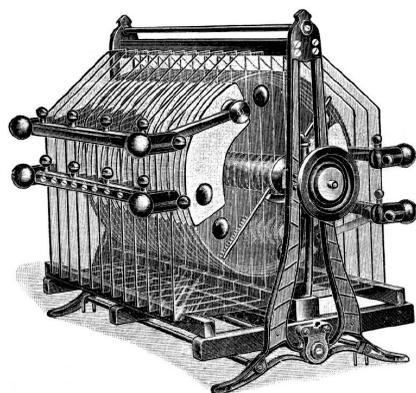


Fig. 269.

Macchina elettrica ad influenza. è data dalla attrazione reciproca fra le due elettricità dei dischi. La fig. 269 mostra una di queste macchine in cui agisce contemporaneamente una serie di dischi rotanti. Con tali macchine si possono accumulare quantità relativamente grandi di elettricità, e studiarne meglio gli effetti resi più intensi. E si tenga presente, che le macchine ad influenza forniscono, insieme, in eguale misura, le due specie di elettricità. Ma anche la semplice macchina elettrica a strofi-

nio, ci può fornire elettricità contraria a quella che si raccoglie sul conduttore, mettendo questo in comunicazione col suolo, e isolando i cuscinetti di cuoio.

Esaminando con attenzione un conduttore fortemente caricato, si osserva facilmente che tutta la carica si trova solamente alla sua superficie. La forza elettrica non va progressivamente diminuendo a poco a poco, coll'avvicinarsi al centro di una sfera omogenea, come avviene della gravità sulla sfera terrestre, ma proprio il solo strato esterno superficiale è elettrizzato.

L'esperienza della fig. 270 dimostra questo fenomeno. La sfera centrale è ricoperta esattamente dai due emisferi concavi laterali. Se si riuniscono tutti e tre i conduttori e si carica l'intera massa, quindi si scostano gli emisferi, come si vede nella figura, si trova che soltanto questi sono elettrizzati e non la sfera centrale. Perciò è inutile usare come conduttori palle metalliche piene; una palla vuota di dimensioni uguali ad una piena ha precisamente la stessa capacità elettrica. Si può spiegare il fatto, considerando che le elettricità dello stesso nome si respingono, e che in un conduttore carico si trova solamente una specie di elettricità. Se ci immaginiamo questo fluido elettrico come composto di tante piccole parti-

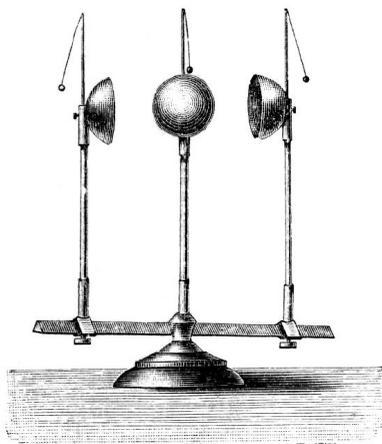


Fig. 270. – Distribuzione superficiale dell'elettricità.

celle mobili, si capisce che nelle condizioni date esse tendono ad allontanarsi tra loro quanto è possibile. La superficie esterna della sfera permette loro di assumere questa posizione di massima reciproca distanza. Esse dunque premono dall'interno all'esterno, e solo l'aria esterna isolatrice impedisce la loro ulteriore espansione.

Da queste considerazioni risulta pure che l'elettricità alla superficie dei conduttori si deve trovare in uno stato di tensione, e che le piccolissime particelle che si respingono tendono ad uscire dal conduttore e ne sono impedito dall'aria. Per capire questo stato di tensione ci si può immaginare la superficie del conduttore, composta di un gran numero di piccolissime molle a spirale, poste l'una accanto all'altra, che si impediscono reciprocamente di estendersi, mentre questa estensione diventa possibile per tutte insieme, accrescendosi la superficie sferica. Questo può bensì accadere dentro a un mezzo conduttore, ma l'aria offre una resistenza che solo lentamente può essere superata. L'intera superficie sferica agisce perciò come una membrana elastica tesa contro una resistenza; ma questa tensione avviene solo in minima parte tra le molecole della superficie metallica stessa, assai più invece tra le particelle di etere interposte. Per cui le azioni elettriche determinate da questa tensione si propagano dappertutto, oltre la superficie del conduttore, fin dove può penetrare questo etere. Si comprende che la grandezza della apparente azione a distanza che qui si genera, dipende dalla costituzione molecolare del mezzo interposto, come appunto dalla diversa

penetrabilità rispetto all'etere dipende il differente comportamento dei corpi conduttori e degli isolatori. Su queste importanti quistioni ritorneremo ancora in seguito.

L'immagine delle molle a spirale, per la spiegazione della tensione superficiale elettrica ci richiama subito a quei vortici eterei che oltre al magnetismo possono servire a spiegare anche altri fenomeni. Anche qui, però, noi non vogliamo entrare a fondo nella quistione, ma solo rappresentarci il modo di repulsione delle elettricità omonime. Perchè, ammesso questo fatto, tutti i fenomeni dell'elettricità statica possono essere matematicamente previsti e dimostrati.

I fisici, che come gli altri scienziati, hanno voluto dare alla scienza un carattere internazionale, e introdurre nel linguaggio scientifico parole universalmente comprese, hanno adottato per questo concetto la parola potenziale, invece di tensione. Anche noi non possiamo fare a meno di usarla, e d'ora in avanti diremo dunque *potenziale elettrico*. Troveremo anche qui le *superficie equipotenziali* e le *linee di forza*, concetti che stanno tra loro in rapporto strettissimo e ben determinato. Noi possiamo considerare come tensioni le forze che agiscono nell'etere. Nella direzione in cui è massima la tensione, è anche la direzione della forza che determina la tensione stessa. Movendoci lungo una linea di forza l'energia aumenta o diminuisce e perciò i corpi si muovono lungo le linee di forza. Le superficie potenziali si formano dal collegamento di quei punti delle linee di forza contigue,

nei quali l'energia è la stessa; esse sono dunque superficie di uguale tensione e devono, in corrispondenza alla loro definizione, essere normali alle linee di forza.

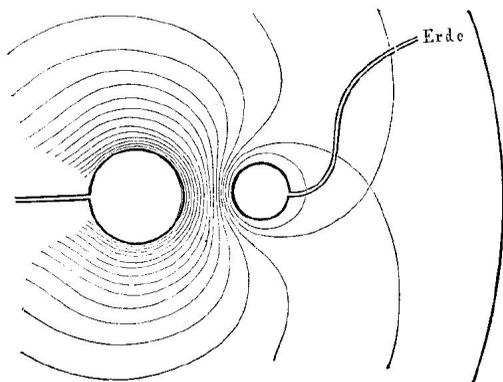


Fig. 271. – Linee equipotenziali.

Rappresentando la forza e la sua variazione con una certa unità, e segnando per ogni valore la corrispondente superficie equipotenziale, si vede che queste sono più vicine tra loro dove la forza è massima, e qui si dice

che si ha una maggior *caduta di potenziale*. In egual modo, le linee di egual pressione barometrica, le isobare delle carte meteoriche per la previsione del tempo, si possono considerare come superficie potenziali. Dove esse si addensano, verso un minimo di pressione, ivi si ha la massima caduta di potenziale, cioè un ciclone vorticoso in cui il vento avrà una velocità ed una forza grandissima. Nella fig. 271 abbiamo disegnato la sezione delle superficie equipotenziali intorno ad un conduttore elettrico, di fronte a cui sta un'altra sfera conduttrice in comunicazione col suolo. Si vede che le linee equipotenziali sono compresse nell'intervallo tra le due sfere; che la palla più piccola ha una sola linea potenziale che le appartiene esclusivamente; che vi ha inoltre una linea appartenente ad ambedue le sfere, la quale si

incrocia, e finalmente, che a maggior distanza le linee del conduttore maggiore lo circondano indisturbate. L'intera zona in cui si possono osservare e studiare queste linee costituisce il *campo elettrico*. Se le superficie equipotenziali, e perciò anche le linee di forza, sono parallele ed equidistanti si ha allora un *campo uniforme*. Per quella generale legge di meccanica, per cui tutto in

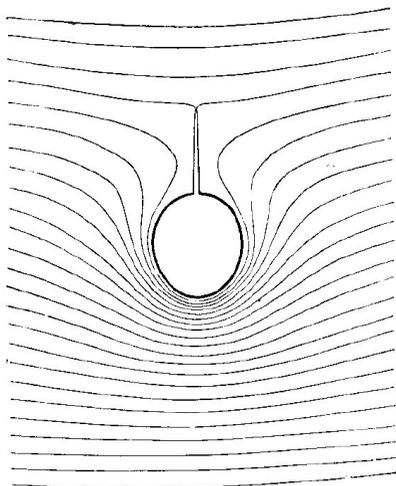


Fig. 272.
Conduttore con punta.

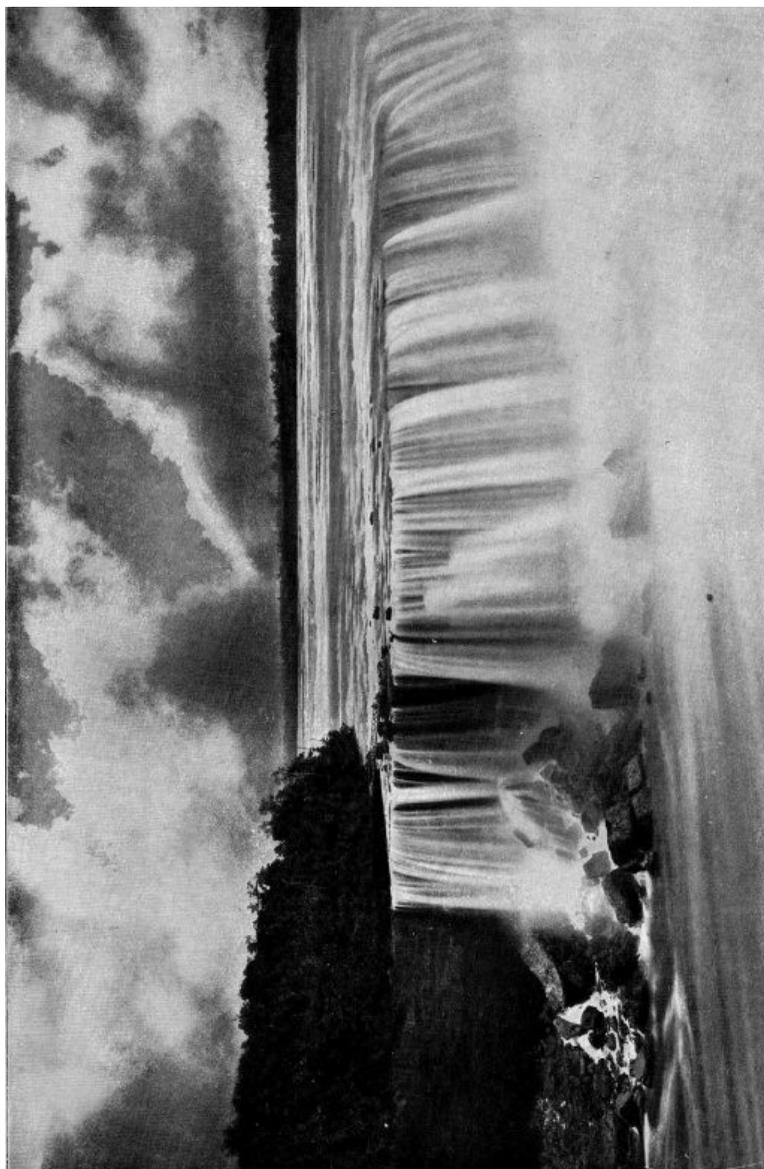
Natura tende a ritornare in equilibrio, un campo elettrico turbato da una qualunque causa tende a ritornare omogeneo. Quindi lo studio delle superficie equipotenziali ci fa prevedere tutto quello che avverrà nel campo elettrico per la spontanea azione delle forze, ed in questo consiste il valore pratico di questa teoria del potenziale. Portando ad es., una palla conduttrice munita di una punta, in un campo omogeneo, avremo

allora superficie equipotenziali disposte come nella fig. 272, ove sono rappresentate in sezione. Le linee, che prima erano parallele, si spiegano ora e si stringono intorno alla palla nella parte inferiore, mentre la punta non può quasi deviarle affatto. Le linee equipotenziali, chiamando così brevemente le intersezioni delle superficie, si possono considerare come fili elastici in tensione, i

quali, perciò, premono inferiormente sul conduttore spingendolo verso la parte della sua punta.

Inoltre si vede che la linea equipotenziale che passa per la punta, sparisce nella sfera stessa o meglio si continua nella sua superficie. Ciò significa che il conduttore ha precisamente il potenziale corrispondente a questa linea, ed una carica elettrica proporzionata a tal potenziale. Noi possiamo, dunque, mediante un conduttore provvisto di punta, esplorare un campo elettrico, e determinare in ogni suo punto il potenziale; e a ciò serve una unità particolare, il Volta, di cui si darà l'esatta definizione.

Se si vuole caricare un conduttore con la maggiore intensità possibile, bisogna procurare che la tensione elettrica alla sua superficie sia piccola ed uniforme; e ciò si ottiene dandogli forma di sfera, nel qual caso le superficie equipotenziali circostanti sono parallele fra loro. Ma se il conduttore porta un'appendice sporgente acuminata, le superficie equipotenziali si addensano e si stringono intorno a questa, la forza elettrica in quel punto diviene molto più forte, e potendo superare la resistenza dell'aria, determina un efflusso di elettricità, per cui la carica totale del conduttore diminuisce e quasi si annulla. In questo effluvio elettrico l'aria stessa viene trascinata in movimento, come se fosse respinta dalla punta, e ne nasce un soffio sensibile, il cosiddetto *vento elettrico*. Ed una stella di fili metallici appuntiti e piegati tutti dalla stessa parte, si mette a girare spinta dalla reazione dell'aria (fig. 273).



Cascata del Niagara.
(da una fotogr.).

Ma per avere con una grande carica una relativamente piccola tensione, bisogna ricorrere ai *condensatori*. Già una specie di condensatore lo abbiamo nel piatto dell'elettroforo formato dall'armatura metallica e dalla schiacciata resinosa. Ma il più semplice dei condensatori è il *Quadro di Franklin* (fig. 274), formato da una lastra di vetro sulle cui faccie sono attaccati due fogli di stagnola, lasciando un largo margine intorno. Caricandone l'uno con elettricità positiva, si elettrizza negativamente per influenza la superficie interna dell'altra; le due cariche contrarie si attraggono attraverso il vetro cercando di riunirsi, e il potenziale è diminuito dalla presenza delle cariche contrarie, cosicchè la *capacità* del conduttore è

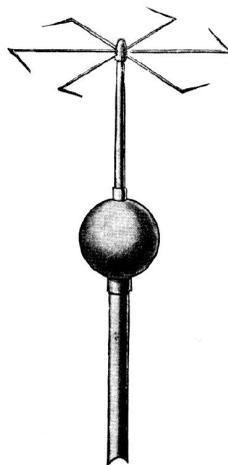


Fig. 273. – Mollino elettrico.

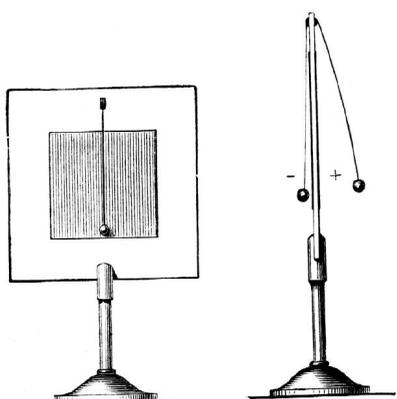


Fig. 274. – Quadro condensatore di Franklin.

aumentata; ossia, con un dato potenziale, esso raccoglie una carica molto più grande che se fosse solo e semplicemente isolato. Se portiamo a contatto delle due faccie metalliche due palline isolate, esse sono tosto respinte dalle cariche di eguale segno; ma se col dito si tocca la stagnola elettrizzata per influenza,

allora la pallina da quella parte ricade. Ma di nuovo è respinta se tocchiamo anche l'altra faccia. Nel contatto si disperde solo l'elettricità libera; la carica che rimane come legata per l'attrazione dell'altra, si diffonde poi come carica libera, quando con un nuovo contatto sia tolta anche l'altra.

Ai condensatori si suol dare per maggiore comodità la forma di recipienti, e costituiscono allora le cosiddette *Bottiglie di Leyda*. Si copre di stagnola la superficie

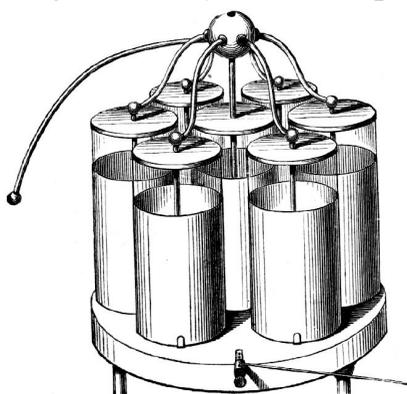


Fig. 275. – Batteria di condensatori.

esterna e interna della bottiglia, e si chiude con un tappo isolante traversato da un'asticella metallica che termina fuori con un bottone; il collo della bottiglia non viene elettrizzato, e, per il migliore isolamento fra le due superficie (armature) metalliche, si ricopre di vernice isolante. L'armatura

esterna si mette in comunicazione col suolo, l'interna si carica toccando col bottone il conduttore della macchina elettrica. Con più bottiglie riunite si ha una batteria di condensatori (fig. 275).

Con tali disposizioni si può accumulare una grandissima quantità di elettricità a tensioni che arrivano a centinaia di migliaia di Volta. Mettendo in comunicazione le due armature per mezzo di uno *scaricatore* (fig. 276),

per evitare una scossa pericolosa, si ristabilisce l'equilibrio con una forte scintilla che produce in pari tempo un repentino e rumoroso scotimento dell'aria. Come nella repentina contrazione di un corpo elastico, di una molla o dell'aria si produce calore, così, anche in questo equilibrio della tensione elettrica si produce calore, che si svolge principalmente nel tratto della più forte caduta di potenziale, producendo un così visibile effetto. Sul cammino percorso dalla scarica elettrica, l'aria diventa incandescente, e anche son trasportate e rese incandescenti particelle metalliche dei due conduttori fra cui la scintilla scocca. Di qui l'aspetto della scintilla, che non presenta allo spettroscopio altre linee se non quelle dell'aria e dei corrispondenti metalli. L'aria riscaldata si dilata repentinamente, producendo il rumore che accompagna il fenomeno.

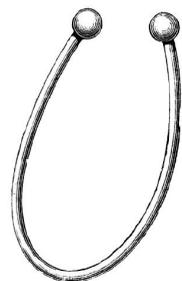


Fig. 276.
Scaricatore.

Il lampo non è altro che una scintilla elettrica di dimensioni straordinarie. Come si producano nell'atmosfera le tensioni elettriche necessarie a tali scariche, non sappiamo bene e non è il caso di occuparsene qui. Le scariche elettriche atmosferiche che avvengono fra le nubi temporalesche o fra queste e la terra, hanno spesso la lunghezza di più chilometri, mentre le più grandi scintille che noi possiamo ottenere dalle nostre macchine raramente giungono a 1 metro di lunghezza.

Nelle nubi temporalesche si raccolgono dunque enormi quantità di elettricità, e la scarica può anche non av-

venire tutta insieme in una volta; talvolta parecchie folgori si seguono lungo lo stesso cammino, come è provato da fotografie nelle quali si vede un nastro, largo anche 10 m., formato da scariche parallele (figura 277 e 278).

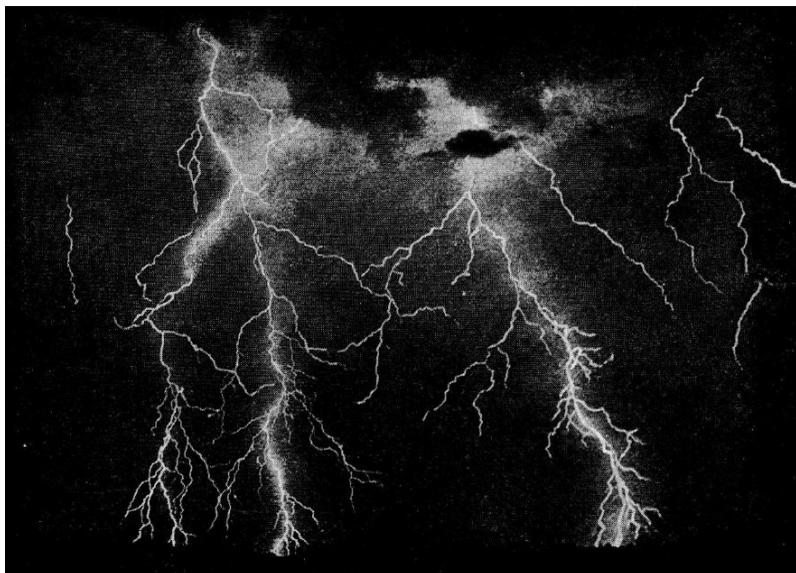


Fig. 277. – Lampi ramificati.

La molteplicità e ripetizione di queste scariche è provata anche dalla notevole durata del lampo, che talvolta arriva ad una non piccola frazione di secondo, mentre ogni singola scarica è così rapida, che i raggi di una ruota che giri velocissima, appaiono fermi se sono osservati nell'oscurità alla luce di un lampo. La rapidità del lampo è così conosciuta e proverbiale, che ci si può meravigliare di osservarne alcuni i quali durano un tempo misurabile.

Nè il lampo o il fulmine han sempre la tradizionale forma a zig-zag. Si vede talora tutta una nube infiammarsi, senza che un lampo la traversi o se ne parta: e si può collegare il fenomeno con quello delle *scariche diffuse*, di cui diremo più avanti. Più meravigliosi sono i *lampi globulari* lungamente considerati come favolosi. Durante i temporali sono stati molto raramente,

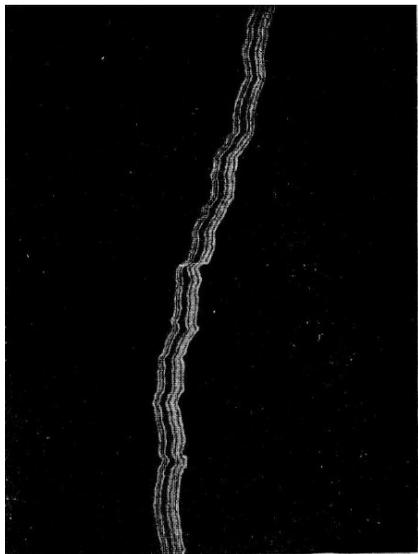


Fig. 278. — Folgore a nastro.

ma qualche volta indubbiamente osservati, presso terra, fra alberi o case, globi nebulosi, luminosi, animati da vivace movimento di rotazione e producenti un suono sibilante e crepitante, i quali si muovono con relativa lentezza in varie direzioni fino a che scoppiano, per lo più senza danno e senza lasciar traccia. Il fenomeno della folgore globulare è ancora misterioso: sembra dovuto a un vortice elettrico, come quelli che ci immaginiamo intorno ad un magnete.

Dalle cose dette prima, si intende facilmente l'azione protettrice del parafulmine. L'azione distruttiva o incendiaria del fulmine deriva dal fatto che la scarica è costretta a traversare quasi sempre cattivi conduttori, nei quali perciò produce un grande calore e quindi una esplosione che manda in scheggie il legno degli alberi

per la repentina vaporizzazione dell'acqua in esso contenuta. Nei buoni conduttori invece la scarica elettrica produce solo un moderato calore, e questi anche sceglie di preferenza, diventando per lo più innocua. Ma il parafulmine ha anche un'azione preventiva. Noi abbiamo già veduto, come l'elettricità sfugge dalle punte più facilmente che dai corpi a superficie piana o tondeggiante. Ora, durante il temporale non solo le nubi sono elettrizzate, ma anche la terra, per influenza e con carica opposta; e il fulmine scoppia nei punti dove maggiori cariche contrarie stanno di fronte e maggiore è la tensione. Per l'azione della punta del parafulmine, una buona parte della carica elettrica della terra sfugge, e la tensione non può quindi arrivare ad esser così grande: sull'edificio protetto dal parafulmine il fulmine non cadrà, o in ogni caso la sua intensità sarà diminuita e passerà senza danni per il conduttore che discende al suolo.

Talvolta, nei temporali notturni, la dispersione elettrica sulle punte dei parafulmini si rende visibile con effetto magnifico, cioè con l'apparenza di pennacchi luminosi azzurri o rosei, sovrastanti talvolta anche alle vette degli alberi, ai comignoli degli edifici o alla sommità delle montagne. *Fuoco di Sant'Elmo* è stato chiamato questo magico fenomeno che talora sugli alti monti si osserva anche di giorno e a cielo chiaro, poichè l'aria è sempre elettrizzata, e la sua tensione varia continuamente; e l'equilibrio con la terra può farsi per mezzo dell'azione delle punte, specialmente nelle alte regioni dell'atmosfera, anche prima che la tensione elettrica salga fino

al punto da determinare un temporale, per la cui formazione son necessarie anche altre condizioni. La fig. 279 mostra il fenomeno del Fuoco di S. Elmo come fu osservato all'Osservatorio sopra il *Sonnblick*.

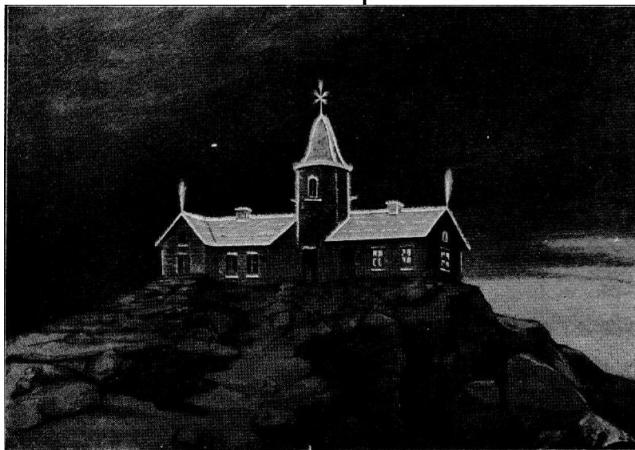


Fig. 279. — Fuoco di S. Elmo.

Si sa che il fulmine percorre la sua traiettoria con velocità grandissima. Ma questa velocità è misurabile? Ossia, quanto tempo dura

una scintilla elettrica? Si possono, a questo proposito, citare diverse esperienze in cui una scarica è fatta passare per un lungo conduttore interrotto in più punti, cosicchè la scintilla scocca in parecchi punti: se fra due interruzioni è interposto un lungo tratto del conduttore, per esempio un lungo filo, debbono allora le due scintille avvenire in tempi diversi, con una differenza corrispondente al tempo impiegato dall'elettricità a percorrere il filo. Apparentemente le due scintille si producono insieme; ma come già abbiamo fatto per misurare la velocità della luce, se si fa uso di uno specchio girante, per mezzo del quale la differenza di tempo fra le due scintille si rende visibile per lo spostamento delle loro immagini, e

perciò anche misurabile dalla velocità di rotazione dello specchio, si trova, cosa meravigliosa e notevolissima, che l'elettricità ha quasi la stessa velocità della luce. Fra le due energie fisiche così apparentemente diverse, vi deve essere dunque una relazione, che cercheremo poi di conoscere più chiaramente, mentre ora continuiamo, senza pensare a questo, le nostre ricerche e considerazioni sui fenomeni elettrici.

Anche le piccole folgori che artificialmente possiamo produrre coi nostri apparecchi, spiegano una notevole azione distruttiva: forano lastre di vetro abbastanza spesse, spezzano e accendono il legno, e ci possono anche, come veri fulmini, toglier la vita quando passino traverso al nostro corpo.

La lunghezza della scintilla dipende dalla tensione elettrica, ossia dalla differenza di potenziale elettrico fra i due conduttori, quando questi abbiano eguale forma, e può quindi servire a misurare questa differenza. Così per esempio, si trova, che nell'aria fra due sferette di un centimetro di diametro, guizza una scintillina di 0,1 mm., quando la differenza di potenziale giunge a 1000 Volta: per avere una scintilla di 1 mm. ci vogliono quasi 5000 Volta, e 25.000 per

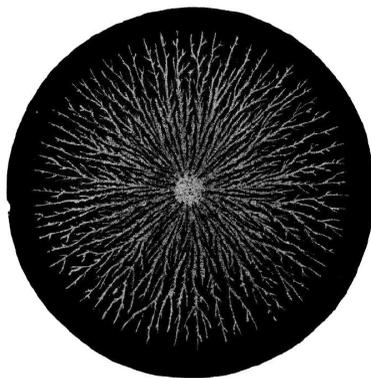


Fig. 280.

Figure del Lichtenberg.

averne una di 8 mm. Quanti Volta ci vorrebbero per avere un fulmine?

È interessante di ricordare, che le due diverse specie di elettricità danno aspetto diverso alla scarica. Se questa colpisce un disco isolante di vetro, si può osservare che l'elettricità positiva si diffonde sulla superficie in forma di una stella, con raggi ramificati e suddivisi, mentre la negativa dà una macchia irregolare, nebulosa: son queste le cosiddette Figure di Lichtenberg (fig. 280) che compariscono soffiando sul disco la polvere elettroscopica di zolfo e minio. Invero, quando la scarica ha una sola direzione, questi diversi caratteri delle due elettricità debbon comparire, e possiamo spiegarceli in maniera analoga a quella seguita per la polarità magnetica, cioè con la direzione dei vortici magnetici. Vedremo ancora più notevoli differenze fra le due elettricità.

La durata della scintilla è assai maggiore del tempo impiegato dalla corrente di scarica a percorrere i conduttori: si può misurare per mezzo del solito specchio girante e si trova così che una piccola scintilla di 1 cm. dura sempre 42 milionesimi di secondo; vale a dire che in un secondo potrebbe percorrere quel tratto 42 milioni di volte. Ma questo numero corrisponde solo a poche, centinaia di chilometri al secondo, di fronte ai 300 mila chilometri di velocità dell'elettricità e della luce. L'aspetto della scintilla quale apparisce nello specchio rotante, ci può dare ragione di questa differenza. Si vede (fig. 281) che l'immagine allungata nello specchio è formata di tante immagini successive separate, per cui, in

conformità di altri fenomeni, dobbiamo concludere che la *scarica è oscillante*, ossia che l'equilibrio fra i due conduttori non avviene subito, ma dopo diverse oscillazioni: la prima scarica produce un eccesso di carica dalla parte opposta, cioè uno squilibrio contrario, che determina una scarica contraria, e così via. Il fenomeno è paragonabile a quello di una molla elastica piegata, che liberata ad un tratto, oscilla per un certo tempo prima di prendere la posizione di equilibrio. E l'analogia va ancora più oltre. Una molla lungamente tesa e poi lasciata libera, non riprende subito esattamente la sua posizione e forma di equilibrio, ma rimane leggermente deformata per un certo tempo, conservando un



Fig. 281. – Fotografia di una scintilla oscillante.

residuo di tensione, e solo a poco a poco riprende la posizione primitiva. Similmente si osserva, che una bottiglia di Leyda fortemente caricata non si scarica completamente; ma dopo la scarica si ritrova leggermente carica, tanto da poterne trarre una piccola scintilla, e anche, dopo, una terza e una quarta.

Per le ulteriori indagini sulla natura dell'elettricità, è utile esaminare più da vicino le relazioni fra isolatori e conduttori. Il fatto che gli uni e gli altri si elettrizzano con l'attrito, sembrerebbe indicare che non vi siano fra loro differenze sostanziali. Ma, dall'altra parte, è notevolissimo, che la forza elettrica emanante da un corpo elettrizzato traversa quasi indisturbata le sostanze iso-

lanti, mentre un conduttore l'arresta come uno schermo. Perciò i corpi isolanti son detti anche *dielettrici*; infatti, essi sono penetrabili, *trasparenti* per le forze elettriche, mentre i conduttori sono *opachi*, e i fenomeni che presentano sono analoghi a quelli della riflessione. Noi ci siamo proposti di seguire attentamente queste analogie fra l'elettricità e la luce; e perciò vogliamo indagare un po' più profondamente le proprietà dei dielettrici, che presentano a questo riguardo un grande interesse.

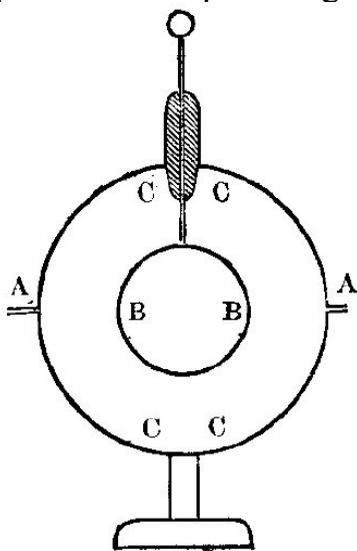


Fig. 282.

Condensatore sferico.

Anche queste ricerche furono iniziate da Faraday, il quale adoperò un condensatore sferico formato di due sfere concentriche (fig. 282). Caricandolo con una determinata quantità d'elettricità, mentre lo spazio fra le due armature era occupato dall'aria, e ripetendo poi l'operazione dopo aver sostituito all'aria un'altra sostanza isolante, per esempio lo zolfo, osservò che l'azione del condensatore era diversa; o in altri termini, si richiedevano

diverse quantità d'elettricità per portare l'armatura interna del condensatore ad un dato potenziale, a seconda della natura dello strato isolante. Questa proprietà delle varie sostanze isolanti è misurata dalla loro costante dielettrica: ora l'esperienza dimostra, che *questa costante*

dielettrica K è uguale al quadrato dell'indice di rifrazione. Questa intima e semplice relazione fra due fenomeni apparentemente così diversi, ci mostra chiaramente, che la costituzione molecolare dei dielettrici esercita una medesima influenza e sulle loro proprietà ottiche e su quelle elettriche.

Abbiamo, a suo luogo, dato l'espressione matematica della *Rifrazione molecolare*, che è indipendente dalla pressione e dalla temperatura, e quindi dalle distanze molecolari: e in conformità di questo si trova che il valore $R = \frac{1}{d} \cdot \frac{K-1}{K+2}$ dove d è la densità della sostanza,

è una costante dipendente dalla interna struttura molecolare; e si dimostra ancora che il rapporto del volume delle molecole allo spazio da esse occupato, è espresso da

$$\frac{K-1}{K+2} .$$

Nessun dubbio, dunque, che i fenomeni elettrici sono strettamente connessi con le qualità dei dielettrici, ma qualche altra osservazione mostrerà questa relazione in maniera anche più evidente. Si disponga un condensatore del tipo del Quadro di Franklin, in modo da poter allontanare dal vetro le due armature metalliche, mentre il condensatore è carico, e poi scarichiamole ambedue completamente; riportandole a contatto del vetro osserveremo che si ricaricano di nuovo. L'energia elettrica non risiede dunque nel conduttore il quale non altro fa che guidarla, ma nel dielettrico, o meglio nell'etere che

penetra tutte le sostanze; ma questa compenetrazione è maggiore nei dielettrici che nei conduttori. Sopra questi si forma uno strato di etere, il quale è la vera sede dei fenomeni elettrici che apparentemente sembrano provenire dalla superficie dei corpi: non è quindi propriamente elettrizzato il conduttore, ma solo lo strato eterico che ad esso aderisce.

La stretta relazione fra i fenomeni ottici ed elettrici è anche dimostrata dalle curiose e sorprendenti proprietà della tormalina, i cui complicati cristalli già ci han servito per la polarizzazione della luce. La fig. 283 ci mostra un prisma esagonale di tormalina smussato sopra e sotto in diversa maniera. Se si riscalda uno di questi cristalli, esso nel raffreddarsi si elettrizza, e, come un pezzo di vetro strofinato attira i piccoli corpi; ma, ciò che è più notevole, le due estremità del cristallo si mostrano elettrizzate contrariamente. E simili fenomeni elettrici compariscono, se il cristallo invece di essere riscaldato e raffreddato viene compresso; abbiamo insomma in questi cristalli fenomeni detti di piro-elettricità e di piezo-elettricità (Elettricità di pressione) analoghi a quelli che abbiamo già trovato per il magnetismo, ed analoghi anche all'influenza che ha la pressione sulla rifrazione nei cristalli.

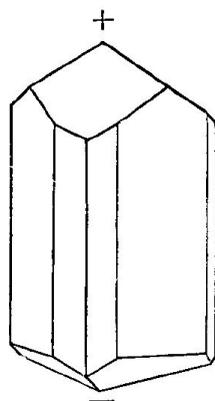


Fig. 283. – Elettricità della Tormalina.

I fisici Riecke e Voigt di Göttingen hanno studiato teoricamente e sperimentalmente i fenomeni elettrici dei

cristalli; in conclusione, si può dire, che in essi le tensioni elettriche coincidono o son connesse con le tensioni elastiche molecolari, da cui dipende la forma e la struttura interna del cristallo. Da questa interna struttura che si rivela nelle magnifiche immagini colorate, generate dalla luce polarizzata nelle sezioni cristalline, dipendono anche similmente le proprietà elettriche. E poichè queste determinano forze attrattive le cui direzioni coincidono con le linee geometriche del cristallo, così deve avvenire che un cristallo, una volta formatosi, agirà sulle molecole circostanti, attirandole secondo leggi geometriche particolari, e così ingrosserà regolarmente nella sua forma caratteristica. Si può dunque dire che il fenomeno della cristallizzazione è di natura elettrica.

d) La corrente elettrica.

I fenomeni elettrici e magnetici dei quali ci siamo fin'ora occupati, non sono quelli che han fornito le svariate e meravigliose applicazioni tecniche per cui oggi l'elettricità ha acquistato tanta importanza fra le forze naturali, rispetto alla vita e alle relazioni umane. Tutte queste mirabili applicazioni le dobbiamo alla *corrente elettrica*, fenomeno scoperto per caso fortuito, nel 1789, dal medico bolognese Galvani e dalla sua consorte (fig. 284). Le contrazioni di una rana morta e scorticata, collocata presso una macchina elettrica in azione, e quelle di un'altra rana appesa, senza intenzione alcuna, ad una ringhiera di ferro, per mezzo di un filo di rame, furono il

picciol seme del telegrafo, del telefono, della luce elettrica, in una parola del grande e complesso organismo costituito oggi dalla Elettrotecnica.

Le forze elettriche sono in natura forze occulte, e dovemmo attendere che il caso ce le rivelasse. Soltanto allora fu possibile allo spirito umano indagatore, da quei minuscoli effetti delle forze misteriose che si erano tradite, di esperienza in esperienza, di deduzione in deduzione, ottenere fenomeni sempre più nuovi, sempre più grandi, che oggi costituiscono un glorioso monumento dell'intelligenza umana trionfatrice.

Ancora oggi, in omaggio a quel primo caso felice, si suol ripetere l'esperienza della rana di Galvani, sebbene le nostre macchine elettriche ci possano dare effetti che sono un milione di volte più grandi. Si congiunge una striscia acuminata di rame con un'altra simile di zinco, mediante un filo metallico qualunque; e con le estremità dell'arco metallico così formato, si toccano i nervi lombari e i muscoli della gamba di una rana morta e scorticata di fresco, e collocata sopra una lastra di vetro. Come al contatto di una bacchetta magica, l'animale sembra riacquistare la vita. Probabilmente il Galvani

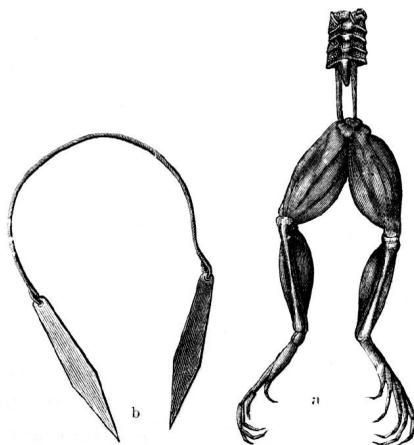


Fig. 284.
L'esperienza del Galvani.

non avrebbe sospettato la natura elettrica del fenomeno se contemporaneamente non avesse fatto altre osservazioni con la macchina elettrica; poichè le stesse contrazioni si osservano anche quando si tocca la rana con la ceralacca strofinata, ovvero quando si cavano scintille da una macchina elettrica vicina.

Noi non dobbiamo ora fermarci sulla parte fisiologica del fenomeno: ci basti l'apprendere, che ogni muscolo di corpo vivo, o anche morto purchè non seccato o alterato, si contrae per l'azione di una corrente elettrica, anche debolissima, e perciò la rivela. Se nel nostro corpo, con un semplice arco di zinco e rame non osserviamo simile effetto, ciò avviene perchè quella piccola quantità d'elettricità si disperde in un conduttore troppo grande. Ma una sensazione non dubbia possiamo provarla se con le due estremità dell'arco bimetallico tocchiamo la nostra lingua, come abbiamo già descritto nell'Introduzione. E l'eccitazione elettrica dei nervi può anche darci ad occhi chiusi un'impressione di luce.

Ma il Galvani non seppe trovare la vera spiegazione della sua esperienza; non seppe cioè vedere che la causa del fenomeno stava tutta nel contatto dei due metalli diversi. Questo lo vide chiaro il Volta, a cui spetta indubbiamente tutto il merito della scoperta dell'*elettricità di contatto*, che condusse alla costruzione della pila.



Fig. 285.
Elettroscopio con-
densatore.

Se un elettroscopio a foglie d'oro (fig. 285) si fa terminare superiormente con un disco di rame, invece che con una sferetta, e sopra questo si appoggia un simile disco di zinco provvisto di un manico isolante, si osserva nelle foglie una carica elettrica, quando si allontanano i due dischi come mostra la figura. Con due dischi di zinco o di rame l'esperimento non riesce. Invece riesce ancora, quando i due dischi di rame e zinco son separati da un sottile strato isolante di vernice, purchè, prima di allontanarli, li mettiamo in comunicazione metallica nelle due parti non verniciate, come si vede nella (fig. 286); il che ci fa vedere, che il fenomeno non dipende dalla estensione della superficie di contatto.

Il semplice contatto può dunque generare elettricità, come l'attrito, per quanto in assai minor quantità: nè ciò deve sorprenderci se ricordiamo le nostre ipotesi sulla costituzione della materia. Noi dobbiamo credere, che fra le molecole veri contatti non possono mai aver luogo, e neppure, perciò, attriti, e considerare i fenomeni elettrici

Se un elettroscopio a foglie d'oro (fig. 285) si fa terminare superiormente con un disco di rame, invece che con una sferetta, e sopra questo si appoggia un simile disco di zinco provvisto di un manico isolante, si osserva nelle foglie una carica elettrica, quando si allontanano i due dischi come mostra la figura. Con due dischi di zinco o di rame l'esperimento non riesce. Invece riesce ancora, quando i due dischi di rame e zinco son separati da un sottile strato isolante di vernice, purchè, prima di allontanarli, li mettiamo in comunicazione

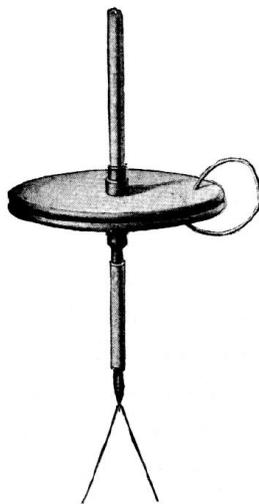


Fig. 286.
Elettricità di contatto.

come tensione dell'etere fra le molecole dei corpi. Questa tensione non si rivela quando, come d'ordinario, c'è l'equilibrio fra lo spazio interno e l'esterno: ma quando facciamo penetrare, più o meno, le molecole di un corpo nello spazio intramolecolare di un altro, allora l'equilibrio sarà turbato, se i movimenti delle due specie di molecole son diversi, ossia se sono diversi i due corpi. Allora appunto si produrranno i fenomeni elettrici.

Questa penetrazione di molecole deve avvenire non solo nell'attrito, ma anche nel semplice contatto, sebbene in minor grado, come è confermato dall'esperienza.

Si potrebbe perciò credere che da questa elettricità di contatto non potessimo aspettarci fenomeni diversi nè più intensi di quelli che si ottengono dall'elettricità di attrito; mentre invece a quest'ultima dobbiamo i fenomeni elettrici più importanti e più grandiosi, quelli notissimi per cui oggi l'energia elettrica è utilizzata in tante maniere e si è in parte sostituita all'energia del vapore. L'apparente contraddizione si spiega subito, considerando che, mediante questo semplice contatto di due conduttori, si forma una macchina elettrica debole ma sempre attiva, dalla quale si può ricavare senza interruzione l'una o l'altra elettricità: una simile macchina è paragonabile ad una sorgente piccola ma perenne, che può quindi col tempo riempire anche un grande serbatoio.

Per prima cosa cercheremo di aumentare le cariche elettriche ottenute col contatto, per studiarne meglio le proprietà. L'aumento delle superficie di contatto sappia-

mo già che non servirebbe al nostro scopo, che si ottiene, invece, interponendo fra i metalli un liquido conduttore. Sopra un disco di rame collocheremo un disco di carta sugante imbevuta di acqua salata, e, sopra questa, un disco di zinco, formando una cosiddetta *coppia voltaica*, la quale da sola dà un debole effetto; ma, sovrapponendo parecchie di tali coppie o elementi, formeremo una colonna, cioè la famosa *pila di Volta* (fig. 287), che dà effetti tanto più grandi quanto maggiore è il numero degli elementi, perchè la tensione elettrica dell'uno si trasmette all'altro accrescendosi via via nei contatti successivi. Attaccando due fili metallici al primo disco di rame e all'ultimo di zinco, e avvicinandone le estremità, si otterranno delle piccole scintille.

Sullo stesso principio è costruita la *pila secca di Zamboni*, formata da tanti piccoli dischi di carta dorata e argentata, alternati, con le faccie metallizzate a contatto. Il falso oro è in parte formato di rame, e l'argento di stagno e zinco; la carta che rimane fra mezzo assorbe umidità dall'aria e funziona abbastanza bene come conduttore. Una pila così fatta è invero debolissima, ma ha una durata quasi illimitata, senza richiedere nessuna manipolazione; e con essa si può costruire un *elettroscopio differenziale* (fig. 288), col quale si può riconoscere subito la specie dell'elettricità, cosa che non avviene nel semplice elettroscopio già da noi descritto.

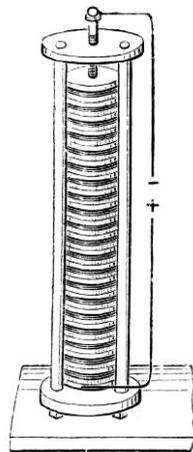


Fig. 287. – Pila di Volta.

Le due estremità o poli della pila fan capo a due lastre metalliche *bb*, fra le quali isolata e protetta da una campana di vetro pende una foglia d'oro. Le due lastrine sono elettrizzate con elettricità contrarie; perciò se la foglia d'oro è allo stato naturale, essendo attratta egualmente dalle due parti, rimane verticale. Ma se invece è elettrizzata positivamente, si porta subito verso il polo negativo; viceversa, si accosta al polo positivo se elettrizzata negativamente. Quando in questo movimento avviene il contatto, la foglia d'oro acquista una carica della stessa specie di quella del polo, ne viene respinta

verso l'altro, e da questo, dopo un nuovo contatto, ritorna verso il primo e così via, oscillando come un pendolo; e il movimento può durare anche per anni. Ma un tale pendolo non è un *perpetuum mobile*, sebbene apparentemente non richieda alcuna forza; in realtà, attinge l'energia necessaria dalle lentissi-

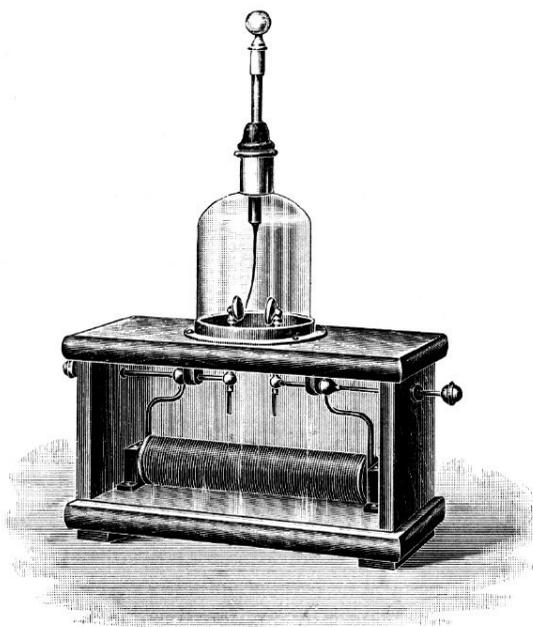


Fig. 288.
Elettroscopio differenziale con pila di
Zamboni.

me azioni chimiche che avvengono nella pila, e quando questa sia esaurita, le oscillazioni si arrestano.

Al foglio umido della pila voltaica può essere opportunamente sostituito un liquido in un recipiente di vetro. Nella *pila a tazze*, pure del Volta, gli archi bimetallici stanno a cavallo di due bicchieri contigui, contenenti acido solforico diluito, cosicchè in ogni bicchiere si ha zinco e rame separati dal liquido (fig. 289). Aumentando il numero dei recipienti, ossia delle coppie, si accresce

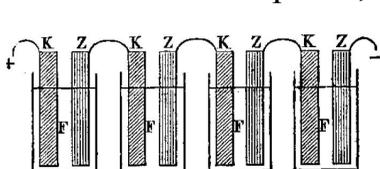


Fig. 289. — Pila a tazze.

K) Rame; — Z) Zinco.

in proporzione la capacità e la potenza della pila; ma oggi, per la produzione delle forti correnti, abbiamo altri mezzi assai più efficaci.

Abbiamo già detto, che nella pila le due opposte elettricità si raccolgono ai due poli; nella pila voltaica l'elettricità positiva è dalla parte del rame, quella negativa dalla parte dello zinco; precisamente, come se attraverso i punti di contatto l'elettricità positiva passasse dal rame allo zinco, e la negativa in senso contrario. Le due elettricità si separano spontaneamente, come già sappiamo, sul conduttore bimetallico; o, in altre parole, fra i due metalli congiunti si produce e si mantiene una differenza di potenziale per cui l'elettricità positiva si porta sullo zinco, quella negativa sul rame. I due metalli che stanno l'uno di fronte all'altro in ogni bicchiere, hanno dunque cariche contrarie, come le due armature di un condensatore; ma, attraverso il liquido che è conduttore, le cariche si muovono l'una

verso l'altra per effetto della mutua attrazione; e, precisamente, mentre una carica positiva si porta dallo zinco al rame, una eguale carica negativa va dal rame allo zinco. Questo trasporto è effettuato dalle molecole del liquido, e dà luogo ad un vero movimento di molecole nei due sensi con decomposizione chimica, del liquido. È questo il fenomeno dell'*Elettrolisi*, e i liquidi composti che conducono la corrente in tal modo, si chiamano *conduttori elettrolitici*.

La separazione delle due elettricità avviene sempre nel contatto di metalli eterogenei e rispetto a questa elettrizzazione di contatto, possiamo ordinare i metalli secondo una serie, come abbiamo fatto per l'elettrizzazione di attrito. Nella serie seguente, ogni metallo prende carica positiva quando è a contatto con uno di quelli che seguono, negativa, se a contatto di uno dei metalli precedenti: + Zinco, Stagno, Piombo, Ferro, Bismuto, Rame, Argento, Oro, Platino –.

Si chiama *forza elettromotrice* la differenza di potenziale o di tensione elettrica; e la serie sopra indicata ci dice, secondo una legge scoperta dal Volta, che la differenza massima di potenziale si avrà nel contatto fra Zinco e Platino, maggiore assai che fra Zinco e Rame e diretta nello stesso senso. Invece, formando una coppia di Rame e Platino, il rame sarebbe l'elemento positivo; mentre nella coppia voltaica rame-zinco, esso è l'elemento negativo. Ciò mostra, che lo stato elettrico acquistato nel contatto non è specifico e particolare di ciascun metallo, ma relativo; appunto come nell'elettrizzazione

per attrito.

Anche nel semplice contatto di due corpi isolanti si producono certamente, e si separano su di essi, le due diverse elettricità; infatti, in ciò consiste l'elettrizzazione di *attrito* il quale non è che un ripetuto contatto. Ma poichè i corpi, in questo caso, non conducono le elettricità, così non se ne può avere in tal maniera un'abbondante e continua produzione: le cariche elettriche ottenute, sebbene ad alta tensione, sono relativamente minime; insomma, una pila fatta di corpi isolanti non è possibile.

La semplice coppia di Rame e Zinco è quella adoperata dal Volta nella sua pila, perfezionata poi dal Wollaston. Smee ne ha accresciuta l'efficacia, sostituendo al rame l'argento, e Grove il platino. Tali pile non sono certo economiche.

In tutte queste pile, i due metalli sono immersi in un unico liquido; il che porta l'inconveniente che si chiama polarizzazione, consistente in questo, che i prodotti dell'elettrolisi aderendo ai due metalli, ne alterano la natura e così anche il loro funzionamento; quindi la corrente si indebolisce sempre più e presto cessa. La *polarizzazione* è soppressa nelle pile a due liquidi, dove i metalli son separati da una parete porosa, che tien separati i

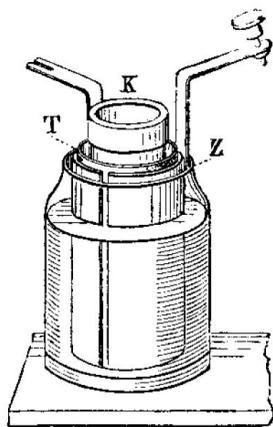


Fig. 290. – Pila Daniell.
T) vaso poroso; – K) Rame; – Z) Zinco.

due liquidi, lasciando invece passare la corrente e le molecole elettrizzate. Nella *pila di Daniell* (fig. 290), dentro il bicchiere di vetro è un vaso poroso, il quale contiene col rame una soluzione di solfato di rame; mentre nel vaso esterno è l'acido solforico e lo zinco in forma di lamina cilindrica. Una modificazione di questa è la *pila Meidinger* (fig. 291) usata in Germania per i telegrafi e telefoni, senza vaso poroso: il solfato di rame più denso dal tubo di vetro *h*, scende e si raccoglie nella vaschetta *e*, senza mischiarsi con l'acido solforico e senza, perciò, venire in contatto con lo zinco.

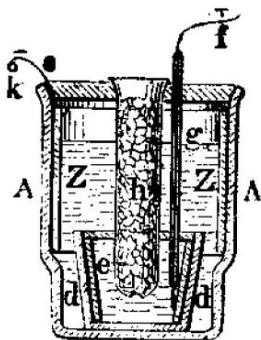
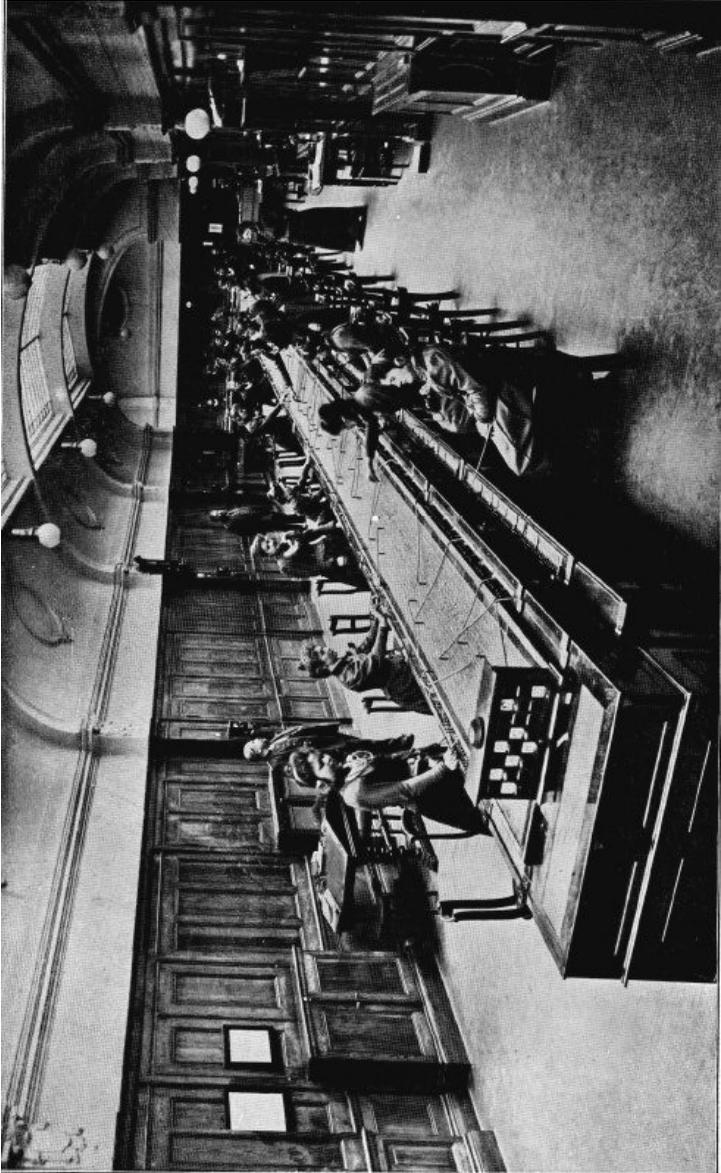


Fig. 291. – Pila Meidinger. A) Vaso di vetro; – Z) Zinco; – d) Vaschetta; – h) Solfato di Rame.

Nella *pila Grove* di zinco e platino, quest'ultimo è immerso in acido nitrico concentrato, contenuto nel solito vaso poroso. Bunsen ha sostituito al costosissimo platino, del carbone compresso e agglutinato come quello che serve per le lampade elettriche ad arco: la *pila Bunsen* è molto energica ed è la più adatta per ottenere forti correnti. Questa pila ha l'inconveniente di emettere vapori velenosi e corrosivi di acido nitroso; allo scopo di evitare la produzione di questo gas, Bunsen trovò poi la *pila ad acido cromico*. Nella *pila Poggendorf* (fig. 293), derivazione di questa, zinco e carbone stanno immersi in una soluzione di bicromato potassico mischiato con acido solforico.



Stazione telefonica centrale di Berlino
(da una fotografia).

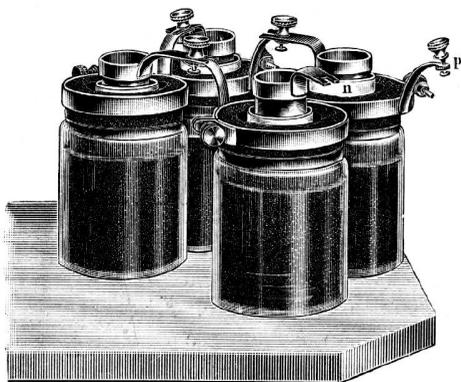


Fig. 292. – Pile Bunsen.

La potenza delle pile è essenzialmente misurata dalla differenza di potenziale che si stabilisce fra i loro poli, la così detta *forza elettromotrice*, che si misura in Volta: così la pila Daniell ha una f. e. m di 1,1; la pila Bunsen di 1,9. Si noti come son

piccole queste tensioni di fronte alle centinaia di migliaia di Volta che danno le macchine elettrostatiche! Ma unendo le pile *in serie*, cioè l'una di seguito all'altra coi poli contrari congiunti, le loro tensioni si sommano, e perciò con 50 elementi Bunsen, si ha una differenza di potenziale di circa 100 Volta.

La differenza di potenziale fra i due poli di una pila, che misura come abbiamo detto la sua forza elettromotrice, non dipende punto dalle sue dimensioni; pile della stessa specie, o grandi o piccole, danno sempre la stessa tensione. Se una batteria di pile si dispone in maniera che tutti gli zinchi (cioè i poli negativi) son riuniti da un conduttore unico, e così tutti i poli positivi (fig. 294 a), si ha la stessa forza elettromotrice di una sola pila. In questa disposizione le pile si dicono unite in superficie o anche *in paral-*



Fig. 293. – Pila Poggen-dorf.

lelo. Sono invece congiunte *in serie*, nella disposizione (fig. 294 *c*). Vi sono poi anche le disposizioni *miste* (*b* e *c*).

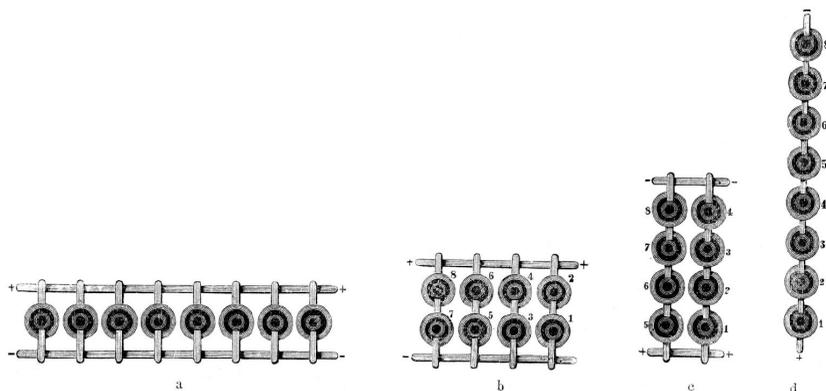


Fig. 294. – Disposizione delle pile.
 a) in superficie; – b) mista; – c) mista; – d) in serie.

Per comprendere l'opportunità di adoperare l'una o l'altra disposizione di pile, è utile paragonare il lavoro e l'energia della corrente elettrica a quella di un fluido in movimento. L'analogia è per molti rapporti completa e istruttiva. Il lavoro dell'elettricità dipende da due fattori, tensione e quantità, come appunto quello dell'acqua dipende dalla pressione e dalla massa di questa. La tensione o potenziale elettrico corrisponde precisamente a quello che è la *pressione* in idrodinamica: come l'acqua si muove in un tubo dai punti di pressione maggiore a quelli dove è minore, così l'elettricità (positiva) si muove in un conduttore dai punti di potenziale più elevato verso quelli dove esso potenziale è minore. L'effetto della corrente in un conduttore dipende non solo dalla

quantità di elettricità che vi passa, ma altresì dalla differenza di potenziale fra cui il passaggio avviene; precisamente, come il lavoro di una caduta dell'acqua dipende non solo dalla quantità dell'acqua, ma altresì dal salto, cioè dall'altezza della caduta. L'unità pratica per misurare l'intensità delle correnti è l'*Ampère*, del quale e del *Volta* daremo, più avanti, la definizione esatta in base al sistema centimetro-grammo-secondo, quando avremo appreso a misurare certi particolari effetti della corrente. Dalla intensità della corrente in *Ampère* e dalla differenza di potenziale in *Volta* fra i poli della pila, si ha la misura del lavoro fatto dalla corrente in *Watt*: essendo un *Watt* il lavoro che fa in 1 secondo una corrente di 1 *Ampère*, con la differenza di potenziale di 1 *Volta*. Un cavallo vapore corrisponde a 736 *Watt*; per esempio, una lampada elettrica ad arco richiede circa 500 *Watt*, cioè circa $\frac{3}{4}$ di cavallo, energia che si trasforma in luce e calore.

La quantità di acqua che passa per un condotto comunicante con due recipienti a diversa pressione, dipende, oltre che da questa differenza di pressione, anche dalle dimensioni del canale, ossia dalla *resistenza* che il liquido incontra a scorrervi; e perciò, secondo i casi, l'energia di movimento del liquido si potrà più o meno utilizzare, perchè una parte servirà a superare questa resistenza e si trasformerà in calore. Così, la quantità di elettricità che nell'unità di tempo passa per un filo conduttore inserito fra i poli di una pila, ossia l'intensità della corrente, dipende dalla *resistenza* del filo, la quale è tanto

maggiore, quanto più il filo è lungo e sottile; ma dipende anche dalla sostanza, e diventa infinitamente grande quando questa sia una delle sostanze isolanti.

La relazione fra la tensione elettrica o forza elettromotrice, la resistenza e l'intensità della corrente fu trovata da Ohm, e si esprime con la legge che porta il suo nome; la quale dice, che l'intensità della corrente (i) è uguale alla forza elettromotrice (e) divisa per la resistenza (r): ossia,

$$i = \frac{e}{r}$$

dove i è misurata in *Ampère*, e in *Volta* e r in *Ohm*; essendo, per definizione, un *Ohm* la resistenza di un filo conduttore che con la differenza di potenziale di 1 Volta ai suoi estremi, lascia passare la corrente di 1 Ampère.

La resistenza di un conduttore cresce in ragione *diretta* della sua lunghezza, in ragione *inversa* della sua sezione, e dipende poi dalla sostanza: un filo grosso e lungo può indebolire la corrente quanto uno corto ma sottile. La *conduttività* elettrica di una sostanza è l'inversa della sua resistenza specifica; e da un corpo all'altro varia presso a poco con la stessa legge con cui varia la conduttività calorifica. Così, i migliori conduttori dell'elettricità sono l'Argento e il Rame: il Platino ha una resistenza 9 volte maggiore.

Spesso occorre regolare la resistenza di una corrente; e allora si adoperano i *reostati* (fig. 295); togliendo le spine dai fori a , b , c , d ... si obbliga la corrente a passare

per i rocchetti sottostanti formati di filo metallico isolato, dei quali si conosce in *Ohm* la resistenza.

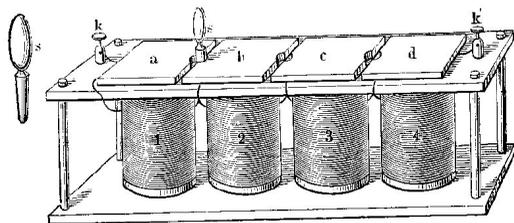


Fig. 295. — Reostato Siemens.

s) spina; — 1-4 rocchetti di resistenza.

Con l'aiuto della legge di Ohm, possiamo trasformare la corrente elettrica in tutte quelle maniere che più convengono per le applicazioni che ne vogliamo

fare. Per esempio, la legge di Ohm ci dice che se per una data energia elettrica, avendo cioè a disposizione un certo numero di Watt, ridurremo a metà la sezione del conduttore, la tensione dovrà crescere del doppio e l'intensità della corrente diventerà la metà. Così, la corrente diminuirà, nel rapporto di circa 9 a 1, se sostituiremo al conduttore di rame uno di platino di eguali dimensioni. E per avere con una data energia, la corrente massima, dovremo adoperare un filo di argento grosso il più possibile. In pratica, per economia, si adopera il rame, la cui conduttività è di poco minore.

I liquidi che fan parte di una batteria di pile oppongono anch'essi alla corrente una resistenza che è assai grande rispetto a quella delle parti metalliche. Quando le pile sono unite in superficie (fig. 294 *a*), la resistenza diminuisce, perchè la corrente traversa un conduttore liquido la cui sezione è aumentata in ragione del numero delle pile; e siccome la forza elettromotrice è rimasta la medesima, ne risulta che cresce l'intensità della corrente

in ragione del numero degli elementi di pila. Invece, nella riunione in serie, la resistenza cresce come la forza elettromotrice, in ragione del numero delle pile. La convenienza dell'adoperare l'una o l'altra disposizione, o una mista, dipende dal rapporto fra la resistenza *esterna*, cioè quella del conduttore sul quale la corrente si vuole utilizzare, e la resistenza *interna*, cioè quella delle pile.

La corrente elettrica può suddividersi e ramificarsi come una corrente d'acqua, ossia, noi possiamo fra due punti di un filo conduttore inserirne un altro o, come suol dirsi, fare una *derivazione* di corrente. Se la resistenza del filo de-

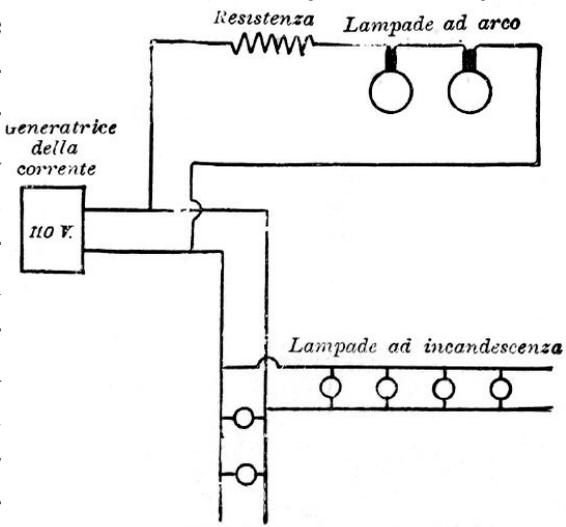


Fig. 296. – Schema di impianto elettrico.

derivato è uguale a quella dell'altro, la corrente si divide egualmente, e nei due rami ha eguale intensità. Se, invece, in questa derivazione inseriamo resistenze diverse, a nostra volontà, avremo correnti molto diverse da quella principale senza che questa ne venga alterata, tranne per il consumo dell'energia.

Le resistenze poste in derivazione son traversate solo da una parte della corrente principale; quelle poste in se-

rie sono invece attraversate da tutta quanta la corrente. Per esempio, occorre spesso in pratica di dovere alimentare con la stessa macchina elettrica lampade ad arco che richiedono una differenza di potenziale di 55 Volta, e lampadine a incandescenza che ne richiedono 110. Se la macchina elettrica fornisce corrente sufficiente a cento Volta, potremo inserire lampade ad arco *in serie*, a gruppi di due, sopra un conduttore congiunto direttamente coi poli della macchina; e lampade a incandescenza in *derivazione*, fra due fili paralleli congiunti egualmente coi poli della macchina. Vedasi la fig. 296.

Se un condotto d'acqua come quello dell'apparecchio della fig. 297, si divide in due rami che poi si ricongiungono, e fra i due rami si stabilisce una comunicazione a guisa di «ponte» con un altro tubo, in questo tubo centrale l'acqua starà ferma quando la pressione ai

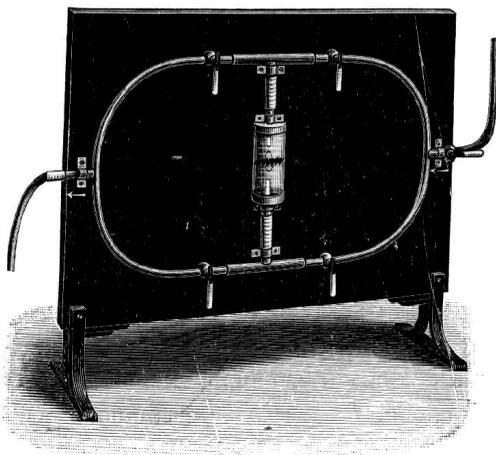


Fig. 297. – Modello idraulico del ponte di Wheatstone.

suoi estremi sia eguale. Se, invece, in uno dei rami si produce un eccesso di pressione, come si può fare chiudendo un poco una delle chiavette, allora l'acqua scorrerà anche attraverso al tubo centrale e potrà far muovere una ruota a palette, che rende visibile il movimento e

anche la sua direzione. Una disposizione simile si adopra per la corrente elettrica, e si chiama il *ponte di Wheatstone*, che conosceremo più avanti; un galvanometro inserito nel ponte fa vedere se la corrente passa e in quale direzione, e permette di confrontare le resistenze delle quattro parti in cui dal ponte è diviso il doppio conduttore.

La corrente elettrica riscalda sempre i conduttori che percorre, e la quantità di calore prodotto dipende dall'intensità della corrente, come anche dalla resistenza del conduttore; si dimostra che questo calore, il quale misura il lavoro della corrente nel conduttore, è proporzionale al prodotto i^2r , cioè al quadrato della intensità della corrente moltiplicato per la resistenza del conduttore. Ma, come sappiamo per la legge di Ohm, l'intensità i dipende alla sua volta dalla resistenza, e perciò son determinate le condizioni per le quali si ha il massimo sviluppo di calore. Così, per esempio, facendo passare la corrente per una catena di anelli di platino e di argento, potremo vedere il platino solo arroventarsi.

Questo effetto della corrente elettrica è utilizzato per l'illuminazione elettrica nelle lampade a incandescenza, dove la corrente arroventa un sottil filo di carbone, il quale presenta una resistenza molto maggiore del conduttore metallico nel quale è inserito. Il filo di carbone è chiuso in un palloncino di vetro vuotato d'aria, per cui si mantiene incandescente senza bruciare. Nelle lampade ad arco la corrente passa fra due carboni appuntiti a guisa di matite. Da principio si portano a contatto, fin-

chè la corrente comincia passare arroventando le punte e l'aria circostante; allora si allontanano fino a un certo punto, e la corrente continua a passare attraverso una specie di ponte o *arco* luminosissimo, che è formato di particelle e anche di vapore di carbonio (fig. 298). Il carbone positivo si consuma di più, prendendo la forma di cratere, mentre le sue particelle son portate su quello negativo che si appuntisce.

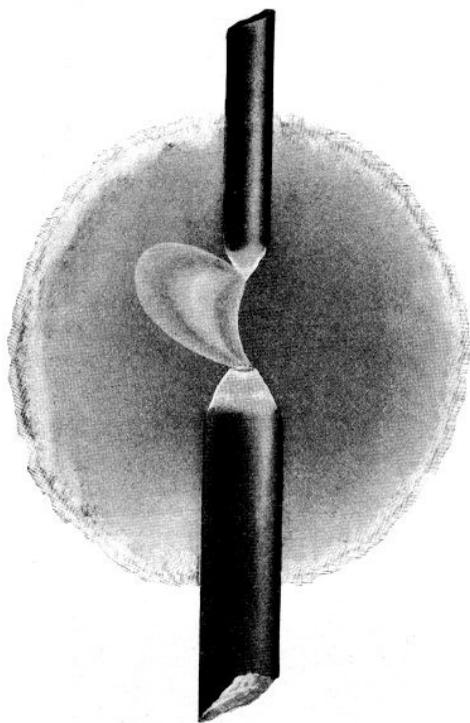


Fig. 298. – L'arco elettrico.

All'elevatissima temperatura dell'arco elettrico, che è di migliaia di gradi, si volatilizzano anche le sostanze che resistono a tutte le altre temperature: se ne può collocare un frammento nel cratere del carbone positivo, e allora l'arco apparisce colorato. Così si possono osservare allo spettroscopio gli spettri dei metalli.

Si comprende facilmente, che questo enorme sviluppo di calore è inutile o dannoso

quando lo scopo è quello di avere solamente la luce; e abbiamo già visto che la luce più economica sarebbe

una luce fredda il più possibile. Con questo si deve intendere che la materia luminosa dovrebbe emettere radiazioni luminose col minimo possibile di radiazioni calorifiche. E poichè le vibrazioni luminose sono per rapidità superiori a quelle calorifiche, si può dire, che l'espressione *luce fredda* in sostanza vuol dire *luce ultracalda*.

La lampada Nernst, costruita in base a questo concetto, costituisce un passo notevole nella tecnica dell'illuminazione. Mentre nelle altre lampade elettriche la materia che con la sua incandescenza produce la luce è il carbone, nella lampada Nernst è invece la magnesia od ossido di magnesio, che come il carbone sopporta alte temperature senza vaporizzarsi e senza alterarsi, e presenta alla corrente una resistenza anche maggiore, per cui l'energia della corrente si trasforma in calore. Ma a temperatura ordinaria l'ossido di magnesio non conduce la corrente, e ciò costituisce una difficoltà per la diffusione e l'uso della lampada Nernst, nella quale il filo di magnesia deve essere riscaldato prima che la lampada entri in funzione. Il riscaldamento e quindi l'accensione della lampada si può fare anche con un fiammifero, ma vi è anche la possibilità di ottenere automaticamente dalla stessa corrente il riscaldamento iniziale. La (fig. 299), rappresenta schematicamente la lampada. La corrente arriva in *A*; in *B* si biforca, passando, di sopra, per il filamento di magnesia *GH*, di sotto, per il riscaldatore *CD*: da principio quando il filo *GH* è freddo, passa solo in *CD* formato da un filo di platino avvolto su un cilin-

dretto di porcellana, e il filo si arroventa e riscalda la magnesia soprastante finchè anch'essa conduce e si accende. Ma allora la corrente che passa per GH fa funzionare l'elettromagnete M che alzandosi toglie il contatto in E , e cessa la corrente in CD . E tutto questo avviene in pochi secondi. La luce Nernst è bianchissima e sta fra la luce giallastra delle lampade a incandescenza e quella bluastra delle lampade ad arco. E mentre queste consumano una energia di circa 3 Watt per candela, la lampada Nernst richiede solo metà di questa energia.

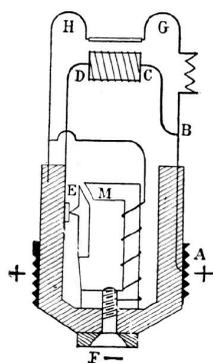


Fig. 299. - Lampada Nernst.

Basterà qui accennare che la corrente elettrica può essere e viene anche utilizzata per il riscaldamento e per uso di cucina in stufe e fornelli speciali.

E si ricorderà in fine, che il calore della corrente elettrica è adoperato per premunirsi contro gli stessi suoi danni. Quando in un circuito elettrico con lampade a incandescenza la corrente diventi troppo forte, i filamenti sottili delle lampade non possono sopportarla e vengono

distrutti: e siccome tali oscillazioni o variazioni della corrente sono possibili, si provvede con le *valvole di sicurezza*, che sono fili di piombo inseriti in qualche punto del circuito, i quali, quando l'intensità della corrente supera un certo grado, si fondono, e così la interrompono prima che siano guastate le lampade.

Il Microfono (fig. 300) che si usa oggi accoppiato al telefono per rinforzarne l'effetto, è, almeno nella sua

forma primitiva, un semplicissimo apparecchio, fondato tutto sulla resistenza opposta alla corrente di una pila *E*, dal cilindrico di carbone *b*, appoggiato sopra altri due pezzi pure di carbone *a a*. Le lievi vibrazioni che

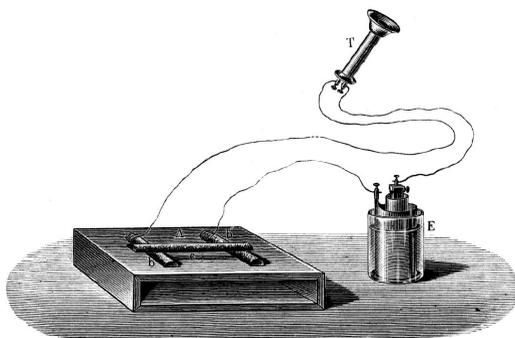


Fig. 300. – Il Microfono.

tutto l'apparecchio riceve per un suono che si produca in vicinanza, fanno cambiare la pressione del carbone *b* sopra i suoi punti d'appoggio, e con questa anche la resistenza, e perciò anche l'intensità della corrente: la quale variando periodicamente col ritmo stesso delle onde sonore mette in azione il telefono *T*.

Ma prima di procedere oltre nelle applicazioni della corrente, sarà bene, con le nuove cognizioni acquistate, dare uno sguardo retrospettivo all'elettricità statica, la quale in sostanza è una cosa sola con quella che scorre nei conduttori percorsi dalla corrente elettrica, sebbene diverse ne siano le esterne manifestazioni.

Come abbiamo visto, noi possiamo da una macchina elettrostatica ottenere differenze di potenziale di centinaia di migliaia di Volta: tuttavia, con una di tali macchine è impossibile produrre una corrente capace, per esempio, di accendere una lampadina a incandescenza di soli 110 Volta. Gli elettrotecnici spiegano subito la

singolare contraddizione, dicendo semplicemente che la macchina elettrica non fornisce il sufficiente numero di Ampère. Ma perchè questo? Perchè non possiamo trasformare i Volta eccedenti enormemente, negli Ampère che ci mancano? Spieghiamoci con un esempio numerico.

L'energia elettrica impiegata in un effetto qualunque, misurata in Watt, risulta dal prodotto dei Volta per gli Ampère. Ora, se una macchina elettrostatica che richiede un decimo di cavallo per esser mantenuta in movimento, dà una tensione, per esempio, di 200.000 Volta, è evidente che il lavoro elettrico di cui essa è capace non può superare quello assorbito per il suo funzionamento, e la corrente x che potrà darci sarà tale, che $73,6$ (Watt) = 200.000 (Volta) x (Ampère); ossia di $0,000.368$ Ampère nel caso più favorevole: ma sarà anche minore, perchè una buona parte del lavoro impiegato a mettere in moto la macchina va perduto negli attriti. Abbiamo dunque una corrente debolissima, incapace di alimentare una lampadina a incandescenza che richiede circa $0,5$ Ampère.

Ma vi ha di più. Finchè si ha quella forte differenza di potenziale, l'elettricità non scorre propriamente, ma resta accumulata ai due poli della macchina, e soltanto quella che si perde per l'imperfetto isolamento dei sostegni o per la dispersione nell'aria può essere paragonata ad una corrente. La corrente vera e propria si ha, solamente, quando i due poli della macchina siano congiunti con un filo metallico; ma allora la differenza di

potenziale diventa e rimane piccolissima anche mantenendo la macchina in movimento, e debolissima è quindi la corrente che percorre il filo.

Dobbiamo, dunque, chiederci in qual modo le pile, con differenze di potenziale tanto più piccole, ci forniscano correnti energiche capaci di trasformare la loro energia nelle più varie maniere. La ragione sta principalmente nella enorme resistenza che le macchine elettrostatiche oppongono al passaggio della corrente, in confronto della piccola resistenza delle pile. Queste ultime son costituite di metalli e di liquidi, tutti buoni conduttori: le macchine elettrostatiche sono in parte formate di sostanze isolanti. Nella macchina elettrica che abbiamo studiato (fig. 268), la carica elettrica deve passare attraverso il disco di vetro; anzi si può dire che è trasportata meccanicamente da questo nel suo movimento. In conclusione, congiungendo con un filo metallico il conduttore e i guancialetti della macchina elettrostatica, si ha un circuito elettrico del quale fa parte anche il disco di vetro, e perciò di enorme resistenza. Applicando la legge di Ohm $i = \frac{e}{r}$, avremo una forza elettromotrice di centinaia di migliaia di Volta, ma una resistenza r di parecchi milioni di Ohm. Non deve quindi far meraviglia che la corrente i sia estremamente debole.

e) Elettromagnetismo.

Posto in chiaro che nei fenomeni dell'elettricità statica sono le forti tensioni quelle che determinano le azioni attrattive e repulsive sopra i corpi leggeri, non ci dobbiamo meravigliare, se tali azioni non si presentano con i conduttori dalle correnti elettriche, nei quali la carica e il potenziale sono debolissimi. Ma tuttavia, fra i fili percorsi dalla corrente si esercitano azioni di

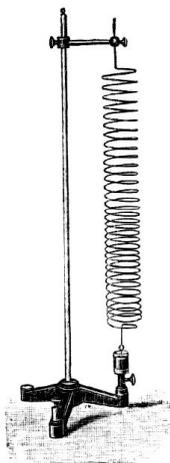


Fig. 301. – Spirale di Roget.

altra natura (fig. 301). Su questo principio è fondato l'apparecchio di Roget. Un filo a spirale si accorcia restringendo le sue spire, appena venga percorso dalla corrente: l'estremità inferiore della spirale è immersa in una vaschetta di mercurio, e quando il filo si solleva, si distacca dal liquido e si interrompe la corrente; ma tosto cessando l'attrazione, la spirale torna ad allungarsi, la corrente ripassa e si rinnova l'interruzione. L'apparecchio costituisce un automatico *interruttore*.

Il fenomeno non può certo spiegarsi col calore della corrente il quale tenderebbe invece ad allungare il filo; bisogna concluderne che gli anelli della spirale si attraggono fra loro quando sono percorsi dalla corrente.

Ancora più evidente è il fenomeno nell'apparecchio d'Ampère (fig. 302), in cui si hanno due spire metalliche delle quali l'una può rotare. Se la corrente è diretta

nello stesso senso in due tratti del filo questi si attraggono, e si vede il filo mobile avvicinarsi a quello fisso; si respingono, invece, se son percorsi da correnti in senso contrario. E qui si vede, per la prima volta, che la corrente ha una direzione e che non è indifferente congiungere i due estremi di un filo coi due poli della pila in un modo o nel

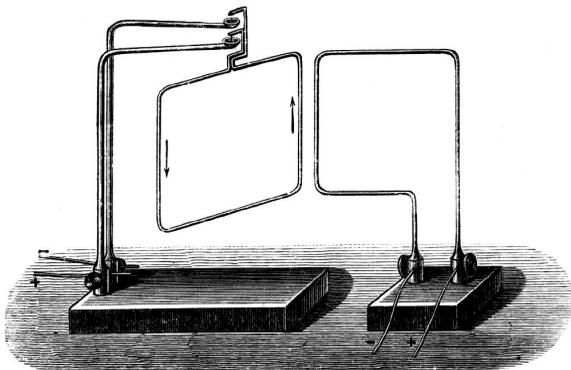


Fig. 302. – Azioni fra i circuiti elettrici.

modo inverso. Si suol prendere come *direzione della corrente* quella che va dal polo positivo al negativo, nel filo conduttore che unisce esternamente i due poli di qualunque pila o macchina elettrica.

Queste manifeste azioni attrattive e repulsive fra conduttori percorsi dalla corrente elettrica, ci fanno subito pensare che possano avere relazione e analogia con le simili azioni magnetiche; e la relazione, infatti, apparisce facilmente in maniera evidentissima.

Se portiamo un filo percorso dalla corrente sopra ad un ago magnetico e parallelamente a questo, cioè, nella direzione del meridiano, vediamo che l'ago si dispone trasversalmente, cioè perpendicolarmente al filo, coi poli da Est a Ovest, se la corrente è abbastanza forte (fig. 303). Ma l'orientazione dell'ago è diversa secondo

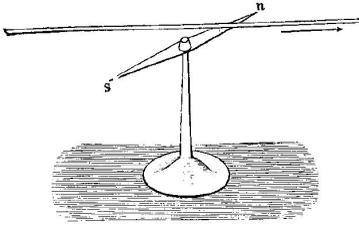


Fig. 303. – Esperienza di Oersted.

Questa fondamentale osservazione della relazione fra l'elettricità e il magnetismo, fu fatta da Oersted nel 1820, e si può dire che da essa derivano la maggior parte delle applicazioni dell'elettrotecnica, fondate quasi tutte sull'effetto di queste forze elettromagnetiche. Quanti piccoli semi di meravigliose e grandiose applicazioni restano celati fino a che non ce li rivela il caso di una fortuita osservazione! Ma quanto più si cerca di penetrare serenamente nello spirito della Natura, senza la mira egoistica dell'applicazione, tanto più l'indagine diventa feconda e indipendente dall'opera capricciosa del caso.

La deviazione dell'ago magnetico per

la direzione della corrente; se questa è diretta da Sud a Nord, il polo Nord dell'ago si porta ad Ovest, e inversamente. Si osserva poi il fatto notevolissimo, che se invece l'ago è sotto il filo, le cose avvengono al



Fig. 304. – Il Fisico Oersted.

l'azione di una debole corrente è invero piccola; ma l'effetto si somma e si moltiplica quando più correnti, o più tratti di fili percorsi dalla stessa corrente, agiscono insieme sull'ago. E poichè abbiamo visto, che l'azione di una corrente che passa sotto l'ago magnetico è contraria a quella della stessa corrente che passa sopra, così potremo, per aumentare l'effetto, portare sopra l'ago un filo percorso dalla corrente in una certa direzione, e sotto, un altro filo con corrente diretta in verso contrario. E questo risultato si ottiene praticamente in semplicissima maniera, facendo girare il filo di una stessa corrente, sopra e sotto l'ago in più giri di spirale, ciascuno dei quali esercita la sua azione. Il conduttore forma così una matassa in un piano verticale, e nel mezzo sta l'ago mobile. Si comprende bene la necessità di isolare fra loro le varie spire di filo: per deboli correnti basta che il filo sia

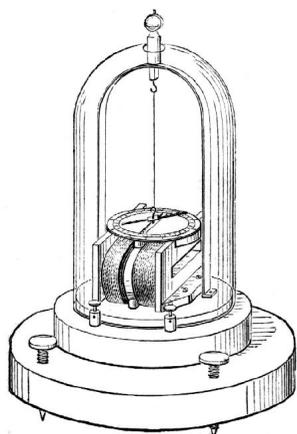


Fig. 305.
Galvanometro.

ricoperto di seta; per le più forti si riveste di guttaperca. Una tale disposizione costituisce un *moltiplicatore* dell'effetto magnetico della corrente.

La deviazione così prodotta sopra un ago magnetico può servire a misurare l'intensità della corrente e, in pari tempo, a indicarne la direzione. L'ago può esser sospeso mediante un filo e connesso rigidamente con uno specchietto, che, girando insieme con l'ago, ne fa vedere molto in-

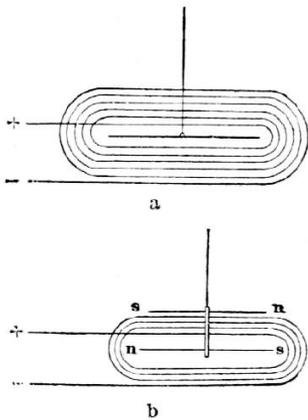


Fig. 306. – Il moltiplicatore del galvanometro.

grandite le deviazioni, col sistema che abbiamo già descritto. Per poi rendere l'ago indipendente dal magnetismo terrestre, si fissa rigidamente nello stesso asse un altro ago eguale, disposto parallelamente ma coi poli contrari, che rimane fuori del moltiplicatore. Questo sistema di due aghi si chiama *sistema astatico* e tutto l'apparecchio costituisce un *galvanometro* (fig. 305 e 306) strumento di meravigliosa sensibilità,

che rivela le minime correnti e viene perciò adoperato in moltissimi casi e a differentissimi scopi; già lo abbiamo visto inserito nel ponte di Wheatstone. Una modificazione di galvanometro è il Voltmetro (Voltmetro), che indica la differenza di potenziale attiva in un circuito di corrente e le sue variazioni.

Altra forma di galvanometro è la cosiddetta *Bussola delle tangenti* (fig. 307) che

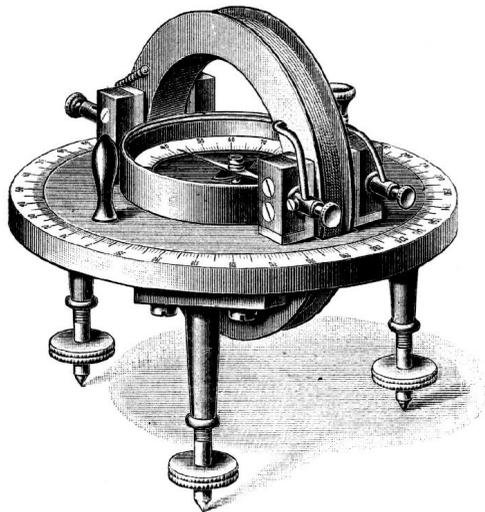


Fig. 307. – Bussola delle tangenti.

serve alla misura di correnti più intense. In essa il filo forma poche spirali in forma di cerchio assai grande di fronte alle dimensioni dell'ago: e si dimostra che l'intensità della corrente è proporzionale alla tangente dell'angolo di deviazione dell'ago.

Queste azioni elettromagnetiche ci mostrano che un conduttore percorso dalla corrente produce, intorno, un campo magnetico, simile a quello di un magnete, ma con qualità diverse. Ad un magnete l'ago magnetico volge sempre l'uno o l'altro dei due poli; invece si dispone perpendicolarmente alla corrente elettrica, cambiando di posizione secondo la direzione di quella. La legge di questa azione magnetica si può ricordare con la regola pratica di Ampère; ponendo la mano destra sopra il filo conduttore, nella direzione della corrente, il pollice indicherà la direzione verso cui si porta il polo Nord di un ago collocato sotto il filo (fig. 308).

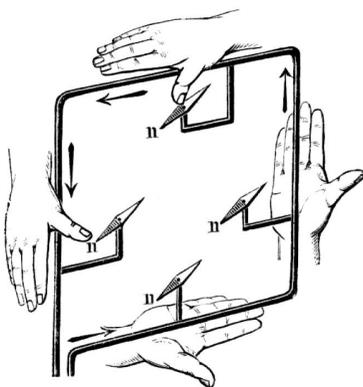


Fig. 308.
Regola di Ampère.

La corrente deve dunque produrre linee di forza magnetica intorno al filo conduttore da essa percorso, ma queste hanno forma assolutamente diversa da quelle prodotte da un magnete. Facendo passare il filo di una forte corrente, perpendicolarmente ad un cartoncino sparso di limatura di ferro, questa, con piccole scosse, si

dispone attorno al filo in cerchi concentrici, che rappresentano appunto le linee di forza del campo magnetico della corrente.

La direzione delle linee di forza è data dalla regola di Ampère, che in questo caso si può enunciare così: un osservatore collocato nel filo, nella direzione della corrente, vedrà il polo Nord dell'ago passare davanti a sè da destra a sinistra. Se nel filo che traversa il cartoncino della fig. 309, la corrente va dall'alto in basso, il verso positivo delle linee di forza sopra il cartoncino è quello delle lancette di un orologio, ossia, un polo Nord sarebbe sollecitato a girare intorno al filo in tale direzione.

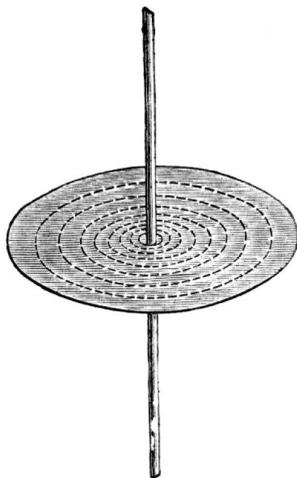


Fig. 309. – Linee magnetiche d'una corrente rettilinea.

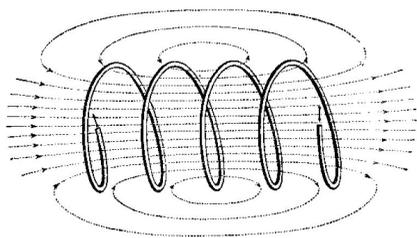


Fig. 310. – Linee magnetiche di una spirale.

Se il filo della corrente è piegato a spirale, come nella fig. 310, allora il campo magnetico, come si vede dalla figura, è perfettamente eguale a quello di un magnete cilindrico, perchè le linee di forza, traversando

tutte le spire, escono da una delle basi per rientrare dall'altra. Una tale spirale elettromagnetica corrisponde dunque ad un magnete, il cui polo Nord è da quella par-

te, dove per un osservatore la corrente percorre le spire in senso contrario alle lancette dell'orologio (fig. 311).

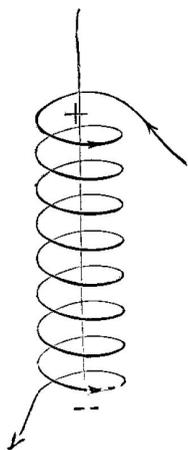


Fig. 311. – Spirale elettromagnetica.

Nell'interno della spirale si ha dunque un forte campo magnetico; e, perciò, se vi introduciamo un cilindro di ferro, esso si magnetizza per induzione, diventa cioè un magnete, e tale si mantiene finchè passa la corrente, perdendo quasi istantaneamente ogni qualità magnetica se la corrente si interrompe. Abbiamo così quello che si chiama un *elettromagnete*, i cui poli corrispondono a quelli della spirale secondo la regola sopra indicata.

La intensità della magnetizzazione del nucleo di ferro dipende dalla intensità della corrente e può quindi servire a misurarla. L'unità di corrente nel sistema centimetro-grammo-secondo è quella che percorrendo un filo lungo 1 centimetro piegato in cerchio col raggio di un centimetro, come nella bussola delle tangenti (fig. 307), esercita la forza di una dine, sopra un polo magnetico di intensità uno, collocato nel centro. Praticamente, si adopera $\frac{1}{10}$ di questa unità teorica, ed è quella che si è chiamata un Ampère. Negli *amperometri*, che servono a misurare le forti correnti industriali, l'azione magnetica di una spirale tira più o meno, verso il suo interno, un cilindretto di ferro sospeso ad una molla. Come la moderna elettrotecnica sa oggi produrre correnti di intensità quasi senza limite, così sa costruire potentissimi elettromagneti. Tut-

te le ricerche sul magnetismo e diamagnetismo, di cui abbiamo parlato, si fanno, non già colle debolissime calamite naturali, ma con gli elettromagneti, sui quali è fondata anche la mirabile invenzione del telegrafo.

La corrente elettrica di una pila, che si propaga con enorme velocità in un filo metallico, può benissimo magnetizzare un elettromagnete a nostra volontà, per quanto sia grande la distanza fra l'elettromagnete

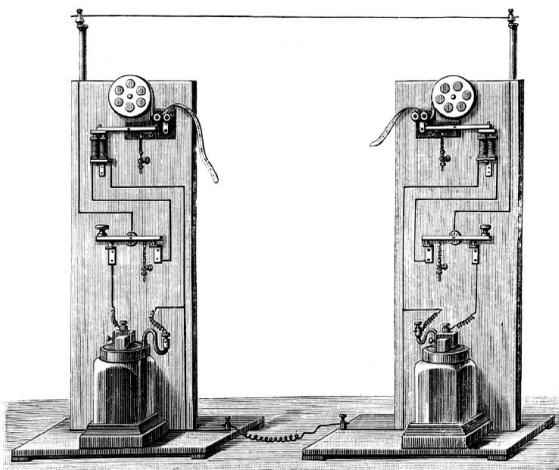


Fig. 312. – Telegrafo elettromagnetico.

stesso e la pila, ossia, per quanto sia lungo il filo che forma il circuito. Si possono così scambiare dei segnali intelligibili fra due luoghi lontanissimi, purchè siano congiunti da un filo isolato dal suolo.

La fig. 312 fa vedere la disposizione di due stazioni telegrafiche. Ma, il secondo filo che in basso chiude il circuito, può essere soppresso congiungendo con la Terra i suoi estremi. La Terra funziona come un grande conduttore a potenziale costante; e la pila si può considerare come una pompa, che attinge elettricità dalla Terra, la inalza di livello o di potenziale, e la fa ritornare alla Terra dopo avere eseguito un lavoro.

Quando si chiude il circuito alla stazione mittente (per es. a sinistra, fig. 313) abbassando il tasto, la corrente percorrendo il filo, passa nell'elettromagnete E , il quale allora, diventando attivo, tira a sè l'ancora di ferro A , che sta d'ordinario sollevata da una molla, e fa alzare l'estremità opposta della leva; quivi una matita o una penna preme sul nastro di carta che scorre, e lascia il segno. Se la corrente è brevissima il segno sarà un punto; se, invece, il tasto rimane abbassato un certo tempo, sarà una breve linea. Queste linee e punti, insieme combinati, formano l'alfabeto telegrafico.

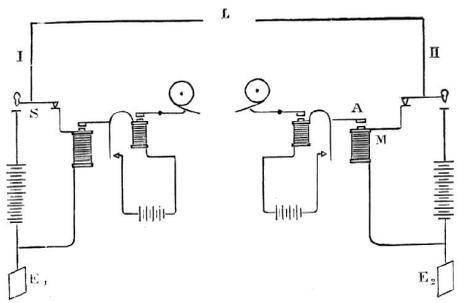


Fig. 313. - Schema di un impianto telegrafico fra due stazioni.

Le correnti telegrafiche sono in generale assai deboli; pochi centesimi di Ampère bastano, ma quando la linea è lunga e presenta quindi grande resistenza, occorre aumentare in proporzione il numero delle pile. Per linee lunghissime

può anche essere utile adoperare un *soccorritore* o *relais*. In questo, la debole corrente che non sarebbe sufficiente a muovere l'ancora dell'apparato scrivente, fa muovere invece un'ancora molto più leggera, e posta molto vicino all'elettromagnete. Ma con questo contatto si chiude il circuito di una batteria locale di pile, e una corrente sufficientemente forte passa nell'elettromagnete dell'apparecchio scrivente. Tutto ciò si può seguire

nell'annessa figura schematica (fig. 313). Quando alla stazione I viene abbassato il tasto *S*, rimangono esclusi dal circuito tutti gli apparecchi di questa stazione perchè si interrompe il contatto in *F*, e la corrente della batteria *B*, che con un polo è, mediante la lastra *E*, congiunta col suolo, va lungo il filo di linea *L* all'elettromagnete *M* dell'altra stazione e attira l'ancora *A*. Abbassandosi l'ancora *A*, si stabilisce in *C* il contatto del *relais*, e la corrente della batteria locale *G* va all'apparecchio scrivente.

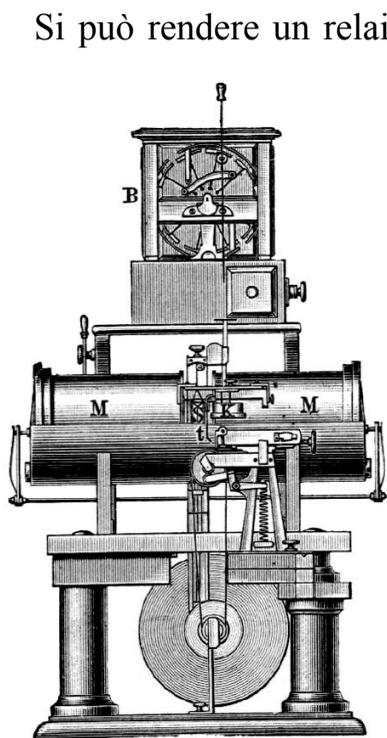


Fig. 314. — Appareto telegrafico Thomson.

Si può rendere un *relais* così sensibile da farlo agire solamente con le piccole correnti generate in un microfono dalle vibrazioni sonore che accompagnano le oscillazioni di un pendolo di orologio. In questa maniera l'Autore di questo libro ha trasmesso le indicazioni astronomiche del tempo, da Ginevra a Vienna per la determinazione della differenza di longitudine fra le due città.

Tuttavia un tale *relais* non sarebbe adatto alle piccolissime correnti che bisogna adoperare nella telegrafia sottomarina; per la quale si ricorre ancora al sensibilissimo gal-

vanometro che già fu applicato da Gauss e Weber pel loro sistema di telegrafo elettrico di cui parleremo. Le oscillazioni dello specchietto a destra e a sinistra, più o meno ampie, possono formare, combinate fra loro, segni alfabetici come nel telegrafo Morse. La (fig. 314), fa vedere l'apparato scrivente *a sifone* del Tomson, che serve per le debolissime correnti trasmesse coi cavi transatlantici. Il moltiplicatore *S* appeso ad un filo oscilla fra i poli del grande elettromagnete *MM*, secondo le variazioni della corrente, come l'ago del galvanometro, ed è connesso col sifoncino di vetro *t*. Questo per mezzo di una speciale disposizione lascia sempre cadere piccole gocce di inchiostro sopra un nastro di carta che scorre sotto, le quali per le oscillazioni dell'ago segnano una curva nelle cui sinuosità si leggono le lettere dei dispacci (fig. 315).

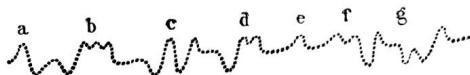


Fig. 315. — Registrazione con l'apparato Thompson.

Tutti i sistemi telegrafici sono stati grandemente perfezionati, in modo da ottenere la maggiore possibile rapidità di trasmissione. Nell'apparato Hugues (fig. 316), la trasmissione delle lettere è fatta con una tastiera, e alla stazione ricevente si stampano automaticamente in caratteri ordinari da stampa. Vi sono poi disposizioni con le quali si ottiene di poter inviare contemporaneamente parecchi telegrammi nello stesso filo; e altre con le quali si possono trasmettere caratteri manoscritti e disegni come nel pantelegrafo Caselli.

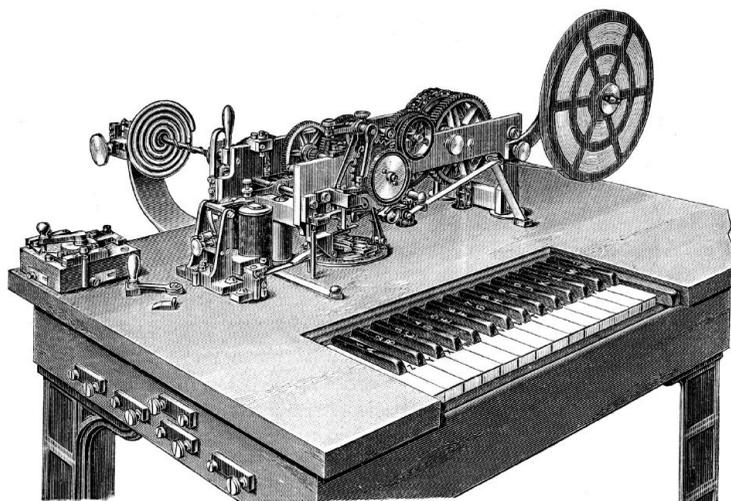


Fig. 316. – Apparato telegrafico Hugues.

Si può qui accennare, ma solo sommariamente, che anche prima che fosse conosciuta l'applicabilità delle

correnti di induzione, delle quali ci dovremo occupare, si era cercato di applicare direttamente le azioni elettromagnetiche come forza motrice. L'attrazione di due elettromagneti *A* e *B* (fig. 317), può alternativamente tirare giù i nuclei di ferro *C D*, e, per mezzo di un bilanciere, co-

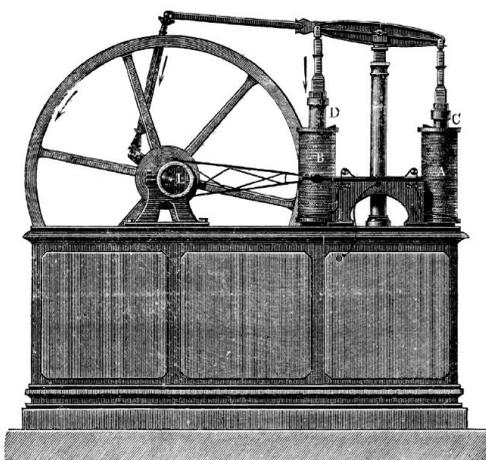


Fig. 317.

Antico motore elettromagnetico.

municare una rotazione continua alla ruota della macchina: l'interruzione e l'alternazione della corrente nei due rocchetti può essere ottenuta automaticamente dalla macchina stessa con un eccentrico, appunto come si ottiene il gioco alternativo delle valvole per l'immissione del vapore. Ma tali motori elettromagnetici non hanno più che una importanza storica; costruiti in grandi proporzioni non sono economici, in piccole possono solo costituire dei giocattoli interessanti.

In servizio dell'astronomia l'elettromagnete è prezioso per segnare e trasmettere indicazioni precise di tempo; e nessun osservatorio oggi manca del *cronografo elettrico* (fig. 318), il quale può registrare intervalli di tempo con l'esattezza di un centesimo di secondo. Una disposizione simile l'abbiamo già veduta applicata al pendolo.

Il pendolo di un cronometro astronomico ad ogni oscillazione chiude un circuito elettrico per mezzo di una punta sottile che tocca la superficie del mercurio di una vaschetta sottostante, e allora l'ancora del cronografo segna un punto sul nastro di carta che scorre con moto uniforme. Così sul nastro vengono segnati gli istanti e gli intervalli corrispondenti ai secondi dell'orologio. L'astronomo

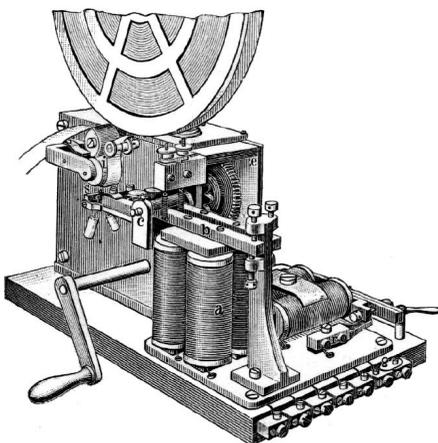
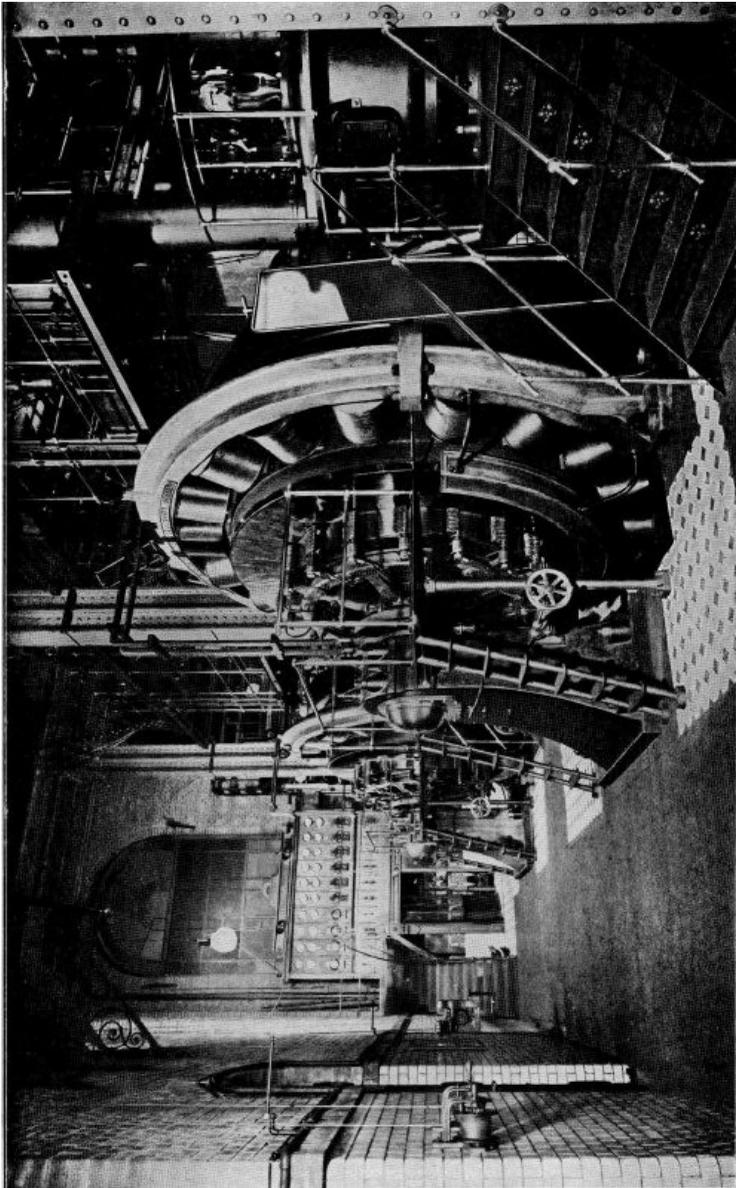


Fig. 318. – Cronografo elettrico.

toccando un tasto nell'istante in cui vede avvenire il fenomeno astronomico che lo interessa, segna un altro punto, sul nastro di carta, e la posizione di questo punto, cioè la sua distanza dai due punti corrispondenti ai secondi fra i quali è compreso, definiscono l'istante di tempo marcato, con l'esattezza di almeno $\frac{1}{100}$ di secondo.

Sappiamo già quanta importanza abbia per la conoscenza della forma della Terra e per tanti altri problemi fisici e astronomici, la determinazione della differenza di longitudine fra due osservatorî. Questa differenza che corrisponde precisamente alla differenza locale del tempo nel quale dai due osservatorî si vede un dato fenomeno celeste, prima del cronografo elettrico era molto difficile a determinare esattamente. Oggi tale determinazione si fa semplicissimamente e con estrema esattezza, se i due osservatorî son congiunti con una linea telegrafica, mediante la quale l'orologio dell'uno marca il tempo in secondi sul cronografo elettrico dell'altro.

Dell'orologio elettrico a pendolo di Hipp, che cammina senza peso e senza ruote, abbiamo già parlato. I sistemi di orologi elettrici, mossi dal solito meccanismo ma elettricamente regolati da una stazione centrale, in modo da dare tutti la stessa ed esatta indicazione, sono ormai comuni nelle città e negli uffici, e tutti ne apprezziamo l'importanza come regolatori del tempo, che nella vita odierna acquista un valore sempre più grande.



Stazione elettrica centrale della A. E. G. a Berlino
(da una fotografia).

f) Le correnti di induzione.

Una corrente elettrica circolando intorno a un cilindro di ferro lo magnetizza. Sapendo per esperienza che ad ogni azione corrisponde una reazione e che la più parte dei fenomeni fisici sono invertibili, potremmo supporre che un magnete introdotto in una spirale di filo metallico vi debba produrre una corrente. Per verificare se que-

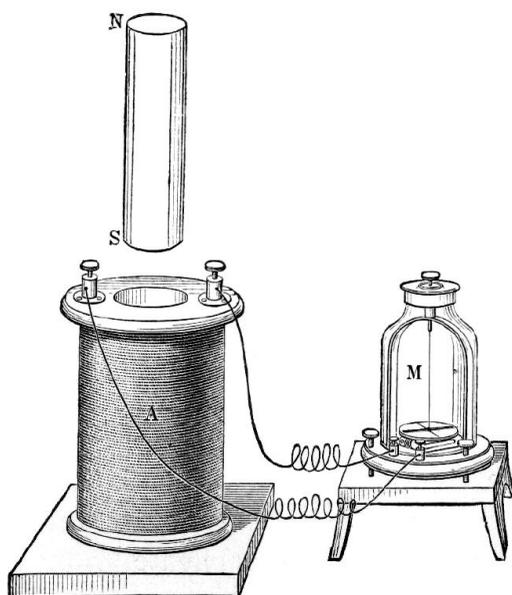


Fig. 319. – Induzione elettromagnetica. Ma si deve N S, Magnete; – A, Rocchetto; – M, Galvanometro.

sta supposizione è vera, escludiamo dal circuito la pila, inseriamoci invece un galvanometro e nel rocchetto non magnetico introduciamo un vero magnete (fig. 319). Il galvanometro infatti si muove, dandoci indizio di una corrente così pro-

dotta. Ma si deve anche capire, che se la corrente si mantenesse, noi avremmo costruito così con questa semplice disposizione un *perpetuum mobile*, perchè avremmo una corrente

permanente senza alcun consumo di energia! In realtà la corrente si produce solamente nell'atto che il magnete è introdotto nel rocchetto o ne è tolto, e le due correnti così prodotte hanno direzione contraria. Queste correnti si chiamano *correnti indotte*. L'induzione è un fenomeno di reazione: infatti la corrente indotta è tale che con l'azione magnetica da essa nel rocchetto si oppone al movimento del magnete. Quando il magnete entra nel rocchetto col polo Sud, la corrente circola in maniera da generare da quella parte della spirale un polo Sud, tale cioè da respingere il magnete: quando il magnete esce, la corrente circola in verso contrario e cioè attira il magnete (fig. 320). La corrente indotta, rappresenta quindi con la sua azione magnetica una resistenza al movimento del magnete.



Fig. 320. – Direzione della corrente indotta.

Noi abbiamo dunque una nuova maniera di generare la corrente elettrica, cioè una maniera meccanica, in cui il lavoro è direttamente trasformato in energia elettrica. E questa sorgente di energia elettrica ci apparisce subito la più pratica e la più economica di tutte perchè la più semplice, e senza perdita di energia per azione di organi intermediarî. Nelle macchine elettrostatiche ad attrito vi ha per l'attrito stesso una enorme perdita di energia: nelle pile vi ha pure perdita per le azioni chimiche, e oltre a

ciò, il loro uso è complicato, incomodo e poco economico. Invece la tecnica meccanica tanto progredita, ci permette di adoperare ogni specie di movimento meccanico alla produzione di corrente elettrica mediante il fenomeno dell'induzione.

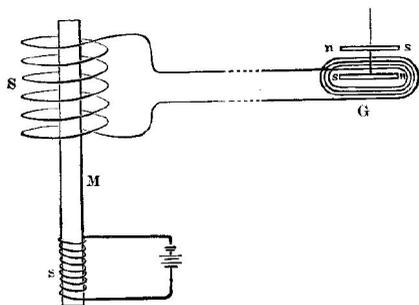


Fig. 321. – Corrente d'induzione.

Per conoscer bene le leggi di questo fenomeno faremo qualche altro esperimento (fig. 321). Una sbarra *M* di ferro dolce non magnetico è circondata da due spirali formanti due circuiti chiusi indipendenti. Nel filo della spirale *s* è inserita una pila, nel filo dell'altra *S* è inserito un galvanometro *G*. Appena si chiude il circuito, il ferro si magnetizza e l'ago del galvanometro si muove, ma ritorna tosto alla posizione di riposo, per quanto la corrente continui a passare. L'ago torna a muoversi indicando una corrente contraria alla precedente, se interrompiamo il circuito della pila; ecco dunque il modo di produrre una corrente d'induzione semplicemente con l'aprire e chiudere un circuito senza nessun movimento materiale. La corrente indotta nell'atto della chiusura del circuito è uguale a quella che si otterrebbe, portando un magnete di corrispondente intensità da grande distanza dentro la spirale: l'altra che si ottiene nell'apertura, corrisponde a quella che avremmo ottenuta togliendo e allontanando rapidamente il magnete. Il lavoro meccanico in questo caso lo

fa la corrente della pila, e la corrente indotta è tanto più intensa, quanto è più rapida la sua produzione e più breve quindi la sua durata.

La corrente indotta in un circuito conduttore chiuso, si produce dunque, come abbiamo visto, quando un magnete si muove in prossimità del circuito; o viceversa quando si muove il circuito in vicinanza del magnete, o più generalmente, quando il circuito si muove in un campo magnetico.

E poichè la terra è un magnete e lo spazio che ci circonda è un campo magnetico, si comprende che il semplice movimento di un conduttore chiuso qualunque possa generarvi delle correnti indotte. A tal fine si può adoperare una spirale *M* girevole intorno ad un asse orizzontale, collegata con un galvanometro *G* (fig. 322).

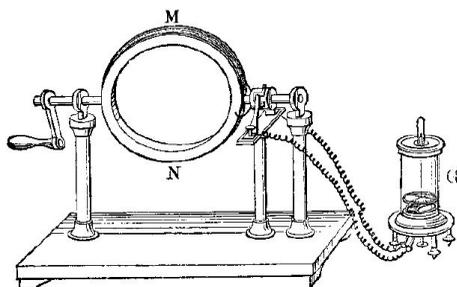


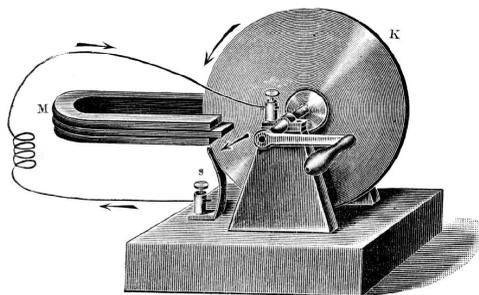
Fig. 322.

Apparecchio per correnti indotte.

Essendo qui attivo il campo terrestre, si capisce che non sarà indifferente l'orientazione dell'apparecchio, come nelle esperienze precedenti non era indifferente la posizione delle spire rispetto al magnete induttore. Le linee di forza del magnetismo terrestre dovendo ora passare entro la spirale, *MN*, l'asse di rotazione dovrà essere orientato in un certo modo, e cioè normalmente al meridiano magnetico: girando allora la spirale si produce una corrente indotta

ad ogni mezza rotazione, e le correnti sono alternativamente di segno contrario. Con una opportuna disposizione si può invertire la corrente nel filo conduttore che va al galvanometro, in modo da avere in questo una serie di correnti sempre nella stessa direzione, le quali, se si succedono con molta frequenza, finiscono col formare una corrente continua. Ecco dunque dell'elettricità prodotta col solo movimento, come la luce, come il calore: così, queste così apparentemente diverse forme dell'energia, si rivelano tutte come maniere di movimento dell'unico etere che coi suoi vortici tutto penetra e circonda.

Più opportunamente, invece del magnetismo terrestre, possiamo adoperare quello di un magnete artificiale, per la produzione di una costante corrente di induzione. Uno dei più semplici ed originali apparecchi è quello rappresentato dalla fig. 323.



Il disco *K* ruota fra i poli del magnete *M*. Il circuito della corrente si chiude sul disco stesso mediante l'asse di rotazione ed

Fig. 323. – Altro generatore di correnti indotte.

il contatto *s*. Girando il disco si produce una corrente indotta continua, e non occorre qui invertirla ad ogni mezza rotazione, come nell'apparecchio precedente.

Sulla corrente di induzione si può fare anche un altro

esperimento che ne rivela bene il suo carattere di reazione. Se sotto ad un ago magnetico si fa rotare rapidamente un disco di rame, l'ago si mette a rotare seguendolo come se fosse trascinato dal vortice dell'aria; ma l'esperimento riesce egualmente anche interponendo una lastra di vetro, cosicchè si può dire che l'ago è invece trascinato da una specie di vortice magnetico.

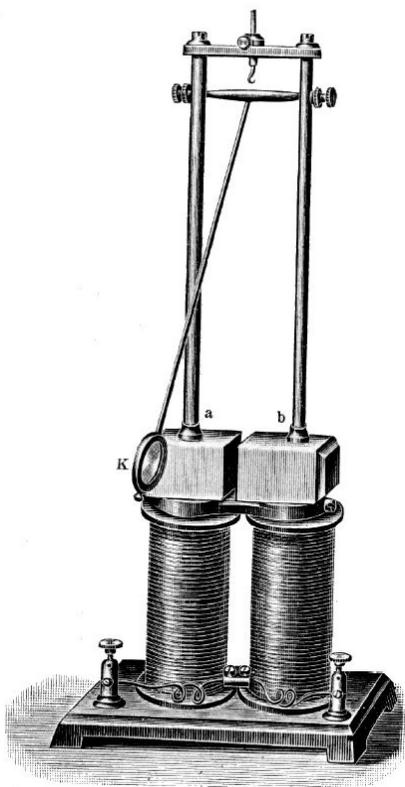


Fig. 324.
Pendolo elettromagnetico.

Anche più evidente è questa reazione nel cosiddetto pendolo di *Waltenho-fen* (fig. 324). Il grosso pendolo di rame che oscilla fra i poli di un forte elettromagnete vi si ferma istantaneamente, nonostante la sua velocità e la sua forza viva, appena l'elettromagnete è attivato, come se incontrasse una repentina resistenza o diventasse di ferro.

Le correnti indotte servono come segnali nel primo telegrafo elettrico che abbia regolarmente funzionato. Gauss di Göttingen, direttore di quell'osservatorio, e Weber, direttore dell'Istituto di fisica, congiunsero nel 1833 con un telegrafo di loro invenzione i due stabili-

menti distanti qualche chilometro.



Fig. 325. – Carlo Federico Gauss.

Il trasmettitore (fig. 327) consisteva in un rocchetto di induzione I che si muoveva davanti a un magnete permanente M ; le correnti così generate facevano muovere alla stazione ricevente l'ago di un galvanometro G (fig. 328), e questi movimenti venivano osservati nello specchio S , con un cannocchiale ed una scala.

Mediante un commutatore si invertiva la direzione della corrente, e così l'ago oscillava a destra e a sinistra, con movimenti sui quali si poteva formare un alfabeto convenzionale, simile a quello Morse. Questo telegrafo funzionava dunque senza pila con le sole correnti di induzione.

I due grandi amici, la cui entusiastica operosità nell'indagine scientifica ha portato tanti frutti, si scambiarono per un decennio i loro pensieri lungo questa prima linea telegrafica (un capo della quale all'osservatorio si conserva ancora oggi) (fig. 329), prima che l'umanità pensasse ad utilizzare questa grande invenzione che oggi domina il mondo. È veramente commovente udire

le considerazioni profetiche del grande pensatore Gauss, sopra il valore e l'avvenire di questa invenzione; egli le faceva all'amico Schumacher in una lettera del 1835, in un momento di malumore per la meschinità dei mezzi messi a sua disposizione.

«In altre condizioni e con altri mezzi – scriveva – si potrebbe probabilmente arrivare ad applicazioni pratiche importanti e di grande interesse anche per il gran pubblico. Ma con un assegno annuale di 150 talleri, per l'osservatorio astronomico e magnetico insieme, non si fanno davvero dei grandi esperimenti. Ed io credo che la telegrafia elettroma-



Fig. 326. – Guglielmo Edoardo Weber.

gnetica potrebbe esser portata ad una grande perfezione con risultati tali da far quasi sgomento. L'imperatore di Russia potrebbe, in un minuto, mandare i suoi ordini da Pietroburgo a Odessa, purchè un filo di rame congiungesse le due città. E non credo affatto impossibile trasmettere un dispaccio in modo affatto meccanico, come si suona un pezzo di musica già tracciato sul cilindro di

un *carillon*. E con cento milioni di talleri si potrebbe comunicare anche con gli antipodi.»

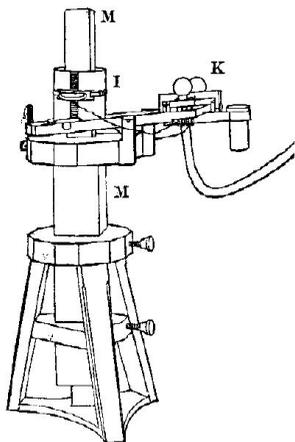


Fig. 327. – Telegrafo di Gauss. – Trasmettitore.

Molti più di quei cento milioni di talleri che a Gauss parevano un parto della fantasia, sono stati spesi in quella rete telegrafica che copre oggi il mondo con le sue maglie. I soli cavi sottomarini che oggi ci congiungono con gli antipodi hanno una lunghezza di 300.000 chilometri, cioè potrebbero circondare sette volte tutta la terra, e costano certamente il triplo di quei cento milioni sognati da Gauss. E proprio per superare le

grandi resistenze dei cavi si è dovuto, almeno per l'apparecchio ricevitore, ritornare all'ago oscillante del galvanometro, come nell'apparecchio di Weber. Quanti in-

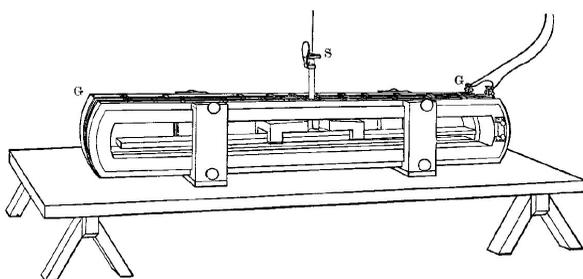


Fig. 328. – Telegrafo di Gauss. – Ricevitore.

ventori non si sono arricchiti nel perfezionamento e nella costruzione degli apparecchi telegrafici,

mentre i due scienziati di Gottinga seguirono solitari e modesti i loro studi ricercando le leggi dei fenomeni senza affatto pensare al loro materiale interesse! Nel 1899 fu, è vero,

inalzato un monumento a queste due grandi stelle doppie del cielo scientifico; ma è doloroso confessare che ci furono non poche difficoltà a raccogliere i fondi necessari. Dall'altro lato, vogliamo qui ricordare che Werner von Siemens costruttore, insieme coi suoi fratelli, di tante linee telegrafiche che potrebbero far quattro volte il giro della Terra, e di più che 15 mila chilometri di cavi sottomarini, ha favorito con generosa dote la fondazione dell'Istituto Fisico imperiale di Berlino, oggi centro attivissimo di ricerche: per cui non è più possibile che grandi e geniali idee di studiosi debbano rimanere sterili per mancanza di mezzi, come abbiám visto essere avvenuto per il primo telegrafo dei due grandi fisici di Gottinga.

La corrente di induzione è anche il mezzo per cui oggi la parola umana va direttamente dalla bocca all'orecchio, attraverso tutta l'Europa, col telefono, diventato ausiliario prezioso del telegrafo. La costruzione del telefono, di questo mirabile stru-

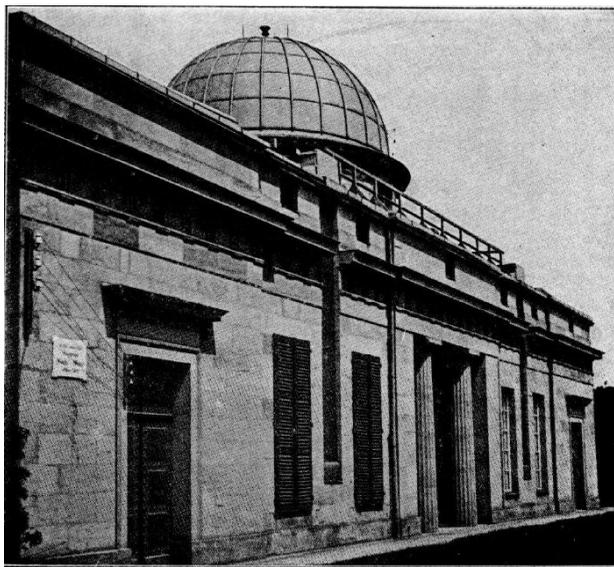


Fig. 329. – L'osservatorio di Gottinga col primo telegrafo di Gauss e Weber.

mento che ha si può dire realizzato un sogno, è meravigliosamente semplice. Come il telegrafo Gauss-Weber, anche il telefono nella sua primitiva disposizione non ha bisogno di corrente esteriore, a meno che non si voglia congiungerlo, come ordinariamente si fa, col microfono.

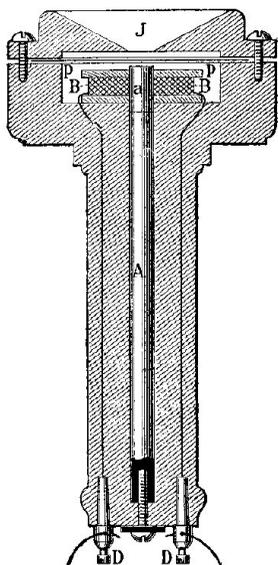


Fig. 330. - Telefono.

Gli apparecchi delle due stazioni sono identici, e come quello della fig. 330. In un imbuto di legno si trova un magnete *A*, e a poca distanza da uno dei suoi poli è tesa una lamina sottile di ferro *pp*, mentre l'estremità del magnete è circondata da un rocchetto di induzione *BB*. Uno stesso filo conduttore *DD* si avvolge nei rocchetti dei due apparecchi eguali, e congiunge così le due stazioni (fig. 331). Ecco tutto quello che basta a trasmettere per lo spazio la parola umana, in tutte le lingue, con tutte le sue più sottili inflessioni di voce, di tono, di sentimento!

Quando si parla davanti ad uno degli apparecchi, la lamina metallica vibra insieme

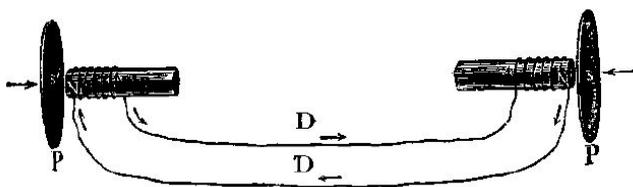


Fig. 331. - Telefono trasmettitore e ricevitore.

con l'aria, riproducendo tutte le particolari ondulazioni;

ma così facendo si allontana e si avvicina al magnete; e poichè essa è magnetizzata per induzione, si comprende, come già abbiamo veduto, che essa con questi suoi movimenti oscillatori farà nascere nel rocchetto correnti indotte alternate di reazione, con lo stesso ritmo delle vibrazioni sonore. Queste correnti percorrendo tutto il circuito e quindi anche l'altro rocchetto, faranno aumentare e diminuire alternativamente il magnetismo del magnete nell'apparecchio ricevitore, e perciò secondo il ritmo delle vibrazioni della lastra. Ma queste variazioni nella forza magnetica producono naturalmente movimenti corrispondenti nella lamina di ferro, la quale in fine vibra ripetendo i suoni che si producono presso l'altra lamina nell'altra stazione.

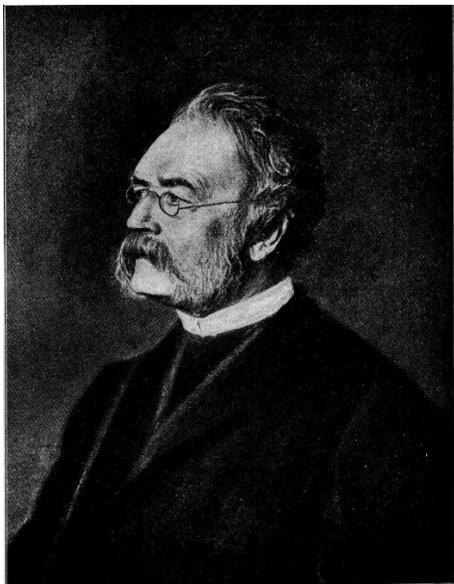


Fig. 332. – Werner von Siemens.

Il telefono nella forma primitiva che gli diede il Bell, è ancora oggi applicato, ma ha avuto poi trasformazioni notevoli specialmente per opera del Siemens, sebbene il principio rimanga il medesimo. La fig. 330 mostra un apparecchio telefonico nelle sue parti interne ed esterne, e coi suoi apparecchi accessorî. Il più importante fra

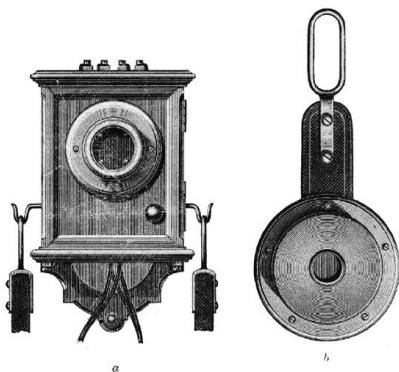


Fig. 333.

Apparecchio micro-telefonico.

da tritume di carbone. La corrente della pila traversando il microfono cambia periodicamente di intensità secondo le vibrazioni sonore della lamina, e così eccitando il magnete della stazione ricevitrice, riproduce nel telefono i suoni con sufficiente intensità. Perchè la pila non si indebolisca inutilmente, il circuito si chiude solamente durante le comunicazioni, e il contatto avviene quando si stacca il telefono dal suo gancio (fig. 334). Come nella telegrafia, anche nella telefonia occorrerebbero due fili sulla linea, ma il circuito si può chiudere con la terra, come già abbiamo visto, e la comunicazione può farsi per-

questi è il microfono, che sopperisce alla perdita di energia delle correnti per la resistenza nella linea. In tal caso, alla stazione trasmittente non si parla entro il telefono ma sopra il microfono, già descritto, il quale sta sotto una lastra sottile ed elastica di legno, e che qui è formato, non da cannelli ma

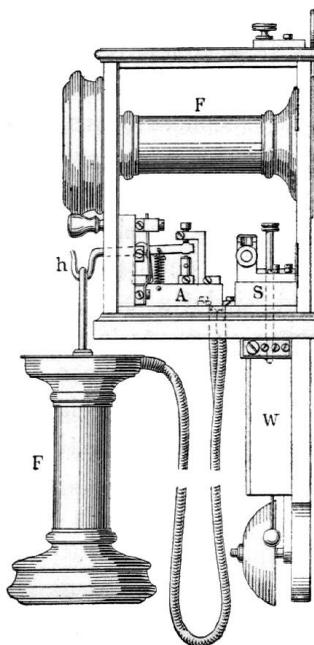


Fig. 334. — Lo stesso internamente.

fettamente con un filo solo. Solamente nelle linee lunghissime che congiungono telefonicamente le città a distanze di centinaia e migliaia di chilometri, è necessario il filo di ritorno, perchè le condizioni elettriche del terreno a grande distanza possono spesso esser diverse, e si hanno allora correnti elettriche di origine terrestre (correnti telluriche) le quali si sovrappongono alle correnti telefoniche disturbando le comunicazioni. Nelle linee telegrafiche avviene qualche volta che queste correnti telluriche siano più forti delle correnti stesse che agiscono sugli apparecchi. Questo succede specialmente nelle cosiddette *burrasche magnetiche*, indicate dalle oscillazioni irrequiete degli aghi magnetici e contemporanee per lo più ad aurore polari nelle regioni nordiche. Del resto, queste durevoli e forti correnti terrestri che rendono talora impossibile le comunicazioni telegrafiche sopra intere regioni, non sono accompagnate da alcun altro visibile fenomeno naturale. Col doppio filo l'inconveniente di queste correnti è eliminato, e perciò, talvolta, le comunicazioni fra le città lontane sono più chiare di quelle nell'interno delle città.

Le correnti che devono agire sugli apparecchi telegrafici sono molto più forti di quelle telefoniche, e quando i fili telegrafici son molto vicini a quelli telefonici ne derivano su questi delle correnti di induzione che disturbano le comunicazioni; perciò si deve possibilmente tenerli lontani.

I suoni trasmessi dal telefono alla stazione ricevitrice non sono tanto forti da farsi sentire a distanza; occorre

perciò un segnale di chiamata, che è un campanello elettrico, simile a quelli usati comunemente nelle abitazioni e negli uffici (fig. 335).

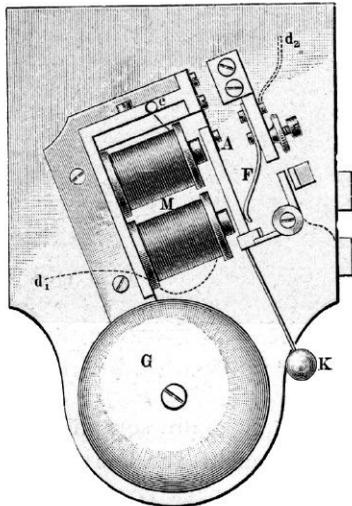


Fig. 335.
Campanello elettrico.

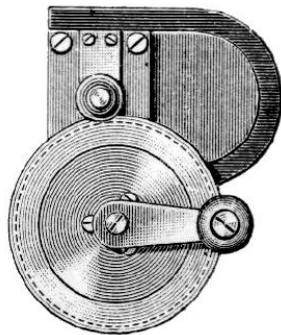


Fig. 336. - Generatrice di corrente per il campanello dei telefoni.

L'ancora *A* di un elettromagnete *M* porta il martelletto *R*, il quale batte sulla campana *G* quando l'elettromagnete è percorso dalla corrente: la corrente entra nel filo dell'elettromagnete passando per la stessa ancora, per mezzo della molla di contatto *F*: ma quando l'ancora è attratta il contatto si interrompe e, cessando la corrente, l'ancora ritorna a posto per essere di nuovo attratta. Così la corrente si interrompe periodicamente, e l'ancora oscilla rapidamente, percotendo il campanello con una serie di colpi molti rapidi.

La corrente necessaria a far sonare il campanello deve essere in generale assai più intensa di quella necessaria per fare agire il microfono: perciò nelle lunghe linee di

città si è aggiunto un apparecchio di induzione, una specie di piccola dinamo, che girata a mano con una manovella, produce la corrente necessaria a fare agire la sone-ria alla stazione ricevitrice (fig. 335).

In un impianto telefonico si richiede che ogni apparecchio possa comunicare con un altro qualunque, e perciò è necessaria una stazione centrale alla quale tutte le linee fan capo, e che quindi può unirle secondo la richiesta, e separarle di nuovo quando è terminata la conversazione. All'ufficio centrale di una rete telefonica tutte le linee si riuniscono e terminano in un *quadro indicatore* (fig. 336), dove ogni linea porta il proprio numero, e la comunicazione si stabilisce in modo semplicissimo con un filo metallico portante due spine alle estremità. La tavola VIII mostra l'ufficio centrale telefonico di Berlino.

Avendo già veduto che una spirale conduttrice percorsa dalla corrente agisce come un magnete, comprenderemo senza difficoltà che una tale spirale potremo adoperarla in luogo di un vero magnete, per produrre correnti di induzione, e ripetere con essa tutte le esperienze fatte sopra l'induzione. Per esempio, avvicinando e allontanando la spirale *A* (chiusa su se stessa ma senza corrente) dall'altra *B* percorsa da corrente (fig. 337), avremo nella prima una corrente di induzione, come se la muovessimo in presenza di un magnete. Ma possiamo, anche senza muovere nè l'uno nè l'altro dei due circuiti, interrompere e ristabilire la corrente in *B*: ad ogni apertura o chiusura del circuito avremo in *A* una corrente indotta

come se allontanassimo e avvicinassimo con grande rapidità il circuito *B*. Ma la corrente di induzione cessa in *A* appena la corrente si stabilisce regolarmente e costantemente in *B*; solamente quando in *B* si ha variazione della corrente, comparisce la corrente indotta in *A*.

Per ottenere il massimo effetto, si ricorre all'apparecchio conosciuto col nome di *Rocchetto di Ruhmkorff*, o d'induzione, rocchetto di cui la fig. 337 rappresenta schematicamente tutto il principio. Il circuito primario, ossia il rocchetto interno, è percorso dalla corrente primaria che si interrompe automaticamente e periodicamente mediante un elettrocalamita e una molla, come precisamente avviene nel campanello elettrico. Ad ogni apertura e chiusura di corrente nel primario, si ha nel circuito secondario una corrente indotta, che ha proprietà notevolmente diverse da quella primaria che l'ha generata.



Fig. 337. – Quadro di un ufficio telefonico.

La differenza più importante è che questa corrente indotta è una *corrente alternata*, la cui direzione si inverte

con la stessa rapidità con cui si interrompe la corrente primaria.

Ma non è propriamente questo che caratterizza il rocchetto di induzione e costituisce il suo valore. Il rocchetto Ruhmkorff è un *trasformatore* dell'energia elettrica. Abbiamo visto che una deficienza delle pile consiste nel fatto che esse danno una piccolissima differenza di potenziale, mentre per certe ricerche e per certe applicazioni si richiedono forti tensioni; per esempio per la produzione delle scariche. Se si vuole fare a meno di ricorrere alle macchine elettriche così instabili e capricciose, e utilizzare come sicura e costante sorgente di energia elettrica la corrente delle pile o anche delle dinamo, anche per le ricerche in cui si richiedono grandi tensioni, cioè potenziale elevato, bisogna *trasformare* la corrente, cioè aumentare i *Volta* a spese degli *Ampère*. Questo appunto avviene nel rocchetto di induzione.

Una trasformazione inversa avviene nei *trasformatori* industriali, tanto applicati nel cosiddetto *trasporto elettrico dell'energia*, che consiste nel trasportare l'energia e utilizzarla a molta distanza dal luogo dove viene fornita o naturalmente prodotta. La natura ci offre in luoghi remoti e montani, sorgenti inesauribili di energia meccanica nelle cascate d'acqua (Vedi la Cascata del Niagara, tav. IX). La forza di queste cadute d'acqua si utilizzava un tempo solamente sul luogo stesso, impiegandola per lo più a muovere rote di mulini o di altri opifici; oggi invece si trasporta a molti chilometri di distanza nelle città come luce e forza motrice. L'elettricità compie questo

miracolo.

Una turbina mossa dall'impeto dell'acqua cadente mette in moto una macchina dinamo-elettrica, e si produce così una corrente elettrica, la quale sopra fili isolati corre lontano ed è ricevuta da un'altra macchina simile, la quale dalla corrente è messa in movimento e così restituisce l'energia meccanica, che può essere impiegata a mettere in moto le macchine di un opificio o anche il modesto tornio nella bottega di un operaio.

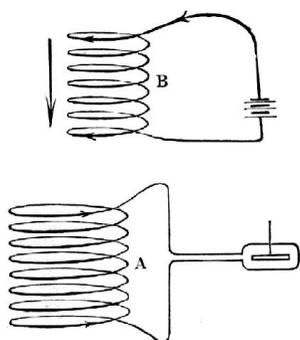


Fig. 338.

Spirali per l'induzione.

Per queste applicazioni sono necessarie correnti di intensità notevole, ma di basso potenziale, le quali per il loro trasporto richiederebbero conduttori così grossi e perciò così costosi, che nella maggior parte dei casi tale trasporto riuscirebbe quasi altrettanto caro quanto a condurre l'acqua stessa dalla sorgente all'officina. Invece, mediante un trasformatore, il trasporto dell'energia elettrica diventa economicamente non solo possibile ma vantaggioso. La corrente elettrica generata alla sorgente è ad elevato potenziale e a bassa intensità, tale cioè da potersi condurre a distanza con conduttori sottili e con piccola perdita; al luogo ove deve venire utilizzata, è trasformata in altra corrente di equivalente energia, con forte intensità e basso potenziale.

In questo modo durante l'esposizione elettrica di

Francoforte nel 1891 fu trasportata e utilizzata una parte dell'energia idraulica del Neckar. A Lauffen sul Neckar, una turbina della potenza di 300 cavalli metteva in moto una dinamo che forniva 4000 Ampère a 55 Volta: un trasformatore riduceva la corrente a 27.000 Volta e 8 Ampère, e questa, su fili poco diversi da quelli ordinari telegrafici, era condotta a Francoforte a 175 km. di distanza. Qui veniva di nuovo trasformata e riportata alla tensione di 100 Volta, ottenendosi circa 2000 Ampère, cosicchè la perdita dell'energia originaria si riduceva a circa il 10 per 100.

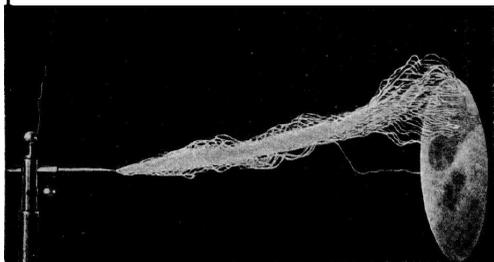


Fig. 339. – Scariche d'induzione.

Le grandi tensioni adoperate in questi casi richiedono particolari precauzioni per l'isolamento dei conduttori sulla linea e negli apparecchi. Il rivestimento di gomma

e seta non è più sufficiente, e per evitare che saltino le scariche fra le spire dei rocchetti, bisogna che tutto il trasformatore sia immerso nell'olio.

Il trasporto elettrico dell'energia si è ormai diffuso in tutti i paesi facendo grandi progressi. Oggi si sa, sopra tre soli fili non più grossi di una matita, trasportare per oltre 300 km. 10.000 cavalli di energia con la perdita del solo 10%. L'energia elettrica così trasportata in tutto il mondo è forse di 2 milioni di cavalli. Ma che cosa è questa cifra in confronto delle energie naturali che sono

disponibili? Si è calcolato che il solo movimento della marea sulle coste francesi dell'Atlantico fornirebbe 10 milioni di cavalli.

La trasformazione della corrente elettrica ha avuto anche una parte importante nella diffusione sempre maggiore delle *ferrovie elettriche*, poichè anche qui il problema consiste nel trasportare e distribuire sulla linea la corrente, e ridurla poi al basso potenziale necessario per fare agire convenientemente le dinamo collocate sui carri e connesse con gli assi delle ruote. La tavola X dà un'idea dei diversi sistemi di ferrovie elettriche, e la fig. 340 rappresenta una locomotiva elettrica di Siemens e Halske, che corre con la velocità di 160 chilometri all'ora, cioè doppia di quella dei treni ordinari. Ma il vero vantaggio non sta in questa grande velocità, possibile solo in certe linee, ma nella sicurezza e semplicità del meccanismo e nell'economia della forza motrice.

Sulle linee di montagna, si può con grande economia utilizzare l'energia naturale delle cadute d'acqua: basta pensare, che per esempio, la ferrovia del Brenner costa per solo carbone più di un milione all'anno, mentre lungo il suo percorso la natura offre inesauribili sorgenti di energia meccanica nelle cascate alpine. Nei treni a vapore si consuma carbone anche in discesa per mantenere la pressione necessaria a dare il controvapore; invece, in un treno elettrico si può disporre il meccanismo in modo da utilizzare la gravità nella discesa del treno e generare energia elettrica che sarà poi spesa nella trazione.

Ma è ormai tempo di conoscere il principio e il fun-

zionamento di queste macchine dinamo-elettriche che sono, si può dire il fondamento di tutta la moderna elettrotecnica.

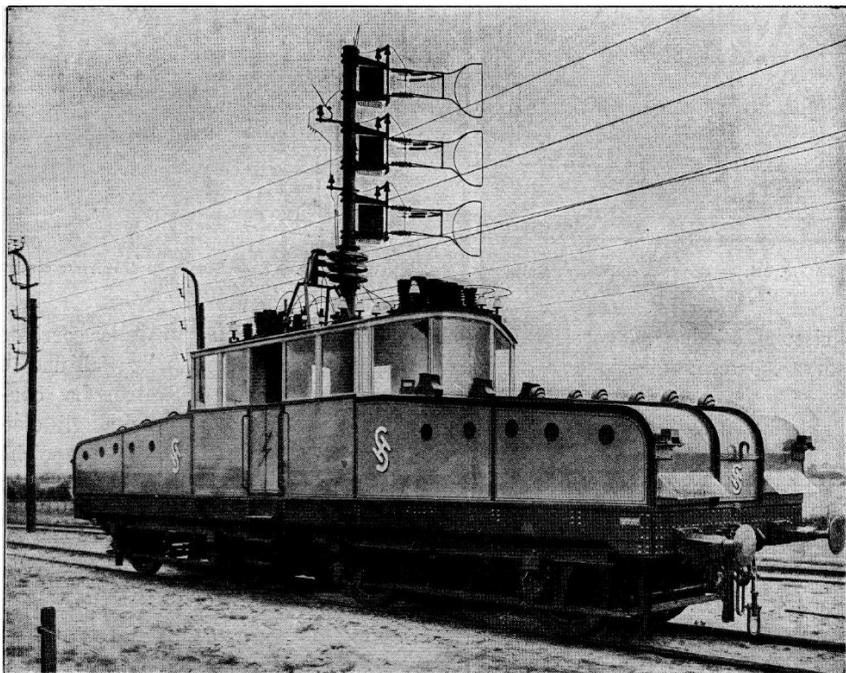


Fig. 340. – Locomotiva elettrica Siemens-Halske.

Immaginiamoci dunque un magnete permanente M nella solita forma di ferro di cavallo, davanti ai cui poli ruotano due rocchetti di induzione S e S_1 ; gli estremi del filo terminano a due anelli fissati sull'asse di rotazione, sopra i quali strisciano due molle di contatto C e C_1 (fig. 340). Ecco una semplicissima macchina *a correnti alternate*, di cui siamo ormai in grado di intendere perfettamente il funzionamento. Quando un rocchetto si allontana, per esempio, dal polo Nord del magnete e si porta

di fronte al polo Sud, è percorso da una corrente di induzione di reazione, che con la sua azione magnetica si oppone a tal movimento; quando il medesimo rocchetto passa dal polo Sud al polo Nord, è percorso da una corrente di segno contrario. Lo stesso avviene nell'altro rocchetto e le correnti sono in realtà contrarie, in ogni istante, nei due rocchetti; ma se l'avvolgimento del filo è in essi invertito dall'uno all'altro, si comprende come le due correnti si sommino e percorrano il circuito nello stesso senso: l'inversione avviene ad ogni mezzo giro quando i rocchetti passano davanti ai poli. La macchina è dunque un *alternatore*, cioè una dinamo che dà correnti alternate, la cui intensità dipende principalmente dal magnete.

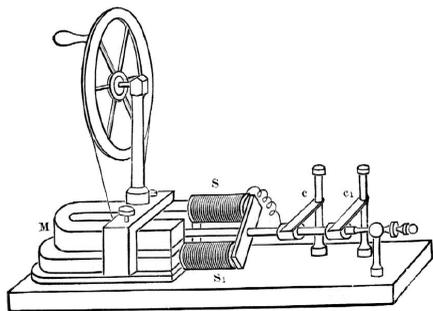


Fig. 341.

Generatore di corrente alternata.

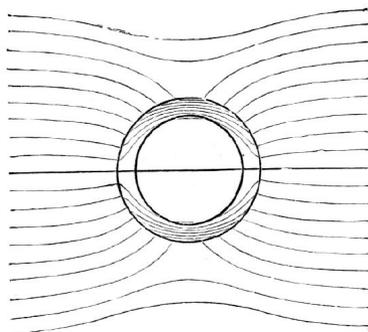


Fig. 342.

Generatore di corrente continua.

È facile anche capire che al magnete permanente si può sostituire con vantaggio un elettromagnete di cui possiamo regolare la forza e portarla al valore massimo. Ma una macchina a correnti alternate non si presta a tale

disposizione, perchè naturalmente i poli del magnete cambierebbero continuamente ad ogni alternazione. Bisogna ricorrere allora alla macchina di Pacinotti e Gramme, il cui principio è in sostanza rimasto in tutte le dinamo-elettriche che danno correnti continue.

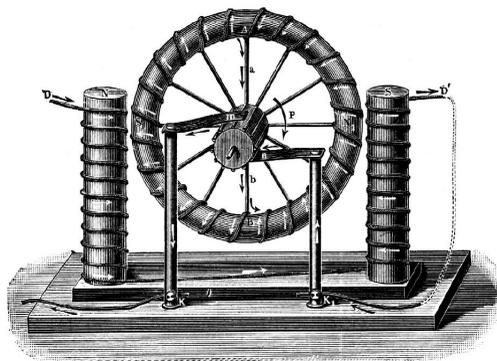


Fig. 343.
Macchina Pacinotti-Gramme.

L'anello Pacinotti, rappresentato nella sua forma più sempli-

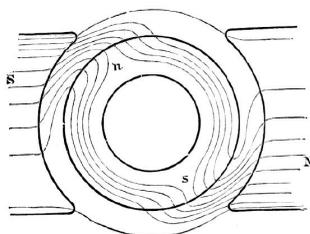


Fig. 344. - Spostamento delle linee magnetiche nell'anello.

ce dalla fig. 342, è di ferro, e ruota fra i poli Sud e Nord di due elettromagneti, ed ha l'ufficio di raccogliere le linee di forza magnetica, le quali invece di correre in linea retta si piegano passando quasi tutte entro l'anello, come si vede dalla fig. 343. Intorno all'anello è avvolto un filo di rame, e ogni due spire se ne distaccano, a modo di raggi, fili diritti, che si raccolgono senza toccarsi sopra un cilindro isolante posto sull'asse di rotazione; solamente due di questi fili, quello più alto e quello più basso, cioè diametralmente opposti, sono in contatto con due molle o spazzole fra le quali esternamente si chiude il circuito.

Le correnti indotte che si generano nella rotazione dell'anello sono indicate dalle frecce bianche: la corrente è massima nelle spire orizzontali, minima in quelle verticali in *A* e *B* dove cambia di segno. Perciò in tutte le spire delle due metà dell'anello, a destra e a sinistra, le correnti si sommano e confluiscono coi due fili corrispondenti alle posizioni *A* e *B*, nei quali la corrente conserva la stessa direzione e un'intensità quasi costante,

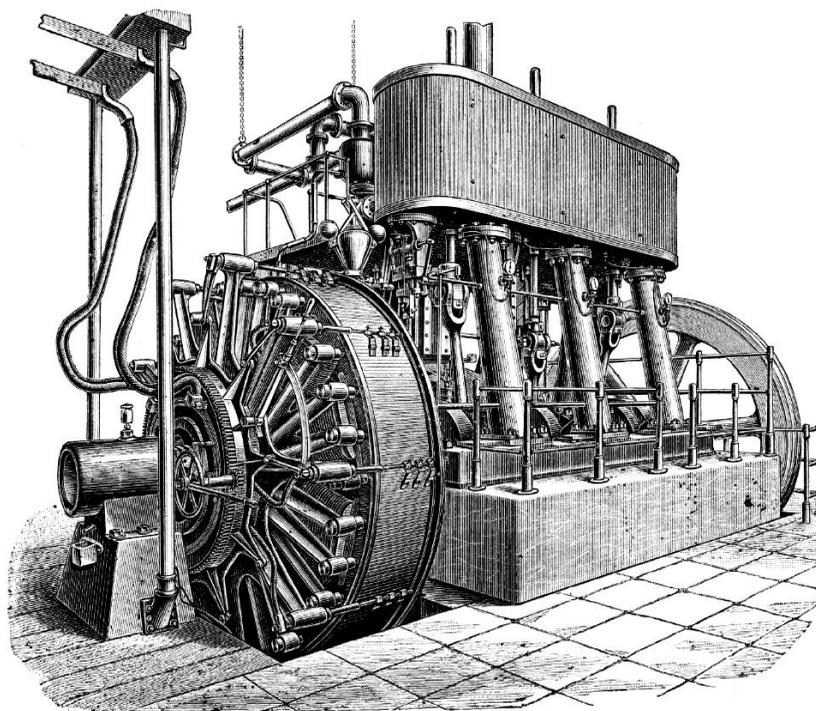


Fig. 345. – Macchina Siemens e Halske col motore.

entrando dall'uno e uscendo dall'altro. La corrente stessa eccita gli elettromagneti *N* e *S*, e poichè l'anello con-

serva sempre un po' di magnetismo residuo, la macchina è sempre pronta a funzionare, e a poco a poco si eccita fino ad un massimo di velocità a cui corrisponde il massimo rendimento.

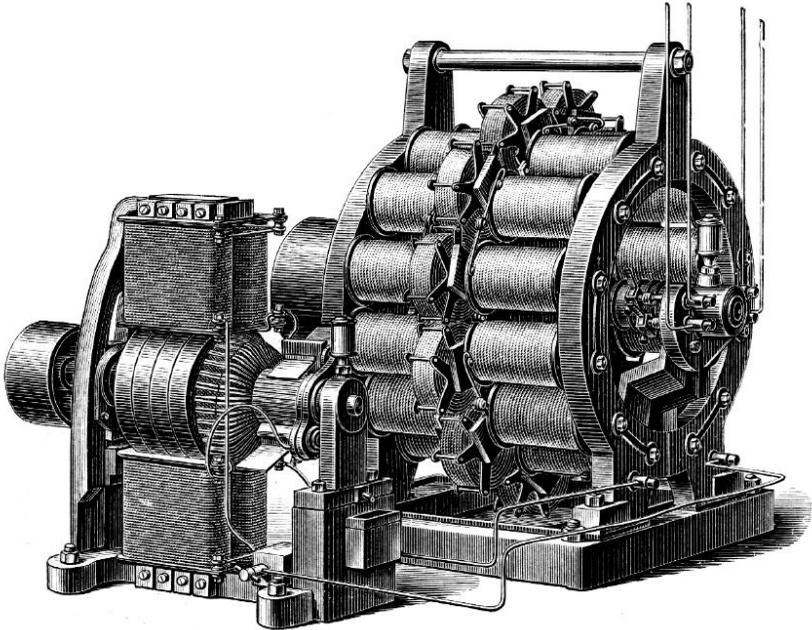


Fig. 346. – Macchina per correnti alternate.

Oggi si costruiscono dinamo-elettriche di dimensioni colossali e di forme svariatisime sulle quali non ci possiamo fermare. Ci contentiamo di mostrare qui una dinamo-elettrica Siemens e Halske col suo motore a vapore (fig. 345), mentre la tavola XI dà un'idea di una officina centrale per la produzione della corrente.

Tornando al rocchetto d'induzione, abbiamo visto, che la tensione delle correnti indotte cresce con la frequenza delle interruzioni della corrente primaria. Con mezzi meccanici questa frequenza non si può accrescere oltre un certo limite, ma il Tesla, con felice pensiero, ha adoperato come corrente intermittente la stessa scarica elettrica che sappiamo essere oscillante, e così ha aperto

la via a interessanti indagini su correnti indotte di una frequenza e di una intensità non mai raggiunte.

La fig. 347, fa vedere la disposizione dell'apparecchio di Tesla. Il rocchetto d'induzione *A*, è congiunto con le armature interne di due condensatori *C C*, mentre le armature esterne sono unite col circuito primario *P* di un altro rocchetto o trasformatore, e questo circuito è interrotto in *J*. I condensatori caricati dalla corrente del rocchetto *A* si scaricano in *J* con scariche oscillanti, che han-

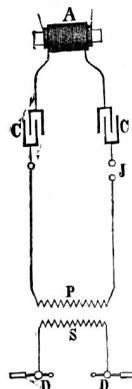


Fig. 347. —Disposizione dell'apparecchio di Tesla. hanno una frequenza da 100 mila a 1 milione di oscillazioni al secondo. Dalla corrente alternata del rocchetto *A*, le armature interne dei condensatori vengono portate a potenziali diversi, e così pure, invertiti i segni, le esterne; e la scarica in *I* riporta l'equilibrio. Ad ogni scarica si ha dunque nel circuito *P* del trasformatore una corrente oscillatoria di enorme frequenza, fino a 1 milione di oscillazioni al secondo, la quale genera una simile corrente nel secondario *S*, ma con enorme aumento di potenziale: fra *D* e *D* avvengono le scariche, che in queste condizioni presentano effetti sorprendenti e singolari.

Prima di tutto, è da notare che queste correnti Tesla, nonostante la loro enorme tensione, non sono pericolose, mentre lo sarebbero moltissimo correnti di egual tensione con frequenza ordinaria. Il nostro corpo può sop-

portare e quasi non sentire una corrente continua anche molto forte che lo traversi, ma gli sono invece insopportabili e letali le alternazioni come quelle delle correnti indotte, le quali provocano nei muscoli le contrazioni osservate per la prima volta e inconsapevolmente dal Galvani nella rana, con l'aprire e chiudere il circuito formato dalla coppia rame-zinco. Così mentre non è pericoloso ricevere tutta la corrente continua di una dinamo toccando i due poli, può esser pericolosa la scossa che si ha nel primo contatto, e perciò bisogna chiudere il circuito con una debole corrente e poi farla rinforzare.

Invece, le correnti indotte alternative sono sensibili subito ancorchè leggerissime, per via del loro cambiamento di direzione. Si può spiegare che le correnti Tesla

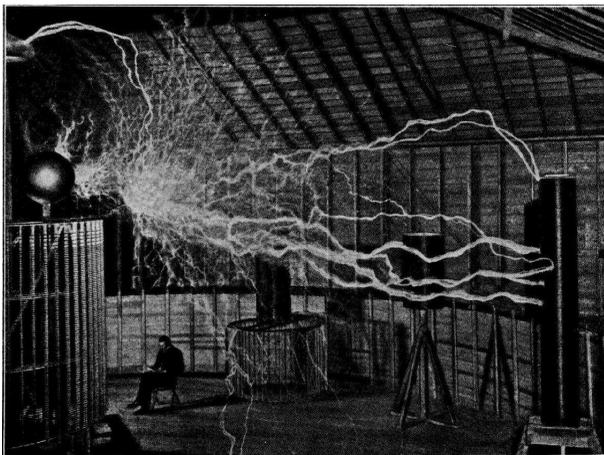


Fig. 348. — Il Tesla nel suo laboratorio.

non siano pericolose supponendo che la sensibilità dei muscoli abbia un limite con la frequenza delle oscillazioni, come l'hanno l'occhio e l'orecchio. Le correnti Tesla cambiano con tanta rapidità, che i muscoli ne risentono come un'azione continua e perciò sopportabile e innocua.

Anche con l'ordinario rocchetto Ruhmkorff si possono ottenere tutti i fenomeni dell'elettrostatica, come con una macchina elettrica, ma anche più intensi, perchè le differenze di potenziale che si possono raggiungere sono grandissime, e il fenomeno più caratteristico è quello delle scariche o scintille che scoccano fra gli estremi del circuito secondario e che con forti rocchetti arrivano a superare la lunghezza d'un metro. Anche più intensi e multiformi sono gli effetti delle scariche con l'apparecchio Tesla. La fig. 348, ci mostra l'inventore tranquillamente seduto nel suo laboratorio in mezzo a un turbine di lampi abbaglianti e fragorosi.

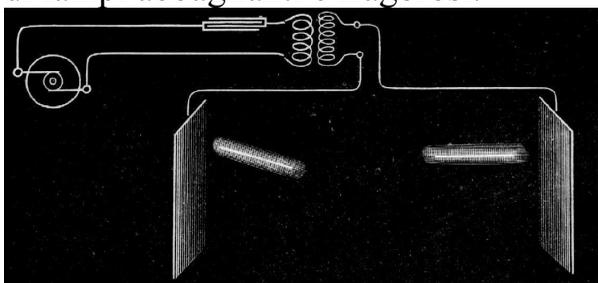


Fig. 349. – Fenomeni delle correnti Tesla.

Se gli estremi del circuito secondario del trasformatore terminano con due lastre metalliche (fig. 349) queste son

portate ad altissimi potenziali e fra esse si forma un campo elettrico oscillante in cui si producono svariati e sorprendenti fenomeni che a primo aspetto sembrano incomprensibili.

In questo campo elettrico, che da sè non si rivela in alcun modo, si accendono spontaneamente e brillano i tubi Geisler con gas rarefatti, semplicemente tenuti con la mano anche senza contatto con le lastre. Di luce anche più chiara, detta la *luce futura*, brilla la lampada Te-

sla formata di speciali sostanze minerali, anch'essa, si intende, senza contatto e senza corrente, ma solo portata nel campo elettrico ad alta frequenza. Abbiamo qui la vera *illuminazione senza fili*.

Il Tesla, che come già abbiamo detto, congiunge all'ingegno profondo una grandiosa brillante fantasia, è stato da questi suoi esperimenti condotto ad una geniale visione. Gli strati superiori dell'atmosfera sono rarefatti come i gas contenuti nei tubi Geisler, e le aurore polari che si accendono lassù, presentano una grande somiglianza coi fenomeni di questi tubi. Se noi potessimo spingere o portare il campo elettrico delle correnti Tesla fino a queste alte regioni dell'atmosfera, noi le vedremmo accendersi di tale luce che si potrebbe estendere sopra un'ampia regione e servire da illuminazione notturna. I progressi della Fisica e delle sue applicazioni, che hanno già conseguito tante meraviglie ci permettono invero di sognare un'epoca futura in cui si possa sostituire in questa maniera la luce del sole che verrà a poco a poco a mancare. Oggi tutte le energie utilizzate provengono dal sole, tranne l'energia chimica che ci fornisce la corrente nelle pile, e nell'elettricità di contatto. In questa abbiamo dunque l'ultima sorgente di energia veramente terrestre, su cui si possa in ogni caso fare assegnamento.

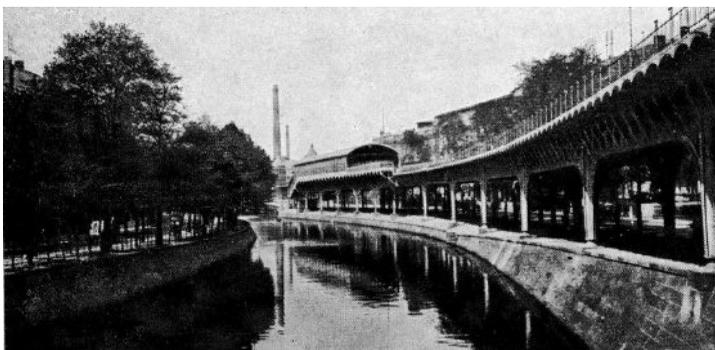


1. sul fiume.

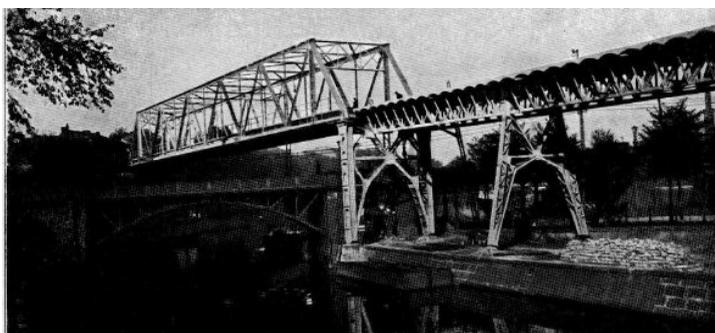


2. In un viale.

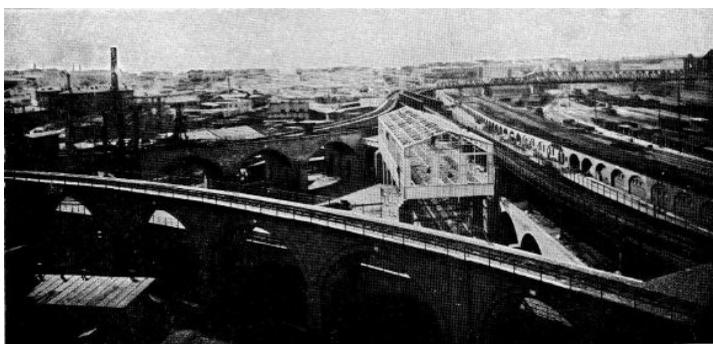
Ferrovie elettriche elevate.
Linea Barmen-Elberfeld-Vohwinkel



1. L'Hochbahn di Berlino – Tratto sulla sponda del fiume Halle.



2. L'Hochbahn di Berlino – Viadotto sulla linea di Anhalt.



3. Triangolo di riunione fra il giardino Zoologico e la piazza di
Potsdam.
Ferrovie elettriche elevate.

La telegrafia senza fili deriva dalla genialissima idea di valersi di tali campi elettrici oscillanti, per inviarne segnali da una stazione ad un'altra, senza alcuna artificiosa comunicazione

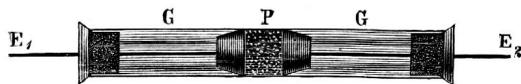
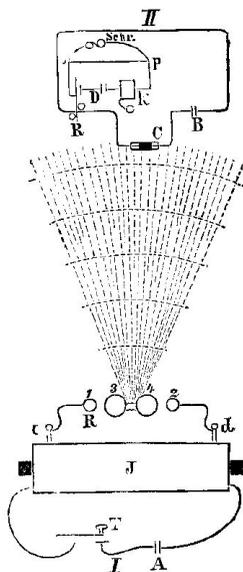


Fig. 350. - Coherer.

per mezzo di fili o di altro. Guglielmo Marconi è stato il

primo a ottenere pratici risultati, e deve essere considerato il vero fondatore di questa mirabile invenzione, sebbene si sia valso di mezzi conosciuti e trovati da altri. Uno degli organi più importanti della telegrafia senza fili è il *Coherer* (fig. 350), cioè un tubetto di vetro contenente un po' di polvere metallica, la quale quando sia investita dalle onde elettriche acquista la proprietà di condurre la corrente; e quindi, inserendo il tubetto in un *soccoritore o relais*, si potrà far agire a distanza un apparato Morse.



La fig. 351 mostra schematicamente gli apparecchi nelle due stazioni telegrafiche. Nella stazione mittente abbassando il tasto *T* si manda la corrente di una batteria *A* nel rocchetto *J* e si provoca una serie di scariche fra le sfere 1, 2, 3, 4. Le sfere intermedie 3 e 4 immerse nell'olio costituiscono l'oscillatore nella forma datagli dal Righi. Le oscillazioni che fra esse avvengono generano

Fig. 351. - Principio della Telegrafia senza fili.

onde elettriche che si irradiano in tutte le direzioni, e giungono fino al *Coherer C* dell'altra stazione congiunto con un *relais* e con una pila *B*. Sotto l'azione dell'onda elettrica la corrente passa, e si chiude il circuito di

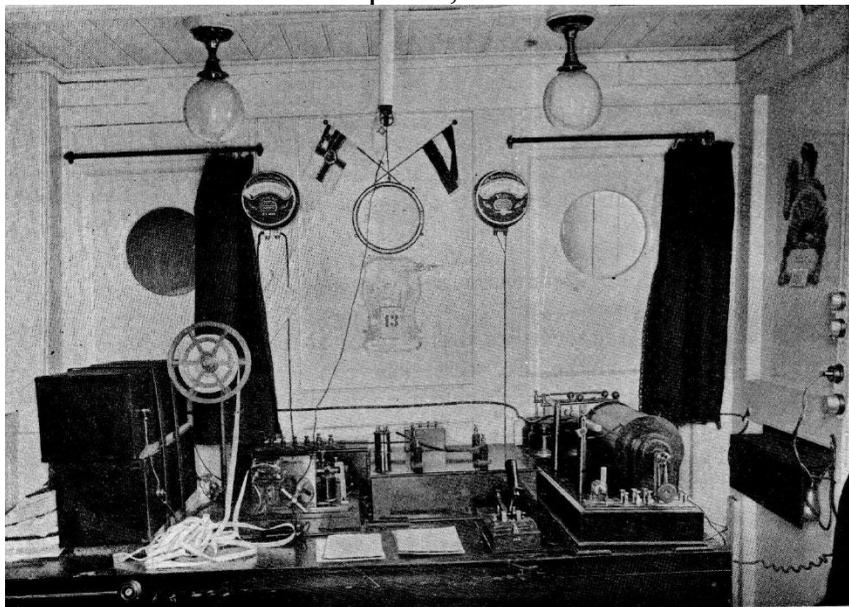


Fig. 352.

Stazione di telegrafia senza fili a bordo di un transatlantico.

un'altra pila *D* più forte, la quale fa agire l'apparecchio telegrafico Morse; il quale segna una breve lineetta, perchè, insieme con l'ancora scrivente si muove un martelletto *K*, che battendo sul *coherer* ne distrugge la conduttività e lo rende come prima quasi isolante, fino a che non arrivi un'altra onda elettrica. Il telegramma viene così formato di tanti fitti punti, i quali a volontà del trasmettitore possono formare linee brevi e lunghe, corri-

spondenti ai punti e alle linee dell'alfabeto Morse. La fig. 352 ci mostra la stazione della telegrafia senza fili a bordo di un transatlantico; e l'altra, fig. 353, la stazione marittima dell'isola di Helgoland, di dove si inviano i messaggi alle navi e si ricevono. Vi si vede l'antenna alta 40 metri, a cui son fissati i fili che trasmettono e ricevono le onde elettriche.

È veramente meraviglioso che le onde elettriche si trasmettano a così grande distanza senza essere disturbate dai tanti ostacoli che trovano, e seguano anche la curva terrestre. Ma è così, e già sulle coste inglesi e americane sono in attività stazio-

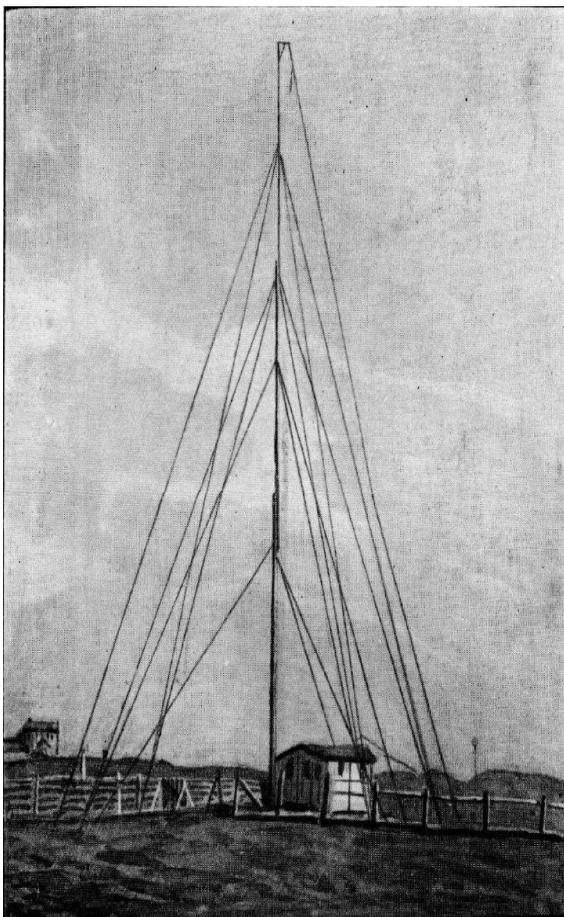


Fig. 353.
Stazione radiotelegrafica in Helgoland.

ni marconiane che comunicano regolarmente con le navi attraverso l'atlantico e anche fra loro; non vi è dubbio che presto la telegrafia senza fili sarà stabilita regolarmente fra l'Europa e l'America. Attualmente l'attività del Marconi e dei suoi imitatori è diretta ad accordare gli apparecchi delle due stazioni, in modo da ottenere che i segnali di una, avendo un dato periodo di frequenza, siano ricevuti solamente da quella a cui son destinati, senza disturbare le altre e senza poter essere intercettati.

Per ultimo non è da tacere che il Tesla, adoperando correnti alternate a potenziale sempre più elevato, fino a 50 milioni di Volta, pensa alla possibilità di lanciare le onde elettriche nello spazio, fino al pianeta Marte. L'idea di una tale telegrafia interplanetaria non può più dirsi ormai del tutto chimerica; la possibilità della sua attuazione dipende, per noi, soprattutto dai mezzi che vi impiegheremo, presupposto si intende, che esistano lassù intelligenze capaci di intendere il nostro appello e di rispondere in qualche modo.

g) Elettro-ottica.

Abbiamo già, più volte, rilevato strette relazioni fra luce ed elettricità, tanto da arrivare alla persuasione che i due fenomeni rappresentino forme di movimento di un medesimo mezzo, l'etere, differenti solo quantitativamente, come la luce e il calore raggianti. Il Faraday, con le sue ricerche sopra i dielettrici e con la scoperta della

rotazione del piano di polarizzazione in un campo magnetico, stabiliva già i primi fondamenti di un'ottica elettrica. Di poi Maxwell, con profonde ricerche teoriche, dimostrò matematicamente, che una perturbazione in un mezzo dielettrico, quale ci immaginiamo essere l'etere, deve generare onde elettromagnetiche, simili per la forma e la velocità alle onde luminose, con la differenza però, che le elettriche devono essere perpendicolari a quelle magnetiche. Se questa conclusione è vera, ne ri-

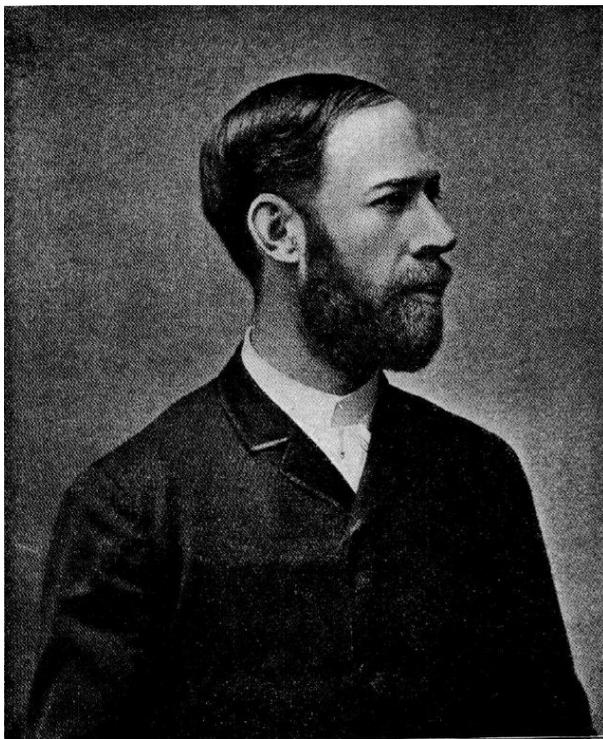


Fig. 354. – Enrico Rodolfo Hertz.

genialissimo (e pur troppo così presto perduto) fisico

sulta la possibilità di ottenere con l'elettricità fenomeni ondulatori simili a quelli del suono e della luce, tranne la differenza delle proporzioni. Questa analogia si estende fino alla formazione delle onde stazionarie, alla polarizzazione, alla riflessione e rifrazione. È stato merito del

Hertz, discepolo dell'Helmholtz, di avere dimostrate e rese evidenti e visibili queste proprietà delle onde elettriche.

Una grande difficoltà sperimentale era costituita dalla grande lunghezza delle onde elettriche. La loro velocità di propagazione nell'etere è, come quella della luce, di 300.000 km. al secondo: le più rapide oscillazioni di un condensatore elettrico hanno una durata di almeno 1 milionesimo di secondo; per cui le onde generate hanno una lunghezza di 300 metri, troppo grande per studiarne praticamente le proprietà; Hertz riuscì a rendere le scariche più rapide, adoperando speciali forme di conduttori, secondo considerazioni teoriche, e giunse ad avere scariche oscillatorie, la cui durata era di alcuni bilionesimi di secondo e la corrispondente lunghezza d'onda di pochi centimetri. Lunghezza pur sempre grandissima di fronte a quelle delle onde luminose, che sono solo di alcuni millesimi di millimetro.

Se un oscillatore di Hertz (fig. 355) è collocato ad alcuni metri di distanza da una parete metallica, le onde elettriche son da questa riflesse

come se fossero onde luminose; e le onde riflesse formano, incontrandosi con quelle incidenti, onde stazionarie, con nodi e ventri, le cui distanze si possono calcolare esattamente dalla durata dell'oscillazione e dalla di-

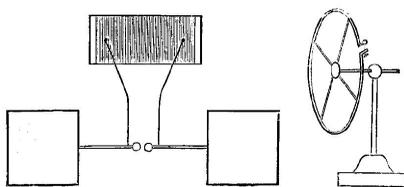


Fig. 355-356.

Oscillatore e risonatore di Hertz.

stanza fra l'oscillatore e la parete riflettente. Per osservare questi nodi e ventri l'Hertz costruì un *risonatore elettrico* (fig. 356), cioè un filo di rame piegato a cerchio, con una interruzione, di un diametro che è in un determinato rapporto con la lunghezza delle onde da misurare. Il risonatore di Hertz ha una funzione analoga a quella dei risonatori di Helmholtz, coi quali questi fece le sue sottili ricerche sopra le armoniche dei suoni composti; funziona, cioè, come una corda, che, per risonanza, è messa in vibrazione solamente dalle vibrazioni di un'altra corda che dà suoni di eguale altezza.

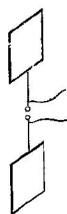
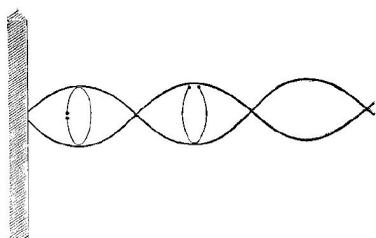


Fig. 357. – Onde elettriche stazionarie.

Portando il risonatore nello spazio dove si formano le onde stazionarie, si vedono brillare delle scintille nell'interruzione, quando il risonatore è in un

ventre; queste scintille ci indicano che le tensioni elettriche prodotte dalle onde si eguagliano nel circuito del risonatore. Le scintille cessano quando il risonatore si porta in una regione nodale. Così, si possono misurare le distanze dei nodi e le lunghezze d'onda, che si trovano essere in perfetto accordo con le previsioni teoriche. Nelle onde elettriche si dimostra pure che vi sono armoniche superiori, come nelle onde sonore.

L'oscillatore di Hertz genera due specie di onde: onde elettrostatiche, dovute alle periodiche variazioni dello stato elettrico dei due conduttori fra i quali avviene la scarica; e onde elettromagnetiche, dovute alle correnti periodiche che percorrono alternativamente il filo che congiunge i due conduttori. La forza

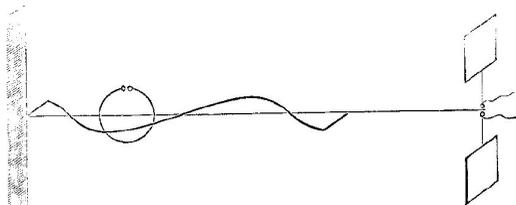


Fig. 358.

Onde elettriche ed elettromagnetiche.

magnetica e la forza elettrica lungo la linea di propagazione sono fra loro perpendicolari: per rivelare le oscillazioni elettriche, il risonatore deve esser disposto come nella fig. 357; per rivelare invece le onde elettromagnetiche, deve essere disposto come indica la fig. 358.

Le onde elettriche non traversano i metalli e, in generale, i conduttori, e ne sono perciò riflesse, come le onde luminose da uno specchio. La fig. 359 fa vedere l'esperimento. In *R* è l'oscillatore che produce le onde elettriche, le quali, riflesse dallo specchio metallico *M*, sono ricevute ed esaminate con l'apparecchio *C*. Come i raggi sonori e luminosi, così possiamo concentrare i raggi elettrici mediante uno specchio concavo; portando nel suo fuoco il risonatore, le scintille guizzano più forti, e si hanno scintille anche nel fuoco di un altro specchio concavo posto in faccia al primo. E si possono fare anche *lenti* che convergono i raggi elettrici, come le lenti di cristallo quelli luminosi: poichè lenti di vetro suffi-

cientemente grandi sarebbero troppo costose, si fanno di asfalto, materia che per i raggi elettrici è trasparente come il vetro. Di una lente di asfalto si determina la distanza focale, e, così, l'indice di rifrazione elettrica fra l'asfalto e l'aria.

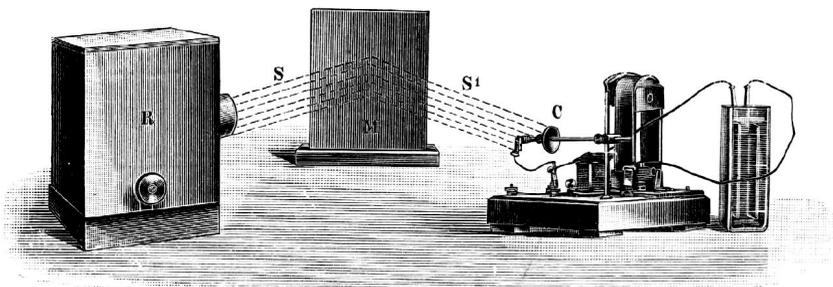


Fig. 359. – Riflessione delle onde elettriche.

Abbiamo già veduto, come un raggio luminoso, riflesso con un certo angolo da una lastra di vetro, viene polarizzato, e che questo angolo di polarizzazione è dipendente dall'indice di rifrazione del vetro. La polarizzazione si può osservare anche nelle onde elettriche. Un raggio elettrico che cade sopra un piano di zolfo ne è riflesso e polarizzato, se l'angolo di incidenza è di 60° (v. fig. 360). Allora cessa la riflessione, se la direzione delle oscillazioni è perpendicolare al piano di riflessione, precisamente come avviene in un raggio di luce. Similmente, la polarizzazione di un raggio elettrico può ottenersi anche interponendo sul suo cammino una grata di fili paralleli: in tal caso le oscillazioni elettriche si polarizzano rettilineamente nella direzione dei fili e il raggio così polarizzato, mentre traversa perfettamente un'altra

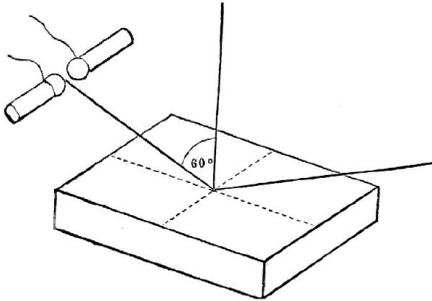


Fig. 360.
Polarizzazione elettrica.

come le distanze dei fili della grata stanno in relazione con le dimensioni delle onde elettriche; e mentre per la luce è indifferente la distanza delle due grate, ciò non è più per i raggi calorifici e meno ancora per quelli elettrici. In sostanza, abbiamo qui anche fenomeni di diffrazione, e potremmo forse, per questa via, arrivare a formare uno spettro elettrico.

Molto importanti sono anche le ricerche iniziate da Hertz sulla propagazione delle onde elettriche lungo i fili conduttori (fig. 361). Le oscillazioni elettriche si propagano lungo i due fili paralleli terminanti da una parte con due lastre parallele all'oscillatore, e liberi dall'altra: perciò le onde si riflettono agli estremi liberi, come le onde sonore in tubi chiusi, e si formano onde stazionarie. È cosa notevolissima che la lunghezza di queste onde stazionarie non dipende punto dalla natura dei fili; cioè, fili di ferro,

grata similmente posta, non la traversa più se i fili delle due grate sono perpendicolari fra loro. È l'esperimento corrispondente a quello delle due tormaline incrociate (fig. 228). È interessante considerare

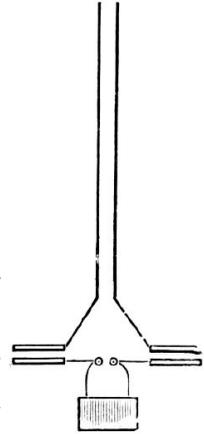


Fig. 361. — Propagazione delle onde elettriche.

rame o argento si comportano egualmente, mentre sappiamo quanto diversa resistenza offrano alla corrente elettrica.

In una seconda serie di ricerche, l'Hertz immerse i fili nell'acqua, nell'olio, ecc. e trovò che variava la lunghezza dell'onda, e perciò anche la velocità di propagazione. Se ne deve dunque concludere, che il vero conduttore del fenomeno elettrico non è il filo metallico, ma il mezzo circostante dielettrico; e questo corrisponde a conclusioni analoghe a quelle a cui siamo giunti coi condensatori. La scarica oscillante mette dunque in vibrazione l'etere, e le onde eterree si propagano, come quelle sonore, nell'aria. I conduttori non fanno altro che riflettere o guidare queste onde e perciò anche le forze elettriche ed elettromagnetiche. I veri conduttori delle azioni elettriche, i mezzi ove si accumula l'energia elettrica, sono i *dielettrici* o *isolanti*, che son trasparenti per le onde elettriche. Le esperienze di Hertz si possono eseguire da una stanza all'altra, e le muraglie si comportano come se fossero di vetro.

L'analogia fra i fenomeni della luce e dell'elettricità si può, dunque, dire completa; ed ogni sorgente di luce può dirsi anche sorgente di energia elettrica ed elettromagnetica. Perciò il Sole si può considerare come l'inesauribile sorgente di tutte le forme di energia; insieme coi suoi raggi calorifici e luminosi vi son certamente raggi elettrici, che debbono influire sopra i fenomeni del magnetismo terrestre. Ed è possibile che fra tutti i corpi dell'universo vi sia uno scambio di azioni elettriche. Ma

a noi manca l'occhio per i raggi elettrici; per osservarli ci occorrono i sensibili apparecchi della telegrafia senza fili.

Ma rimangono ancora alcuni punti oscuri. La polarità che si presenta nei fenomeni elettrici, per cui è necessaria la distinzione dei due stati positivo e negativo, costituisce tuttora un enigma; nulla di simile si ha nei fenomeni della luce o del calore. Le differenze di temperatura corrispondono perfettamente alle differenze di potenziale, e la carica elettrica positiva si muove nei conduttori come il calore secondo le differenze di temperatura; ma le due cariche elettriche rimangono, in molti fenomeni, come entità ben distinte e irriducibili.

Vogliamo, infine, ricordare alcuni fenomeni di elettro-ottica, di cui non sappiamo ancora dare una spiegazione sufficiente. Così, la diminuzione di resistenza del selenio quando è colpito dalla luce, sopra cui è fondato un sistema di telefonia e telegrafia senza fili. La membrana telefonica viene messa in vibrazione da un raggio di luce, che alla stazione mittente cade sopra una lastrina di selenio; questa variando periodicamente di resistenza, fa variare l'intensità della corrente, e tale corrente variabile, come nel microfono, mette in azione il telefono ricevitore. La disposizione necessaria è rappresentata nella fig. 362. Lo specchio concavo H concentra i raggi luminosi della sorgente sulla celletta a selenio S , trasversata dalla corrente che va al telefono. Per ottenere oscillazioni luminose corrispondenti ai suoni si adopera un microfono, che fa vibrare, in corrispondenza delle vi-

brazioni sonore, la corrente di una lampada ad arco. Sul lago Wann, presso Berlino, si son fatti esperimenti recenti con assai buoni risultati.

Ancora più meravigliosi sono gli effetti dei raggi violetti, e, più ancora, di quelli ultra-violetti, studiati prima da Hertz e poi da Elster e Geitel. Un elettroscopio, caricato ne-

gativamente, perde quasi istantaneamente la sua carica quando sia intensamente illuminato da una lampada ad arco, e si può, con un apparecchio più sensibile, ottenere lo stesso effetto anche con la luce del giorno. Le foglie d'oro che, congiunte ai poli di una pila Zamboni, si mantengono divergenti a luce discreta, si richiudono se illuminate fortemente, e tornano ad aprirsi all'oscuro. È singolare che la carica che si disperde è solamente quella negativa. I raggi ultravioletti si chiamano perciò anche *attino-elettrici*.

Del resto, la reciproca azione fra forme di movimento analoghe e dello stesso mezzo, come sono la luce e l'e-

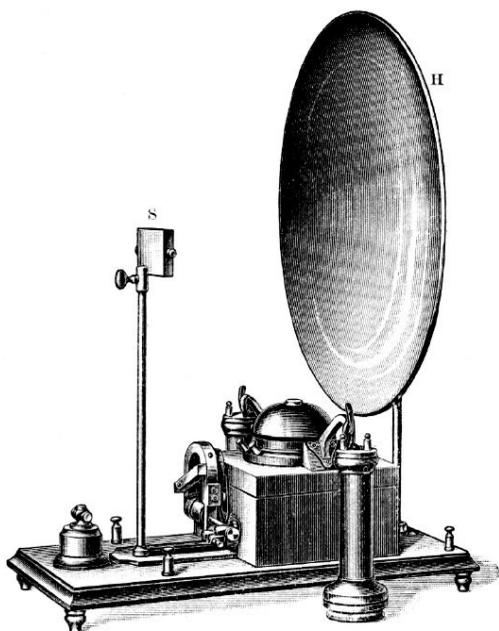


Fig. 362.

Ricevitore telefonico a selenio.

lettricità, può bene intendersi, nello stesso modo come ora vedremo l'energia calorifica tramutarsi in energia elettrica. Ma tuttavia si attende ancora la spiegazione esatta di questi mirabili fenomeni ottici-elettrici, scoperti di recente. E ancora più misteriosi, per la loro azione sulle cariche elettriche, sono i fenomeni della radio-attività, dei quali ci occuperemo in un prossimo capitolo.

h) Termoelettricità.

Già abbiamo veduto parecchie relazioni fra Elettricità e Calore; in particolare sappiamo, che l'energia elettrica si trasforma in calore quando, per esempio, una corrente percorre un conduttore incontrando una forte resistenza. E avendo poi riconosciuta la generale invertibilità dei fenomeni elettrici, per cui, per esempio, le azioni elettriche si trasformano in magnetiche e viceversa, non ci dovremo meravigliare, se direttamente si generi elettricità dal calore: perchè, lo ripetiamo ancora una volta, si deve trattare anche qui di varie forme di movimento tramutabili le une nelle altre.

In fatti, il semplice riscaldamento ci fornisce energia elettrica, in forma di corrente continua. Se nel circuito del galvanometro formato di filo di rame, inseriamo, saldandolo, un filo di ferro, otterremo visibilmente una corrente, quando si riscaldi una delle due saldature; e la corrente è diretta dalla saldatura calda a quella fredda. Ogni sistema bimetallico così disposto ci fornisce egualmente una corrente, che può, per altro, esser diversa in

intensità. E si può così formare una scala termoelettrica analoga a quella voltaica, ma non eguale in tutto, perchè in questa termoelettrica la serie dei metalli è la seguente: Selenio, Tellurio, Antimonio, Ferro, Oro, Platino, Magnesio, Zinco, Argento, Rame, Piombo, Mercurio, Stagno, Alluminio, Cobalto, Nichel, Bismuto. Quanto più distanti sono i metalli, tanto più intensa è la corrente termoelettrica, che si può ottenere dalla loro unione, e perciò la coppia più energica è quella di Selenio e Bismuto. In generale, si usa quella di Antimonio e Bismuto.

È notevole che il Selenio, di cui già conosciamo le singolari proprietà elettro-ottiche, sia in testa alla scala termoelettrica. Certamente le due proprietà sono collegate alla struttura molecolare; ed è possibile che la sensibilità del Selenio alle radiazioni luminose non sia che un effetto delle radiazioni calorifiche inseparabili dalle prime nella luce ordinaria.

Il fenomeno termoelettrico è invertibile. Se in un conduttore bimetallico facciamo passare una corrente, si ha un singolare fenomeno calorifico; cioè la corrente raffredda una delle due saldature e riscalda l'altra; il raffreddamento avviene nella saldatura che bisognerebbe riscaldare per avere una corrente simile a quella che agisce: ossia, mantenendo a temperatura diversa le due saldature si ottiene una corrente, di cui si può invertire la direzione, invertendo la differenza delle temperature.

E neppure è necessario adoperare metalli diversi: anche dei fili dello stesso metallo, ma di qualità diversa, si

comportano come metalli eterogenei; per esempio, rame del commercio e rame puro elettrolitico. Anche dal contatto di liquidi eterogenei si hanno effetti termoelettrici.

Molto caratteristici sono inoltre certi fenomeni, scoperti recentemente da Ettingshausen e Nernst che rivelano relazioni complesse fra Elettricità, Magnetismo e Calore. Se si porta una lamina di Bismuto in un campo magnetico, perpendicolarmente alle linee di forza, e si riscalda da un lato, allora, normalmente alla direzione di propagazione del calore si produce una corrente; e inversamente, se si fa passare una corrente per la lastra, questa da una parte si riscalda e si raffredda dall'altra.

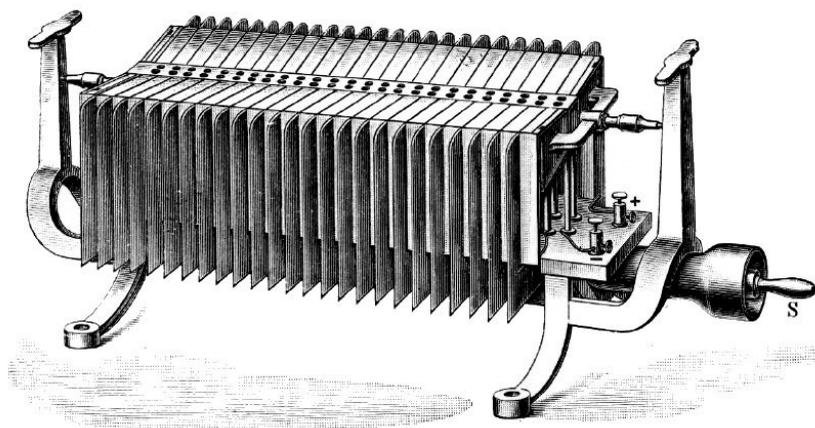


Fig. 363. – Pila termoelettrica.

I fenomeni termoelettrici hanno avuto applicazione nelle pile termoelettriche, formate da tante coppie di due metalli, disposte in maniera da trovarsi tutte le saldature egualmente attive da una stessa parte, così da poter essere riscaldate dalla medesima sorgente. La forza elettro-

motrice di una tale pila è tanto più intensa quanto maggiore è il numero delle coppie. Si hanno così pile termoelettriche, che alimentate con una sorgente calorifica forniscono una corrente continua, quale potrebbero dare 50 pile Bunsen (fig. 363).

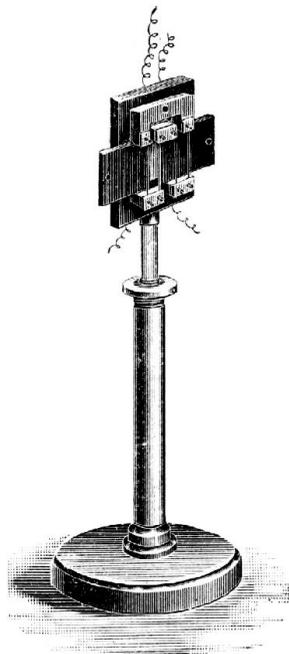


Fig. 364.
Bolometro di Langley.

Poichè nel galvanometro abbiamo uno squisito mezzo di riconoscere minime correnti, così nelle pile termoelettriche abbiamo uno strumento capace di rivelarci minime differenze di temperatura. Langley ha a tal fine costruito il suo *Bolometro* (fig. 364), che non è del tutto fondato sulla termoelettricità. Ai due lati di un ponte di Wheatstone, sono inseriti molti finissimi fili metallici, percorsi da una debole corrente, ma tutto è disposto in modo che in principio si ha equilibrio, e il galvanometro non dà indizio di corrente. Ma appena uno dei lati viene riscaldato, o raffreddato, cambiando la resistenza si ha nel ponte una corrente che il galvanometro misura. E si può, così, misurare differenze di temperatura di qualche milionesimo di grado centigrado; Langley, per esempio, ha misurato il calore che ci arriva dalle stelle, cioè da soli che sono centomila volte più lontani del nostro sole.

Possiamo, senza troppe difficoltà, farci un'idea del

meccanismo dei fenomeni termoelettrici in base ai concetti generali seguiti fin qui. Il calore è per noi movimento interno molecolare, e la sua propagazione nel mezzo ambiente avviene per mezzo dell'etere, nel quale sono immerse e circondate le molecole. I fenomeni elettrici sono, invece, movimenti di questo mezzo, cioè dell'etere stesso, che nascono però solo sotto l'impulso dei movimenti delle particelle della materia; i vortici eterei tendono a comunicare ed eguagliare il movimento fra le molecole. Può dunque intendersi, che ogni cambiamento nella struttura molecolare della materia generi elettricità, per le variazioni che ne derivano nelle tensioni dell'etere interposto fra le molecole. E così è infatti, poichè si può dire, che ogni cambiamento fisico e chimico nello stato dei corpi, genera fenomeni elettrici; e se questo non si osserva sempre, deriva in parte dal fatto che si ristabilisce tosto l'equilibrio fra le due specie di elettricità che sempre compariscono insieme. Quanto poi energicamente e variamente agisca il calore nel modificare la struttura dei corpi, lo sappiamo già.

Inversamente, quando perturbazioni dell'etere, generate altrove, arrivano e penetrano fra le molecole dei corpi, ne deve necessariamente risultare una variazione nel movimento molecolare, cioè il fenomeno elettrico deve produrre un fenomeno calorifico. In una sostanza omogenea, questo tenderà ad un equilibrio che si potrà stabilire senza altri fenomeni: ma dove due sostanze eterogenee sono a contatto, come nella coppia termo-elettrica, e quindi diversi i movimenti molecolari, allora un

tale equilibrio non è più possibile, e la differente tensione dell'etere darà origine a un fenomeno elettrico, la cui direzione e intensità dipenderà dalla natura delle due sostanze.

i) Elettrolisi.

I fenomeni elettrochimici sono invertibili come quelli termoelettrici: le azioni chimiche producono la corrente elettrica nella pila, e la corrente a sua volta produce fenomeni chimici di decomposizione, traversando conduttori liquidi. Di questi fenomeni elettrochimici non possiamo qui trattare compiutamente, prima di conoscere bene i veri fenomeni chimici, ai quali è dedicata la seconda parte di questo libro. Qui ci dobbiamo contentare di raccogliere in una sintesi generale queste relazioni fra azioni chimiche ed elettriche. Nell'elettrolisi è veramente difficile dire dove finisce il fenomeno chimico e dove comincia quello elettrico; ma noi ci atterremo, finchè è possibile, a considerare solo quest'ultimo.

Se gli estremi di un circuito

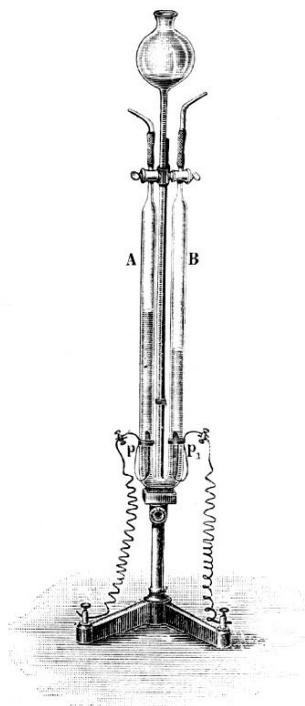


Fig. 365. – Elettrolisi nel Voltmetro.

elettrico, gli *Elettrodi*, formati da due lastre di platino sono introdotti in un tubo *AB* piegato ad U e pieno d'acqua (fig. 365), appena comincia a passare la corrente si formano e si staccano dalle lastre *pp* bollicine gassose che mostrano evidentemente come l'acqua venga decomposta. In uno dei tubi si raccoglie l'Idrogeno, nell'altro, Ossigeno: il primo occupa un volume doppio dell'altro, e i due elementi sono appunto nelle proporzioni necessarie per riformare acqua con la loro combinazione. L'Idrogeno si distacca dal polo negativo detto *Catodo*, l'Ossigeno dal positivo detto *Anodo*. L'apparecchio si chiama Voltmetro.

Nello stesso modo si ottiene la decomposizione di molte altre sostanze, e a questa azione della corrente la Chimica deve molte delle fondamentali sue scoperte. Così il Davy, nel 1807, scoprì che le sostanze alcaline e le cosiddette terre, non sono corpi semplici, ma ossidi metallici. Questi metalli leggeri difficilmente si possono coi mezzi chimici separare dall'ossigeno, col quale sono uniti nei loro composti: così, per esempio, l'Alluminio che forma parte essenziale dell'argilla, cioè di una sostanza diffusissima. A cagione delle complicate operazioni chimiche necessarie ad isolarlo, l'alluminio era fino a poco tempo fa un metallo costosissimo, e solo di recente si è trovato il modo di ottenerlo economicamente per via elettrica, decomponendo i suoi minerali; e ora la produzione dell'Alluminio costituisce una grande industria. L'energia idraulica della cascata del Reno a Lauffen è adoperata alla produzione della corrente in

una grandiosa fabbrica di alluminio.

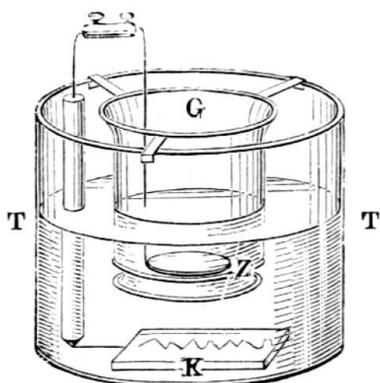


Fig. 366. – Galvanoplastica.

Sulla separazione, per via elettrica, dei metalli dalle soluzioni dei loro sali è fondata anche la *galvanoplastica*, che è una importantissima industria. Ciò che avviene nella pila Daniell ci può dare un'idea della galvanoplastica. Mentre lo zinco si scioglie nell'acido solforico diluito, il rame, invece, si separa dal suo solfato e si deposita sulla lastra di rame che forma il polo positivo. Se con questo rame è unito un corpo qualunque conduttore, anche non metallico, pure su di esso si deposita il rame. L'apparecchio ordinariamente adoperato ha la forma della fig. 366. Nel vaso *TT* è una soluzione di solfato di rame, e, sospeso nel mezzo, è un altro vaso più piccolo, col fondo formato da una membrana animale, contenente acido solforico diluito, in cui è immersa una lastra di zinco: questo vaso *G* corrisponde dunque al vaso poroso della pila. Un pezzo di rame *K* è immerso nella soluzione di solfato e comunica con lo zinco. Sopra questo rame è collocato l'oggetto che si vuole metallizzare, e che per lo più è formato di guttaperca compressa, resa conduttrice alla superficie con un leggiero strato di grafite. Il rame vi si deposita sopra a poco a poco, e quanto più lenta è l'operazione, tanto più fine è il deposito e più perfetta la riproduzione

della forma in tutte le sue più minute particolarità. L'operazione può durare talvolta parecchi giorni: ma se, a scapito della finezza, si vuole accelerare l'operazione, si usano allora correnti più forti di vere pile, e non è più necessario il vaso con la membrana. Nella stessa maniera si può, per via galvanica, ricoprire d'oro o d'argento gli altri metalli.

Anche gli *Accumulatori*, così adoperati oggi nelle varie applicazioni dell'elettricità son fondati sull'azione elettrolitica. Un accumulatore si può considerare come una

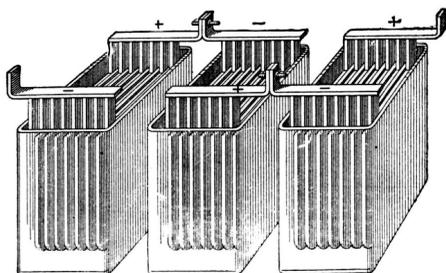


Fig. 367. – Accumulatori.

di piombo e di una di ossido di piombo, immerse nell'acido solforico diluito. Chiudendo il circuito, si ha una corrente di circa 2 Volta, che va, nell'interno, dal piombo metallico a quello ossidato, e con essa si muovono i due gas prodotti dall'elettrolisi dell'acqua. L'idrogeno disossida il piombo ossidato che si riduce, mentre l'ossigeno tende a ossidare l'altra lastra di piombo; così l'accumulatore si scarica e la corrente cessa. Per giudicare del grado della scarica, si adopera un areometro che indica la densità dell'acido: infatti, l'azione elettrolitica producendo acqua per l'ossidazione dell'idrogeno, la densità dell'acido diminuisce. Per ricaricare l'accumulatore bisogna mandarci una corrente diretta in senso contrario, la quale con la sua azione chimica fa di nuovo os-

sidare la lastra metallica e riduce quella ossidata. Contemporaneamente viene decomposta o assorbita dell'acqua e perciò la densità del liquido cresce; così si può seguire il grado della scarica e interromperla al punto voluto. Quando la carica è completa, l'Idrogeno si svolge liberamente sul piombo, e dà spesso un odore acre: nel loro funzionamento normale gli accumulatori non svolgono gas.

Gli accumulatori, come dice il loro nome, ci offrono il mezzo di raccogliere e accumulare l'energia elettrica; infatti, essi ci restituiscono quasi totalmente la corrente elettrica che ha servito a caricarli. Essi sono specialmente adoperati in quei casi ove occorra utilizzare una sorgente di energia continua, mentre il consumo ne è variabile. Così, per esempio, in un impianto di illuminazione elettrica, durante il giorno quasi non si richiederà corrente, e moltissima, invece, durante la sera. Avendo dunque una macchina dinamo-elettrica e una batteria di accumulatori, potremo durante il giorno adoperare la macchina per caricare gli accumulatori; e la sera, riunendo insieme la corrente della macchina e quella degli accumulatori, potremo fornire tutta la corrente necessaria, cioè una quantità di elettricità molto maggiore di quella che la macchina da sola sarebbe capace di dare. Così nei teatri, dove un'interruzione della luce elettrica sarebbe pericolosa, gli accumulatori costituiscono una riserva molto utile nei casi in cui venga a mancare la corrente, e certo molto più economica di una macchina di riserva. Di recente, si sono applicati gli accumulatori a carrozze

automobili, anche sopra strade ferrate, le quali devono rifornirsi di corrente ad una stazione centrale. La corrente degli accumulatori mette in moto una dinamo, che fa girare gli assi delle ruote. Ma il forte peso degli accumulatori, formati, come si è visto di lastre di piombo, costituisce un grave inconveniente a questa applicazione, tanto che nella maggior parte dei casi è più conveniente, come nei tramvai elettrici, condurre la corrente alle vetture per mezzo del filo aereo.

Per valutare industrialmente un accumulatore, si esprime il rapporto dell'energia massima in esso accumulabile, al peso: si indica, cioè, quanti Watt si hanno per ogni chilogrammo di peso; o anche si indica l'altezza alla quale l'accumulatore potrebbe sollevarsi impiegando tutta la propria energia. Un ordinario accumulatore si solleverebbe fino a circa 4 chilometri. Di recente è stato annunciato un nuovo accumulatore di Edison, formato di ferro e nichel e perciò assai più leggero, che secondo i computi fatti potrebbe sollevarsi fino a 11 chilometri. Ma fino ad ora non è entrato nella pratica e non possiamo darne notizie particolari.



Scariche elettriche nei gas rarefatti

10. Le nuove radiazioni.

Siamo ora arrivati a un gruppo di fenomeni di natura strana e complessa, che possono anche non essere del tutto di natura elettrica, e che ci aprono un campo nuovo così misterioso, da far quasi mettere in dubbio la validità generale delle leggi fisiche fin qui accertate, cominciando dallo stesso principio della conservazione dell'energia; sebbene nessun fisico creda che questo principio possa realmente essere in contraddizione con alcun fenomeno. I fenomeni così misteriosi consistono principalmente nella radiazione invisibile, ma tuttavia attivissima e perenne, che emana da certi corpi. Di fronte a questi corpi per ora raccolti in così piccola quantità da essere preziosissima e costosissima materia più che l'oro e il diamante, noi ci troviamo ora come i primi uomini davanti alla calamita naturale, che dovette apparire veramente cosa mirabile e inesplicabile. Sembra dunque che con questi fenomeni si apra all'investigazione scientifica un campo nuovo, vasto forse e importante quanto quello dell'elettricità, appunto come questo, interamente ignorato, fu improvvisamente dischiuso dalle scoperte di Volta, Galvani e Faraday. Un intero esercito di investigatori lavora oggi indefessamente all'esplorazione di questo campo pieno di mistero. Chi troverà e saprà enunciare chiara e manifesta la verità? Chi l'ha già trovata? Non possiamo ancora dirlo. Molti fatti sono accertati, e di questi bisogna contentarsi, senza pretendere, come abbiamo fatto fin qui, di esporli ordinatamente e

logicamente. Il materiale raccolto è abbondante, ma manca ancora un sicuro criterio per farne una scelta e distinguere l'importante dal secondario e dall'accessorio.

Sembra tuttavia utile cominciare dai fenomeni della scarica elettrica nei gas rarefatti, fenomeni già noti da alcune decine di anni.

a) I raggi Catodici.

Se la scintilla prodotta dal rocchetto Ruhmkorff si fa scoccare in un tubo di vetro, in cui l'aria sia rarefatta, la scarica prende forme diverse secondo la rarefazione. Nell'aria libera la scarica avviene in forma di scintilla rumorosa, quando la tensione fra i due elettrodi ha raggiunto il valore necessario per superare la resistenza dell'aria, e trasporta con sé particelle metalliche, la cui presenza è rivelata dallo spettroscopio. Se in un tubo chiuso, *tubo di Geissler*, si diminuisce la resistenza dell'aria, rarefacendo questa, la scarica, ossia la ricombinazione delle due elettricità, avviene sempre più facilmente, cioè con minor tensione, almeno fino ad un certo grado massimo della rarefazione. Allora, in luogo della scarica rumorosa e repentina, si ha un flusso luminoso e continuo, violaceo. Quando la rarefazione cresce, dal polo positivo si parte un pennacchio di luce rossa diretto verso l'altro polo, che appare circondato da un'aureola uniforme azzurrognola. Fra le due luci rimane uno strato oscuro (fig. 1 della tavola XII). La luce osservata allo spettro-

scopio presenta due spettri sovrapposti; quello dei metalli degli elettrodi, come nella scintilla ordinaria, e quello del gas contenuto nel tubo: questo secondo spettro prevale via via che la pressione diminuisce.

Tale è l'aspetto del fenomeno finchè la pressione del gas nel tubo è da 5 a 1 millimetro circa, cioè da $\frac{5}{760}$

a $\frac{1}{760}$ della pressione esterna ordinaria, e perciò nella stessa proporzione è diminuita la quantità di gas contenutavi. Ne dobbiamo concludere che in queste condizioni il passaggio dell'elettricità non avviene per opera delle particelle metalliche separate dagli elettrodi, ma bensì per mezzo delle stesse molecole gassose. Possiamo dunque supporre, che le molecole gassose oscillano fra i due elettrodi come le palline di sambuco nella danza elettrica già descritta, e che nei loro urti convertono in luce e calore la loro energia. E poichè anche la scarica stessa è oscillante, si può pensare ragionevolmente che le stratificazioni, che appaiono nel tubo Geissler (fig. 1 tavola XII) abbiano la stessa origine interferenziale delle figure acustiche di Kundt con la polvere di lycopodio. La velocità delle molecole gassose deve essere in ragione della loro carica, la quale produce il loro movimento, e anche in ragione della rarefazione del gas; la forza elettrica guida e accresce il movimento molecolare. Ma il gas sembra assolutamente necessario al passaggio dell'elettricità, perchè la resistenza alla scarica

ha un minimo che per l'aria corrisponde circa a 1 mm. di pressione. Aumentando la rarefazione, la resistenza ritorna a crescere, e con rarefazioni estreme la scarica non passa più. Questa importante conclusione che nel vuoto assoluto, cioè nell'etere, la carica non passa, non è certissima ancora, ma molto probabile.

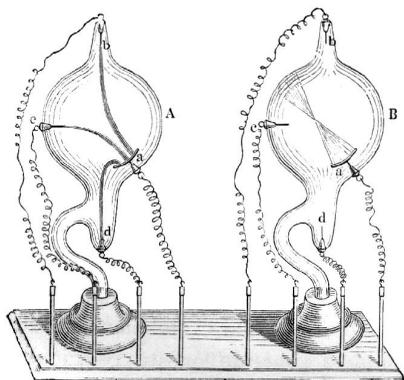


Fig. 368. – Raggi catodici.

Anche più interessanti e molto diversi sono i fenomeni che avvengono dalla parte del Catodo. La luce catodica non è stratificata, non segue la curvatura del tubo, e non si dirige verso l'anodo, ma procede in linea retta, e se nel suo cammino trova un ostacolo, non lo circonda, ma rimbalza indietro.

lo, non lo circonda, ma rimbalza indietro.

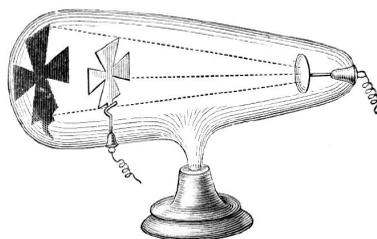


Fig. 369. – Ombra catodica.

Per studiare le singolari proprietà di questi raggi catodici, è necessario un tubo congiunto con una pompa pneumatica a mercurio, con la quale la rarefazione si può spingere fino a $\frac{1}{10000}$ di millimetro. Col progredire della rarefazione, la luce che parte dall'anodo si ritira e diminuisce, mentre si estende quella che parte dal catodo, fino a che sparisce la prima e rimangono solo i raggi catodici. La fig. 368 A. dà un'idea del fenomeno a rarefazione moderata: *a* è il catodo, *b*, *c*, *d* sono gli anodi. Aumentando la rarefazione, il fenomeno prende l'aspetto che si vede nella fig.

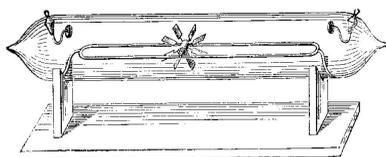


Fig. 370. – Azione motrice dei raggi catodici.

368 B. Nel punto dove i raggi catodici colpiscono la parete del tubo (l'anticatodo) si desta una vivace fosforescenza verde, e se nel loro cammino incontrano un oggetto opaco, come la croce metallica della fig. 369, ne appare tosto l'ombra oscura sul vetro illuminato. Essi sono anche capaci di un'azione meccanica, mettendo in moto, per esempio, una leggiera ruota a palette (fig. 370), la quale gira come se fosse investita da una corrente di materia proveniente dal catodo. E il movimento avviene in senso contrario, quando la ruota stessa è disposta in modo che i raggi catodici partano tutti dalla stessa parte delle sue alette, come se ne nascesse una reazione simile a quella che si ha nel radiometro. A questi effetti meccani-

ci corrispondono anche comprensibili effetti calorifici, e i raggi catodici emananti da un catodo concavo e concentrati sopra una lastrina di platino *b*, la arroventano (fig. 371). Splendidi effetti di luci colorate si hanno quando i raggi catodici investono certe sostanze introdotte nel tubo, come cristalli di rubino, di blenda e di altri sali metallici. Vedasi la tavola colorata XII.

Goldstein, che dal 1900 ha studiato profondamente questi fenomeni di fosforescenza, ha trovato che nella maggior parte dei casi la fosforescenza dominante non dipende dalla sostanza esaminata, ma da minime tracce o impurità, cioè da tenuissime quantità di altre materie, che l'analisi chimica più delicata è incapace di rilevare e che sono generalmente ignote.

Vedremo nel radio l'esempio più interessante della potente azione di queste sostanze rare. In ogni modo, anche in questo fenomeno torniamo a vedere come spesso in natura i più intensi e meravigliosi effetti son dovuti a piccolissime cause, a particelle di un mondo che sfugge ai nostri sensi, per quanto acuti e ben armati.

Un'altra particolarità di questi fenomeni di fosforescenza studiati dal Goldstein è che certe sostanze, sotto l'azione dei raggi catodici, cambiano permanentemente il loro colore, ma diventano contemporaneamente sensibili

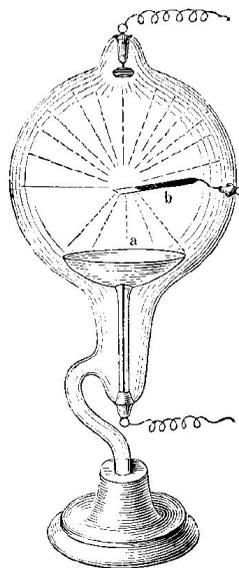


Fig 371. — Concentrazione dei raggi catodici.

alla luce, cosicchè riprendono il colore primitivo quando siano esposte alla luce del giorno.

Le esperienze di Goldstein o di altri mostrano, che ogni elemento di superficie del catodo emette raggi normali e rettilinei, ma che essi possono poi deviare seguendo diverse direzioni, secondo la resistenza che trovano e le forze che agiscono nel tubo; e perciò il punto della loro convergenza può cambiare. Nel più forte grado di rarefazione compatibile con la produzione del fenomeno, si verificano tutte le deduzioni che si possono fare supponendo che l'emissione sia normale in ogni punto alla superficie del catodo.

Allora si riproducono nella fosforescenza del vetro le particolarità di forma della superficie del catodo. La fig. 6 della Tavola XII fa vedere l'immagine di una moneta quando essa fa da catodo; nella fig. 7 il catodo è un esagono, e ne nasce una stella, i cui sei raggi partono normalmente dal mezzo di ogni lato del catodo.

Se nel cammino del fascio catodico si pone una lastra metallica, i raggi sono in parte riflessi, ma non con le leggi della riflessione regolare; essi sono, piuttosto, diffusi, ed è indifferente che la superficie del metallo sia levigata o no. Ma i metalli presi in piccolo spessore lasciano passare i raggi catodici, mentre sono assolutamente opachi o quasi per la luce: l'alluminio specialmente è quasi perfettamente trasparente per i raggi catodici, mentre il vetro del tubo è per essi opaco.

Approfittando di tale proprietà dell'alluminio, Lenard riuscì a fare uscire i raggi catodici dal tubo e a studiarne

le proprietà nell'aria, indipendentemente dalla loro produzione. A tal fine adoperò un tubo speciale che nella regione anticatodica aveva una piccola apertura chiusa da una sottile lastra di alluminio. Così egli trovò che i raggi catodici sono invisibili nell'aria, ma la loro presenza è rilevata dalla fosforescenza che destano in molte sostanze e dalla loro azione sulle lastre fotografiche.

Insieme coi raggi catodici, nei tubi a vuoto si producono radiazioni che sembrano avere direzione opposta, e che, osservati da prima dal Goldstein nel 1886, si chiamano *raggi canali*. Se il catodo è costituito da una reticella di alluminio o da una lastra forata, si osserva, al di là del catodo, una radiazione luminosa che passa fra le aperture e, procedendo in linea retta, desta la fluorescenza del vetro. I raggi canali non agiscono sulle lastre fotografiche avvolte da carta nera, e questa proprietà serve a distinguerli da altre radiazioni che vedremo. Essi trasportano carica positiva invece che negativa, ma la loro direzione è indipendente dalla posizione dell'anodo, come si può vedere adoperando un tubo piegato (fig. 8 della tavola); sebbene da esperienze di Wehnelt e Berg risulti che i raggi canali si formano all'anodo. Fra i raggi canali o anodici e quelli catodici vi è anche una differenza di azione chimica simile a quella che si ha dalla corrente nel voltmetro. I primi *ossidano*, gli altri *riducono* i metalli (Wehnelt).

Un fenomeno notevolissimo di tutte queste radiazioni è l'azione che essi risentono da un campo magnetico. In un tubo Geissler, col grado di rarefazione, che fa appari-

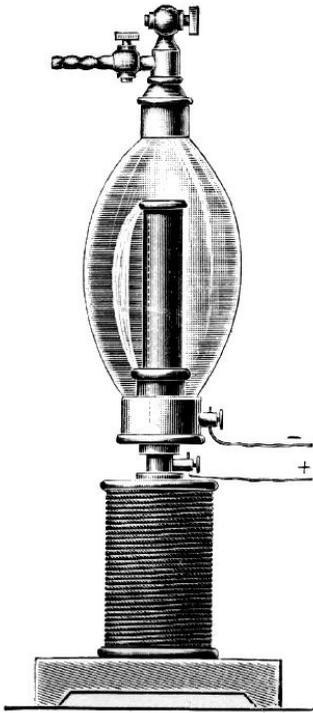


Fig. 372. – Rotazione dell'arco elettrico.

re la luce positiva in tutto lo spazio fra i due elettrodi, essa si comporta come un fascio elastico teso che viene attratto o respinto da un polo magnetico, come se fosse una corrente diretta dall'anodo al catodo. Questa luce positiva si presta anzi ad un bellissimo esperimento, in cui si può osservare la rotazione continua di una corrente intorno ad un polo magnetico. In un tubo Geissler è introdotto il polo di un elettromagnete (fig. 372) e il fascio luminoso gira intorno ad esso come girerebbe una corrente mobile. Il fenomeno presenta una certa ana-

logia con l'aurora polare, ed è infatti probabile che questa analogia non sia solamente apparente. Infatti, gli strati superiori atmosferici sono rarefatti come l'aria di questi tubi, e sotto l'influenza del magnetismo terrestre devono prodursi scariche di simil genere verso i poli terrestri.

Anche i raggi catodici sono deviati da un magnete, ma in senso contrario, come se essi costituissero una corrente diretta verso il catodo, ossia come se fos-

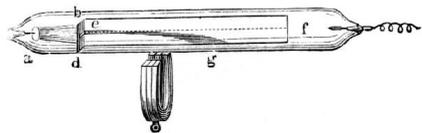


Fig. 373. – Azione di un magnete sui raggi catodici.

sero una emissione di carica negativa. Il fascio catodico che passa attraverso una fenditura nella lastra d'alluminio *bd* viene deviato dal magnete, come si vede dallo spostamento, della fosforescenza sulla parte opposta del vetro (fig. 373). Se poniamo il tubo sopra i due poli di un magnete (fig. 374), la luce catodica forma un arco congiungente i due poli, mentre la luce anodica rimane separata e le sue stratificazioni non ne sono alterate.

Nell'ipotesi, che i raggi catodici siano particelle materiali elettrizzate negativamente, si può, dalla loro deviazione nel campo magnetico, determinare il rapporto

$\frac{e}{m}$ fra la carica e la massa materiale di ciascuna di

esse. Nei fenomeni dell'elettrolisi questo rapporto è per ogni elemento costante, come significa la legge di Faraday, ossia ogni atomo trasporta una carica costante.

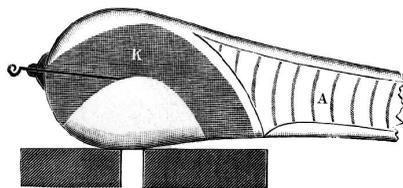


Fig. 374. – Azione del magnete sui raggi anodici.

Numerose e ingegnose ricerche di questi ultimi anni

hanno messo fuori di dubbio che il rapporto $\frac{e}{m}$ nei raggi catodici è circa mille volte più piccolo che per l'atomo di idrogeno nella elettrolisi, e ciò significa che la massa di queste particelle elettrizzate negativamente è circa $\frac{1}{1000}$ di quella dell'atomo di idrogeno. Sono queste particelle gli *elettroni* della moderna teoria del-

l'elettricità. Quanto alla velocità loro nei raggi catodici, risulta circa $\frac{1}{3}$ di quella della luce. Per quanto piccoli, essi devono essere notevolmente più grandi degli atomi dell'etere, perchè non passano traverso la parete di vetro.

Una interessantissima esperienza è quella del Philips, il quale pose in un tubo degli elettrodi di ferro fortemente magnetizzati, vuotandolo fino alla pressione di $\frac{8}{1000}$ di millimetro di mercurio: allora vide formarsi anelli luminosi, rotanti con l'asse normale alla direzione del campo magnetico, i quali sparivano dopo alcuni secondi. Essi avevano la stessa posizione e movimento delle correnti elettriche generatrici del magnetismo.

Se i raggi catodici si fanno uscire dal tubo nell'aria libera, attraverso la finestrella coperta di alluminio, come pel primo fece Lenard, e si fanno cadere sopra un elettroscopio elettrizzato *negativamente*, esso si scarica subito, come se fosse investito da raggi ultravioletti. L'aria viene, dunque, dai raggi catodici resa conduttrice; e questo effetto che già abbiamo veduto nei raggi ultravioletti, lo vedremo in altri; ma questa dispersione della *sola carica negativa*, per effetto dei raggi catodici, è tanto più strana in quanto che essi, come sappiamo, portano cariche negative.

Noi sappiamo che i raggi catodici compariscono con una certa rarefazione del gas nel tubo e diventano sem-

pre più intensi col progredire della rarefazione. Ma oltre un certo limite il fenomeno comincia a diminuire e ad un millesimo di millimetro di pressione cessa del tutto. Oggi si sa vuotare i tubi anche di più, così da ridurre la quantità di gas a meno di 1 milionesimo di quella primitiva sotto la pressione di un'atmosfera. Un tale vuoto non permette il passaggio alle correnti elettriche che abbiamo a nostra disposizione; ma la luce passa per tale spazio, pieno dunque di quell'etere che sembra non esser conduttore per l'elettricità, sebbene sia il veicolo delle forze elettriche.

b) Raggi Röntgen.¹²

Nel 1895 il fisico Röntgen (fig. 375) in Würzburg, sperimentando sopra i raggi catodici, osservò che uno schermo coperto di platinocianuro di bario si illuminava in prossimità del tubo catodico in azione, come se fosse colpito da raggi ultravioletti. Il tubo non portava la finestrella di alluminio per cui i raggi potessero passare nell'aria libera e arrivare allo schermo, perciò era evidente che l'azione partiva dalla regione fluorescente del vetro, cioè dall'anticatodo. Era questa luce così energica da eccitare la luminosità dello schermo?

¹² Questo capitolo e anche il seguente, scritti quando sopra questi fenomeni vi era ancora molta confusione e incertezza, sono stati nella traduzione notevolmente cambiati, tenendo conto delle molte cognizioni acquistate con sicurezza negli ultimi tempi. (N. d. T.)



Fig. 375 – Guglielmo Corrado Röntgen.

Fu coperto e avvolto il tubo con un panno nero, che rendeva invisibile la luminosità del tubo, ma quella dello schermo persisteva ancora eguale. Una grossa tavola di legno interposta fra il tubo e lo schermo non produceva alcuna diminuzione della luminosità. Fu posta una mano

sullo schermo luminoso e, con grande meraviglia, dalla parte opposta si vide non l'ombra della mano, ma solo delle ossa; le parti carnose producevano solo una leggera penombra. Questi raggi Röntgen, come furono poi chiamati, penetrano dunque corpi che non sono trasparenti per nessuna specie di luce; per essi diventano visibili parti profonde e vive del corpo, che nessun occhio umano aveva ancora potuto osservare. L'uomo ha potuto così osservare davanti a sé non solo il proprio scheletro, ma vedere anche il cuore pendente e palpitante nella gabbia toracica. Nessuna scoperta moderna si è diffusa con tanta rapidità ed ha suscitato tanto interesse quanto

questa del fisico di Würzburg.

Dove dovremo collocare i raggi Röntgen nel nostro quadro delle energie naturali? Per poter rispondere bisogna esaminare più da vicino le loro proprietà. Il fatto che questi raggi eccitano la fluorescenza, farebbe supporre che essi siano una specie di radiazione analoga, cioè di brevissima lunghezza d'onda, e invisibile, come lo è anche la luce ultravioletta. Ma c'è una sostanziale differenza nei raggi Röntgen; la straordinaria facoltà di penetrazione per quasi tutte le sostanze: la luce ultravioletta è assorbita quasi completamente anche dal vetro, come abbiamo già notato: i raggi Röntgen traversano anche, in spessore non molto grosso, sostanze che sono opache per ogni altra luce.

In comune con le radiazioni ultraviolette, hanno i raggi Röntgen le proprietà fotochimiche, e da questa qualità è derivata subito una delle più importanti applicazioni, la cosiddetta *Radiografia*, che si può ottenere in semplicissime condizioni.

Una lastra fotografica involuppata in carta nera, o anche chiusa nel suo telaietto di legno (*chassis*), è posta sotto il tubo di fronte al catodo (fig. 376). Sulla lastra coperta è

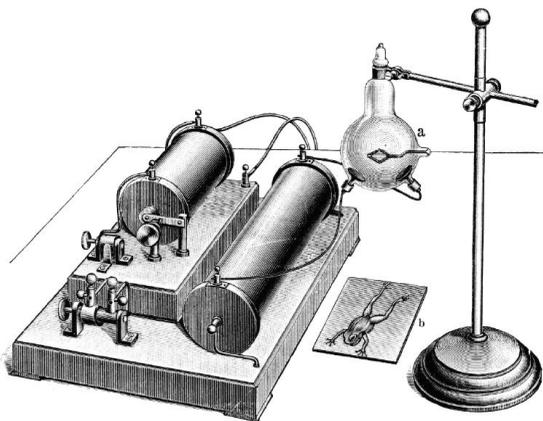


Fig. 376. – Disposizione per la radiografia.

posto l'oggetto (per esempio una rana): bastano alcuni secondi, o tutt'al più qualche minuto, per produrre sulla lastra l'immagine dello scheletro sopra un fondo più chiaro prodotto delle parti carnose. La tecnica della radiografia ha fatto molti progressi e ci ritorneremo.

I raggi Röntgen si distinguono dai raggi catodici che li generano, per la grande facoltà di penetrazione; questi ultimi infatti non traversano il vetro e perciò non escono dal tubo. Tutto anzi porta a credere che i raggi Röntgen abbiano origine laddove i raggi catodici sono arrestati dal vetro.

I raggi Röntgen non presentano nè riflessione, nè rifrazione, o tutto al più in maniera debolissima e incerta; sembra invece, da esperienze recenti del Barkla, che i raggi Röntgen siano parzialmente polarizzati, e questo fa pensare che essi siano dovuti come la luce a perturbazioni trasversali dell'etere. Altro e migliore argomento in favore di questa ipotesi è la velocità di questi raggi, che è risultata eguale a quella della luce. Altro argomento è anche, che i raggi Röntgen non sono deviati in un campo magnetico a differenza dei raggi catodici. Oggi si ammette dalla grande maggioranza dei fisici che i raggi catodici sono particelle elettrizzate negativamente (elettroni negativi) e che i raggi Röntgen sono perturbazioni eteree generate dal repentino urto e arresto di queste particelle.

I raggi Röntgen, come quelli catodici e quelli ultravioletti, producono dispersione delle cariche elettriche dei conduttori su cui arrivano. Questa dispersione delle

cariche è collegata al fatto, che l'aria o gli altri gas traversati dalle suddette radiazioni diventano conduttori, o come si dice oggi, sono *jonizzati*. La jonizzazione consiste nella produzione nell'interno del gas, di un numero eguale di particelle elettrizzate, le une positivamente, le altre negativamente, e derivanti dalla scissione di alcune molecole in due gruppi atomici, detti *ioni*. I raggi Röntgen, i raggi ultravioletti, quelli catodici, sono gli agenti jonizzanti, ma non sono i soli, come vedremo.

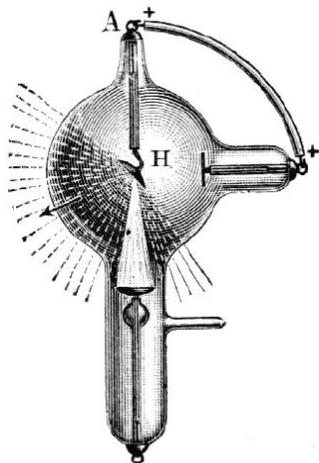


Fig. 377. – Tubo di Röntgen con specchio.

I raggi Röntgen agiscono anche sul Selenio (Perreau), la cui resistenza diminuisce, quasi come alla luce del giorno quando sia posto vicinissimo al tubo da cui partono i raggi.

A questa qualità di agente jonizzante è connessa l'azione dei raggi Röntgen, sulla forma e sulla grandezza delle scariche fra due conduttori. Mentre non si è osservata una vera riflessione dei raggi Röntgen, è stato invece scoperto dal Sagnac, nel 1898, il fatto notevole che i corpi colpiti lungamente dai detti raggi continuano poi ad emettere raggi simili più

deboli detti secondari.

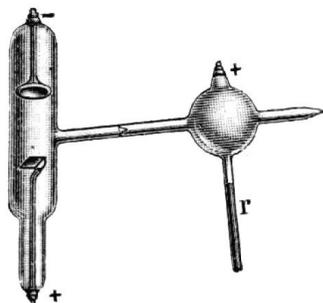


Fig. 378. – Tubo di Röntgen (regolabile).

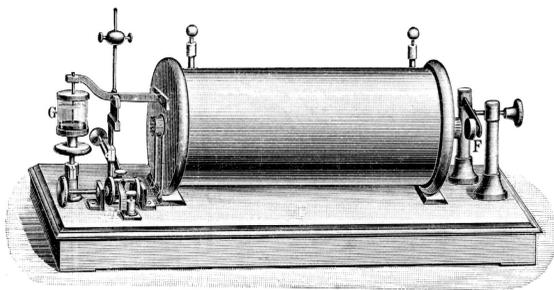


Fig. 379. – Rocchetto di Ruhmkorff con interruttore a molla.

Fra le applicazioni dei raggi Röntgen, la più importante è quella chirurgico-anatomica, già accennata, che permette per mezzo di essi l'esame

delle ossa e anche dei visceri interni nei corpi viventi. A tale scopo, sono stati costruiti e perfezionati molti apparecchi, cominciando dai tubi produttori dei raggi stessi. La condizione necessaria per la produzione dei raggi catodici, e insieme di quelli Röntgen è una certa piccola pressione del gas nel tubo; se la pressione è troppo forte, il fenomeno è debole; se troppo piccola, cessa del tutto. Ma col tempo e coll'uso avviene che la pressione in un

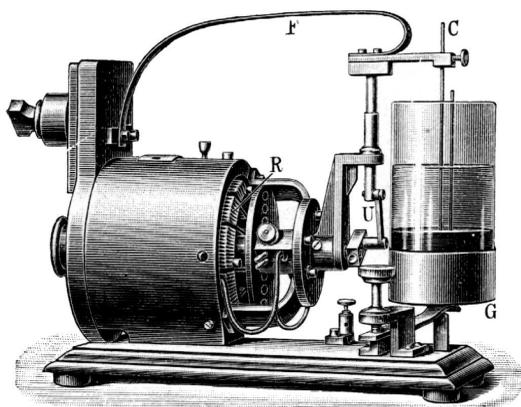


Fig. 380.
Interruttore a motore indipendente.

tubo cambia e per cause diverse; al vetro aderisce sempre uno straterello gassoso che sfugge nel riscaldamento e perciò bisogna evitare che le pareti del vetro si riscaldino troppo. E ciò si ottiene evitando che il vetro faccia da anticatodo,

e ponendo invece nel mezzo del tubo, nel fuoco del fascio catodico, un riflettore di platino *H*, congiunto con l'anodo. In tale disposizione i raggi Röntgen nascono e partono dal platino e sono molto più intensi e raccolti, mentre il tubo si riscalda assai meno. Questo si chiama tubo *Focus* (fig. 377).

Siemens e Halske han costruito un tubo Röntgen variabile e regolabile (fig. 378), che nel tubo laterale *r* contiene del fosforo, il quale ha la proprietà, se riscaldato, di assorbire l'aria. Si può così, riscaldando il tubo in *r*, regolare la pressione fino al grado voluto.

Si è pure cercato di perfezionare l'apparecchio induttore aumentando il numero delle interruzioni, e un progresso grandissimo è stato ottenuto cogli interruttori meccanici a mercurio (fig. 380), nei quali, mediante un piccolo motore elettrico, la manovella *u* e la molla *F*, si ottiene un rapidissimo movimento dell'ago *C*, il quale ora immergendosi, ora

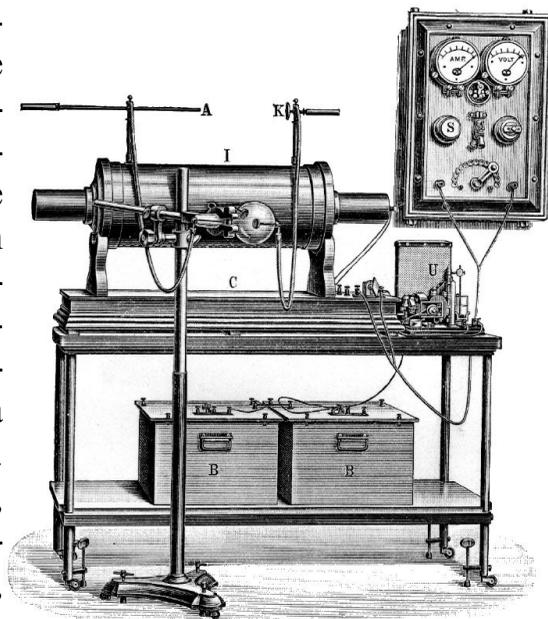


Fig. 381. – Grande rochetto d'induzione con accumulatori.

uscendo dal mercurio, chiude e interrompe il circuito. Sopra il mercurio è uno strato di petrolio o di alcool che impedisce le scintille al distacco, e rende più rapide le interruzioni. Si possono così ottenere 30 interruzioni al secondo e la corrente indotta giunge alla tensione di 300 mila Volt.

La fig. 382 mostra le varie parti di cui si compone un impianto moderno di radiografia per ricerche medico-chirurgiche. Come sorgente di energia elettrica per la corrente, servono gli accumulatori *BB*, dai quali la corrente va al quadro *S*, e ivi l'amperometro e il voltmetro ne misurano la tensione e l'intensità. Questa è la corrente primaria che viene condotta al rocchetto *J* passando

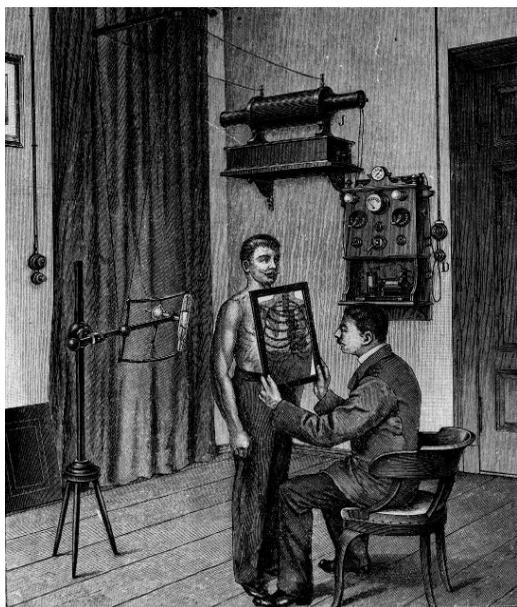


Fig. 382. – Esplorazione coi raggi Röntgen.

per l'interruttore *U*. La corrente secondaria fa capo agli elettrodi *A* e *K*, e dalla lunghezza massima delle scintille che scoccano fra *A* e *K* si giudica della sua tensione. Da questi due poli partono i due fili conduttori che sono congiunti al catodo e all'anodo del tubo Röntgen.

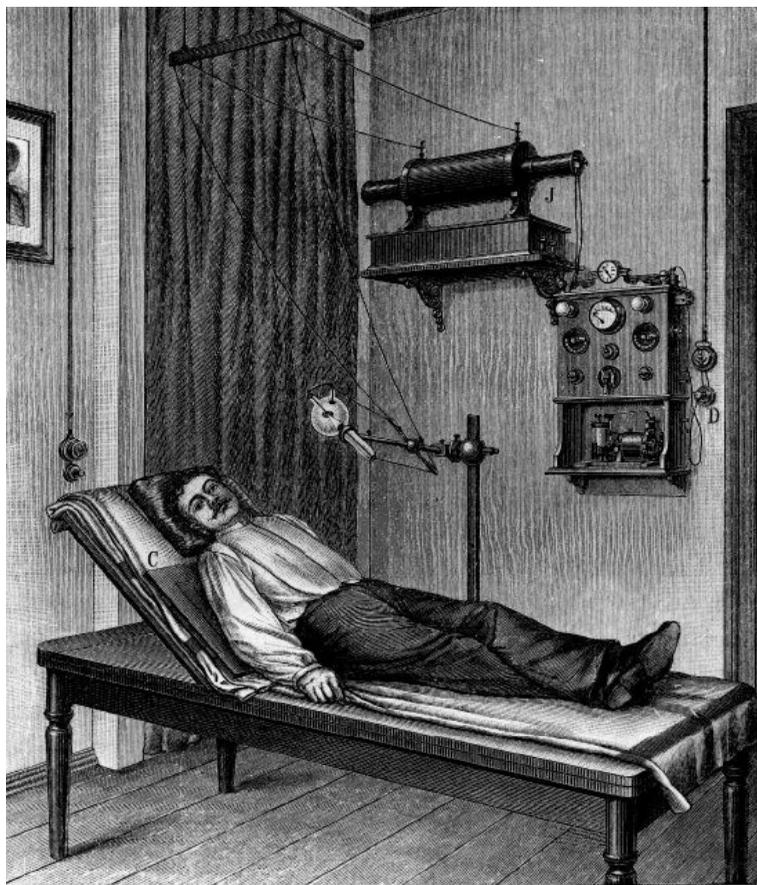


Fig. 383. – Gabinetto radiografico.

Le figure seguenti mostrano il modo di servirsi di questi apparecchi. Nella fig. 382, il medico osserva le ossa toraciche del malato: i raggi Röntgen penetrando dalla schiena traversano il corpo del paziente e sullo schermo, tenuto in mano dal chirurgo, si proiettano le ombre delle ossa. Nell'altra figura 383, si vede come si prende una fotografia. Il paziente è disteso, e non occor-

re che sia interamente spogliato, purchè gli abiti non portino bottoni metallici, che produrrebbero ombre moleste; tolti questi, della camicia non comparirà traccia alcuna nella lastra fotografica, che chiusa nella sua scatola di legno, è posta sotto la schiena, mentre tutta la stanza rimane illuminata liberamente.

Sopra la lastra sensibile si usa anche mettere uno schermo *rinforzatore* di tungstato di Calcio, disteso su un cartone; questo sale, diventando fluorescente sotto l'azione dei raggi Röntgen, aggiunge la propria azione fotografica a quella diretta dei raggi. Così oggi, in pochi secondi, si ottengono perfette radiografie dello scheletro.

Altra notevole importanza per la scienza medica hanno acquistato i raggi Röntgen, dopo che il dott. Bergmann, al congresso dei naturalisti di Monaco nel 1899, fece conoscere l'azione di essi sui tessuti viventi e sopra i batteri. Gli effetti di tale azione distruttiva e la pratica applicazione nei vari casi sono ancora discussi, ma l'importanza medica di questo nuovo mezzo, mediante il quale si può agire anche sopra i tessuti profondi del corpo umano, non può essere disconosciuta.

Nella Tavola XIII si vedono alcune interessanti radiografie. La 1.^a è la mano di un fanciullo di 2 anni e mezzo: la 7.^a la mano di una donna adulta. Si vede dal confronto, che, nella piccola mano, le ossa non sono ancora complete e sono disgiunte. Con tal mezzo si può seguire, nei fanciulli, il progressivo sviluppo e la formazione delle ossa, e venire in aiuto della natura nei casi, in cui

la formazione è insufficiente o difettosa. La fig. 5.^a mostra la rottura dell'avambraccio con dislocamento dei frammenti. La fig. 6.^a rivela la posizione precisa di una palla di pistola incastrata nelle ossa di un piede, e diventata ormai innocua per i movimenti. Il dott. Bergmann ha così rivelato parecchi di tali casi di proiettili, rimasti anche in parti vitali: per esempio, quello di un veterano della guerra del 1870, il quale da 29 anni portava nel polmone una palla che supponeva, invece, fosse rimbalzata sulle costole. Anche nel cervello possono rimanere proiettili inoffensivi, rivelati poi dai raggi Röntgen, che sono veramente preziosi per la scoperta e la rimozione di questi corpi estranei.

Anche alla Zoologia si son resi utili i raggi Röntgen rivelando lo scheletro e anche la costruzione interna di rari e delicati organismi, senza bisogno di aprirli e sezionarli. Vedansi le fig. 2, 3, 4.

Ad altre più modeste ma utili applicazioni pratiche si prestano i raggi Röntgen, valendosi specialmente del *Criptoscopio* (fig. 384) che è una cassetta con schermo fluorescente da applicarsi direttamente all'occhio, senza bisogno di fare intorno l'oscurità. Così si riconoscono per esempio i diamanti falsi dai veri; e senza aprire le valigie dei viaggiatori alle dogane si può vedere se contengono oggetti metallici: e altro ancora. È dunque molto, per quanto non sia il campo

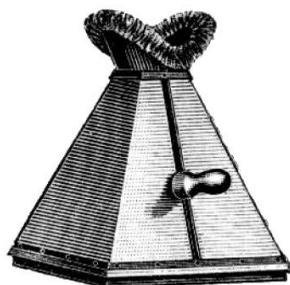
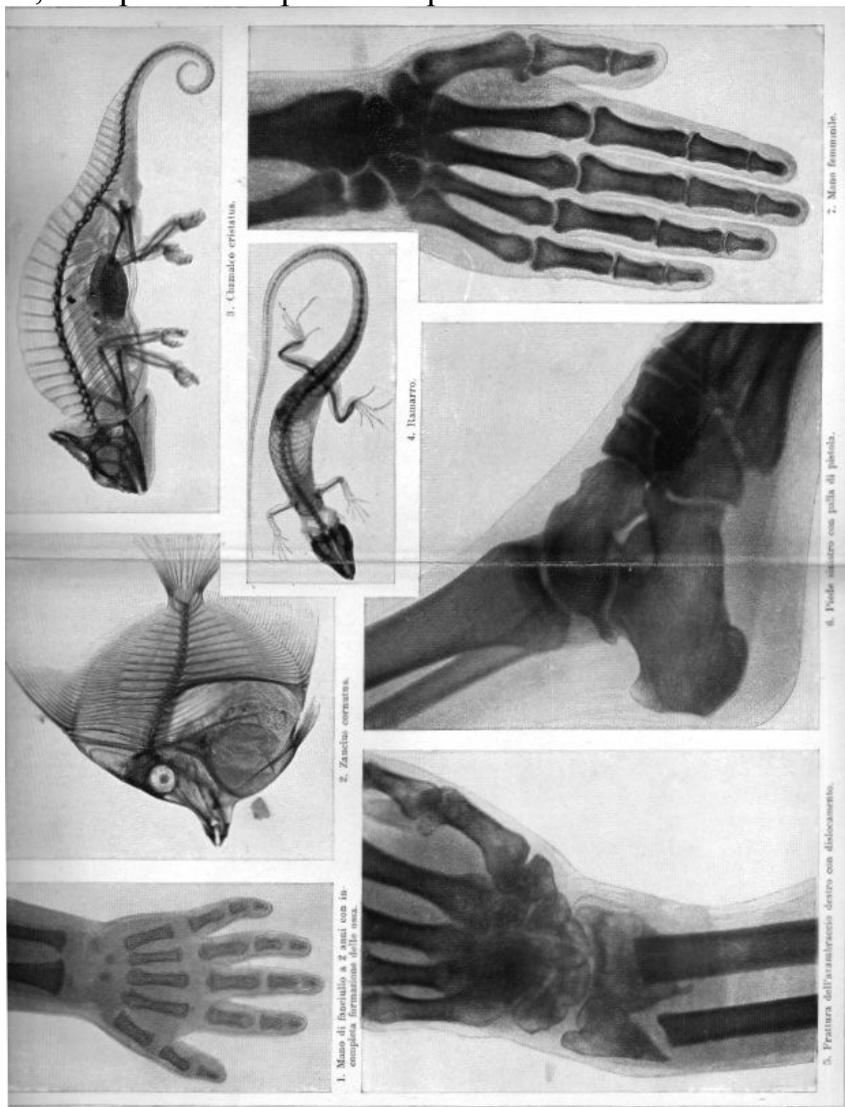


Fig. 384.
Il Criptoscopy.

immenso che l'eccitata fantasia di alcuni faceva supporre, all'epoca della prima scoperta.



Radiografie.

c) Raggi Becquerel e radio-attività

Nel 1897, due anni dopo la scoperta dei raggi Röntgen, il fisico francese Enrico Becquerel, il cui padre e l'avo pure furono fisici illustri (il padre specialmente è noto per gli studi sopra i corpi fosforescenti), annunciò una nuova scoperta che da principio fu poco creduta; anche lo stesso scopritore era dubbioso, tanto che indugiò un intero anno a renderla pubblica. Infatti, essa sembrava sconvolgere le leggi più sicure della fisica, cominciando da quella della conservazione dell'energia, e appariva quindi anche più strana di quella dei raggi Röntgen, nei quali la sorgente dell'energia è manifestamente la forza elettrica necessaria alla loro produzione.

I nuovi raggi emanavano senza speciale disposizione e senza diminuire col tempo, da sostanze conosciute, cioè dai sali di Uranio; e le loro proprietà erano simili a quelle dei raggi Röntgen e anche, per certi rispetti, dei raggi catodici.

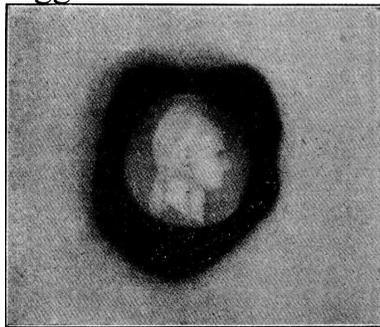


Fig. 385. – Radiografia coi raggi uranici.

Se un poco di questo composto di Uranio è chiuso in una scatoletta di piombo e questa vien collocata sopra una lastra fotografica avviluppata di carta nera per difenderla dalla luce, si forma sulla lastra un'immagine, una specie di radiografia della scatoletta, proveniente da raggi

speciali. La fig. 385 mostra l'immagine così ottenuta di una medaglia di alluminio, posta fra la lastra e la scatola di piombo. Becquerel ha chiuso di tali sostanze in doppie scatole di piombo fin dal maggio 1891, preservandole da tutte le azioni esterne e senza mai aprirle; e l'azione attraverso il doppio strato di piombo rimane anche oggi invariata.

Come abbiamo detto, i fisici furono in principio alquanto scettici per questi fenomeni: non tutti i preparati di Uranio, rari e costosissimi, erano similmente attivi e ciò rendeva difficili le ricerche. Queste non cominciarono che nel 1899, ma poi si succedettero con grande entusiasmo, e costituirono quella novissima e suggestiva branca della fisica, che si chiama oggi della *radioattività*.

Il merito principale di questo gagliardo impulso di ricerche spetta ai coniugi francesi Curie, i quali dal minerale di Uranio detto *pechblenda*, riuscirono a estrarre un nuovo corpo enormemente più attivo dell'Uranio stesso, il *Radio*. La *pechblenda*, contiene non solo Uranio, ma Ferro, Piombo, Magnesio, Calcio, Silicio, Arsenico, Bismuto e anche altri corpi; e il radio stesso è stato dai Curie non proprio isolato, ma ricavato insieme col Bario. Il metallo così ottenuto ha il peso atomico 225, mentre quello del Bario è 137,5; il radio appartiene dunque ai metalli più pesanti. Allo spettroscopio il nuovo elemento ha mostrato righe speciali distinte da quelle del Bario. I Curie credono avere scoperto anche un altro elemento il Polonio, simile al Bismuto, mentre il Radio è simile al

Bario.

Da questi corpi radioattivi emanano raggi dotati di proprietà differenti, che vanno da quelle dei raggi catodici a quelle dei raggi Röntgen: anche il potere penetrante è diverso nelle varie sostanze e in generale diminuisce con la densità delle sostanze. Il platino è il metallo più opaco; il più trasparente è l'alluminio, che si comporta come il vetro; in questo, i raggi Becquerel sono quasi simili a quelli Röntgen.

L'analogia si accresce dal fatto, che anche i raggi Becquerel non si riflettono, nè si rifrangono, e neppure sembra siano polarizzabili; queste qualità negative non permettono di pronunziarsi sopra la natura ondulatoria di tali radiazioni.

Se poi si esamina il comportamento di questi raggi in un campo elettrico e magnetico, bisogna venire alla conclusione, che essi consistono in un miscuglio di radiazioni diverse con proprietà assolutamente distinte.

Secondo la nomenclatura adottata dal Rutheford, dobbiamo riconoscere che i corpi radioattivi emettono almeno tre specie distinte di radiazioni, e cioè: Raggi α (identici ai raggi canali), cioè costituiti da particelle (ioni) elettrizzate positivamente, che sono deviati come una corrente elettrica in un campo elettrico e in un campo magnetico.

Raggi β , cioè i veri raggi Becquerel, (identici ai raggi catodici), e cioè formati da particelle elettrizzate negativamente (joni negativi o elettroni), i quali sono pure deviati dal campo elettrico e magnetico, ma in senso con-

trario dei raggi α , cioè come una corrente invertita.

Raggi γ , che non risentono alcuna azione dalle forze elettriche e magnetiche e sembrano identici ai raggi Röntgen, e come essi si può credere siano generati dall'urto dei raggi α e β sugli atomi gassosi circostanti.

Una delle proprietà più notevoli e veramente meravigliose di queste radiazioni è la scarica a distanza dei corpi elettrizzati da esse prodotta, che si può spiegare mediante le cariche proprie portate dalle particelle radianti e per la ionizzazione dell'aria traversata da questi raggi.

Basta avvicinare una scatoletta contenente un po' di sostanza radioattiva ad un elettroscopio elettrizzato per vederlo tosto scaricarsi; e basta che nella sala si trovi sparsa un po' di sostanza radioattiva per impedire la formazione delle scintille e il funzionamento delle macchine elettro-statiche. In somma, il complesso delle azioni che emanano da queste sostanze in così piccola massa è veramente sorprendente, e l'attenzione non solo degli scienziati, ma dei filosofi naturalisti, ne è stata e ne è tuttora vivamente eccitata.

L'ipotesi che per ora sembra la più opportuna per la spiegazione di questo strano e multiforme fenomeno della radioattività, è quella che si chiama la *teoria elettrica o elettronica della materia*, secondo la quale, gli elementi primitivi costituenti gli atomi materiali sarebbero gli *elettroni* o atomi elettrici; l'universo fisico sarebbe dunque costituito di *etere* ed *elettroni*.

Gli atomi sarebbero gruppi o sistemi di elettroni, e le

forze fisiche e chimiche sarebbero in sostanza forze elettriche, emananti dagli elettroni, e trasmesse dall'etere.

Non tutti gli atomi sarebbero egualmente stabili; gli atomi più pesanti, fra questi sono i corpi radioattivi, sarebbero atomi instabili che si disfanno, emanando continuamente elettroni o liberi o in parte riuniti in gruppi minori, cioè in atomi di altra natura. Tutta l'energia della radioattività sembra dovuta a questa trasformazione degli atomi; e fra le forme di questa energia è anche il calore che il radio emette continuamente, come sorgente perenne di energia.

Il radio, infatti, emette, oltre ai meravigliosi raggi, una sostanza, un gas, detto *emanazione*, che si mescola all'aria circostante, ma che può anche venir raccolto e condensato. Questa emanazione è essa stessa radioattiva e comunica la radioattività ai corpi circostanti. Ma il fatto più straordinario è che essa si trasforma a poco a poco in una sostanza stabile non radioattiva, e precisamente nel gas *helium*, elemento simile all'argon, che si trova nell'atmosfera terrestre e si trova anche nella fotosfera solare, dove ce lo rivela lo spettroscopio. La trasformazione di un elemento in un altro, il sogno degli alchimisti, è un fatto ormai osservato: per la chimica si apre un'era nuova!

FINE DELLA FISICA

PARTE SECONDA

I fenomeni chimici

Introduzione.

Fin qui ci siano occupati dell'azione diversa delle varie sostanze, secondo certe loro qualità, sulle forze naturali, e abbiamo veduto come per ciascun corpo si possano trovare certi valori numerici coi quali può esprimersi rispetto ad esso l'azione delle forze naturali: le proprietà delle varie sostanze hanno dunque una essenziale influenza sui fenomeni dei quali ci siamo occupati. Invero, la forza di gravità agisce ugualmente su tutti i corpi, poichè una bomba cade nel vuoto con la stessa velocità di un pezzo di sughero; ma questa universalità è unica per la gravitazione, tra tutte le forze naturali. Già il peso dei corpi, che pure è una diretta conseguenza della forza di gravità, è diverso secondo i varî corpi; ed un pezzetto di sughero è più leggero assai di un pezzo di ferro di equal volume. Così, abbiamo determinato la densità della materia, giungendo ad esprimere questa proprietà con un numero diverso per ogni sostanza. E molte altre proprietà abbiamo poi espresso numericamente come la durezza, la dilatabilità, l'elasticità, il punto di ebollizione e

di congelamento, la capacità e la conduttività calorifica, l'indice di rifrazione, di assorbimento, di riflessione, la lunghezza d'onda propria a ciascuna luce, la costante dielettrica, l'intensità di magnetizzazione, la conduttività elettrica, e simili altre proprietà. Ciascuna sostanza acquista così la sua particolare fisonomia, ed è appunto questa varietà delle sostanze, comparate fra loro, che provoca la manifestazione delle forze naturali e ce le rende accessibili e visibili. Con sostanze identiche nelle stesse condizioni fisiche non si può manifestare effetto alcuno. D'altra parte si accorderebbe male colle convinzioni che ci siamo fatte sull'unità delle forze naturali, il dovere, per ogni sostanza, supporre condizioni speciali, nelle quali le leggi considerate come universali potessero apparire cambiate. Occorre ancora trovare tra queste proprietà individuali o specifiche della materia, relazioni che le uniscano le une alle altre in un tutto organico. Già abbiamo scoperto di tali relazioni, per esempio, nel rapporto della costante dielettrica al potere rifrangente, e in quello della conduttività calorifica a quella elettrica; e le abbiamo considerate come l'effetto di una eguale forma di movimento nel mezzo che trasmette quelle azioni, cioè nel movimento ondulatorio dell'etere. Ma le forme e l'intreccio di queste onde risultarono straordinariamente complesse; e, per poterle spiegare, dovemmo ammettere che il tessuto molecolare dei corpi, dal quale dipende questa complessità di effetti, fosse pure costruito in varie e complicate forme. L'oggetto della Chimica è, appunto, quello di penetrare più a fondo in questo miste-

rioso mondo degli atomi, di scoprire le forze e le leggi che governano i loro aggruppamenti, e così, nel complesso dei fenomeni naturali, indagare e isolare la parte che ciascuna sostanza esercita individualmente nello svolgersi dei fatti naturali. A questa scienza spetta, quindi, di rivelarci l'ordine e la struttura della materia che forma la base dell'immenso edificio dell'universo fisico.

Da queste considerazioni risulta subito la strettissima affinità fra la Fisica e la Chimica. Non si potrebbe, infatti, parlare di fenomeni fisici della materia senza tener conto di quelle proprietà della materia stessa che solo la Chimica ci può far conoscere; e d'altra parte le forze fisiche sono così connesse con tutti i fenomeni chimici, che questi senza di quelle non si possono nè intendere nè immaginare.

I campi delle due scienze si congiungono, e si sovrappongono, e non è possibile stabilire tra di essi un limite preciso. Si è chiamata la chimica, la scienza delle leggi che governano la combinazione e separazione delle sostanze. Si volle trovare una distinzione tra fenomeni fisici e chimici, tra il semplice *miscuglio* e la vera *combinazione chimica*, in quanto nel primo caso, non vi sono rapporti quantitativi mentre nel secondo, invece, l'unione avviene sempre in date proporzioni. Ma la ricerca, dell'unità nei fatti naturali, la cui conoscenza deve essere il fine di tutti i nostri studî, ha costretto il chimico ad oltrepassare di molto questi ristretti confini. Bisogna, infatti, che egli comprenda i fenomeni in tutta la loro

estensione, per poter discernere quello che appartiene alla pura chimica; ed allora gli risulta evidente che anche i semplici miscugli fisici hanno alcune proprietà comuni con le vere combinazioni chimiche. Per queste ragioni, diremo che il compito della Chimica moderna è «lo studio delle trasformazioni *durevoli* che nella materia dei corpi si compiono per effetto di altra materia o di forze fisiche».

Le sostanze che ci servirono per le nostre esperienze fisiche, cioè ferro, rame, zinco, vetro, ecc. non si trovano in natura nello stato in cui le adoperiamo, ma devono essere estratte da certe materie, in cui si trovano unite con altre sostanze; dalla necessità di queste operazioni, è nata, fin da tempo antichissimo, l'arte della chimica. Conosciuta la potenza dissolvitrice del fuoco, gli uomini ottennero rame, ferro, stagno da certi minerali, riducendoli per mezzo del carbone, che libera il metallo dall'ossigeno col quale è unito. Per mezzo di quest'arte l'umanità è salita dalla primitiva epoca della pietra, a quella del bronzo e del ferro; ed i punti di separazione delle grandi epoche storiche della civiltà umana sono, appunto, segnati dalle scoperte di queste reazioni chimiche. Alcune poche nozioni chimiche possedevano da tempo sconosciuto i due antichissimi tra tutti i popoli, gli Egiziani ed i Cinesi. Dai primi deriva l'attuale nome di questa scienza, poichè, secondo Plutarco, gli Egiziani chiamarono il loro paese *Chemi* o *Chami*, che significava *regno nero*: ed anche nel medio evo si indicò la chimica col nome di «arte egiziana o nera», oppure di scienza

occulta, o segreta; perchè durante il periodo egiziano, come per tutto il medio evo, tale arte fu circondata e mantenuta nel mistero. Per tale ragione questa antichissima scienza si sviluppò assai lentamente. Pare, invero, che la scienza dei sacerdoti egizî possedesse molte cognizioni di chimica le quali, insieme con molte altre cognizioni scientifiche raccolte durante migliaia d'anni da quel popolo, non poterono giungere, disgraziatamente, a noi, per la distruzione della biblioteca alessandrina. Dopo, poi, dominarono le teorie naturali di Aristotile, le quali erano penetrate da profondo spirito filosofico, ma che per troppo tempo furon considerate come affermazioni assolute e intangibili, contro i diritti dell'indagine e dell'esperienza.

Aristotile insegnò, cosa di cui anche oggi siamo persuasi, che tutto ciò che esiste deve essere stato originato da una sola materia primitiva, attraverso infinite trasformazioni ed anche noi abbiamo seguito tale concetto, nel corso di questo libro. Questa materia primitiva si immaginava invisibile, priva di proprietà, priva di forma, come una cosa *sui generis*. Da questa si erano formati i quattro elementi aristotelici «*fuoco, aria, acqua e terra,*» i quali possono continuamente trasformarsi passando dall'uno all'altro, dando origine all'insieme dei fenomeni naturali e

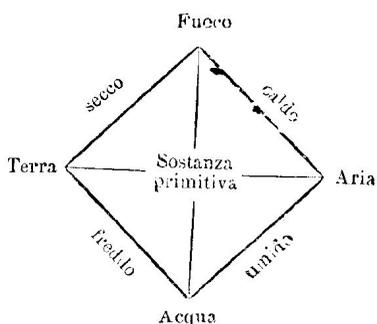


Fig. 386. — Diagramma degli elementi di Aristotile.

delle cose tutte. Questi passaggi sono disposti in un diagramma nella fig. 386 secondo il seguente ragionamento. Il fuoco è insieme asciutto e caldo, l'aria calda e umida, l'acqua umida e fredda, la terra fredda e asciutta. Se noi poniamo, al posto di questi elementi simbolici, qualche cosa di più generale ed astratto, cui dovette certo pensare il filosofo greco, se intendiamo, cioè, per «fuoco» quell'energia naturale che si estrinseca principalmente come calore; e per «aria, acqua, terra» i tre corrispondenti stati d'aggregazione della materia, vediamo allora che, così atteggiata, la teoria di Aristotile può essere accettata anche dallo scienziato moderno, il quale pensa pure ad una materia unica primitiva, la cui trasformazione per opera della propria iniziale energia, cioè del suo movimento, ha dato origine a tutto ciò che esiste in Natura.

Molte cose, da tal punto di vista, si possono allora ricavare da quel diagramma! Uniamo, per esempio, terra e fuoco, ed avremo aria, a significarci che, mediante il calore, possiamo rendere gassosi i corpi solidi; togliendo, invece, calore ai gas, ci avviciniamo allo stato liquido, scendendo in basso nel diagramma: così, si diceva, dall'aria, quando si raffredda, si forma la pioggia. E l'osservazione che una medesima sostanza, l'acqua, nei suoi tre stati d'aggregazione, ha proprietà diverse, fece supporre a buon diritto, che anche tutte le altre sostanze conosciute non fossero che trasformazioni di una medesima materia e che presentassero proprietà così differenti soltanto per le differenti condizioni e proporzioni del

miscuglio. Questo è un ragionamento perfettamente logico e non antiscientifico. La moderna chimica può citare centinaia di esempi, in cui, la diversità della proporzione nei composti dà a queste proprietà sostanzialmente diverse. Basti l'esempio dell'aria atmosferica col suo contenuto di acqua; senza togliere o aggiungere alcun altro elemento, ma solo variando le proporzioni del suo contenuto in ossigeno, azoto, idrogeno (tenendo conto del vapore d'acqua) e combinando insieme i detti elementi, si può trasformare questa aria salubre e vitale, in micidialissimo acido nitrico. Noi, ora, possiamo porre al posto dei tre elementi aristotelici, Terra, Acqua ed Aria, una settantina di sostanze, le quali sotto l'azione delle varie forze naturali costituiscono il mondo Fisico. Ma, proprio in questi ultimi anni, sono stati trovati specialissimi rapporti tra questi elementi, e ce ne occuperemo tra breve, così da non poter più mettere in dubbio che essi abbiano una comune primitiva origine; appunto, come le forze naturali si possono ridurre ad una forma unica di movimento. Si può adunque immaginare, che come primissimi elementi della Natura rimangano un giorno, di quelli di Aristotile, soltanto la terra e il fuoco; ossia, la materia prima e la sua energia, a costituire tutto l'universo.

Ci siamo fermati un poco sulle idee dei filosofi greci intorno alla costituzione del mondo non perchè abbiamo intenzione di dare un cenno storico dello sviluppo della chimica, ma per portare alla luce quel primo germe di teorie, che sono tornate oggigiorno a dominare e guidare

gli studi scientifici.

Non abbiamo quindi alcuna ragione di sorridere della convinzione degli alchimisti del medio evo, che qualunque sostanza potesse essere convertita in oro; solo l'ingenuità dei mezzi mistici e negromantici, con cui pretendevano poter trasformare la materia prima nel prezioso metallo, può oggi sorprenderci. Peraltro è certamente da deplorare che questa antichissima scienza chimica, la quale già da oltre 2000 anni si era posta sulla buona strada, sia stata poi per le aspirazioni egoistiche degli alchimisti volta ad uno scopo così ristretto e specializzato. Sebbene si acquistassero, pure durante quel periodo, alcune cognizioni preliminari, tuttavia la chimica cessò di essere una scienza; per ritornare poi ad essere tale, verso la metà del secolo XVII, quando Roberto Boyle riordinò le dottrine aristoteliche mal comprese, e consigliò, che ogni sostanza che non si potesse per allora scomporre, dovesse esser considerata come un corpo semplice, al fine di poter procedere sistematicamente ad uno studio dei corpi semplici e composti. A lui pure per il primo, balenò l'idea dell'atomo, ma allora simili ipotesi non potevano ancora acquistare terreno e dar frutti.

Era allora in auge la teoria del cosiddetto *flogisto*, cioè la materia infiammabile che si formava dalle sostanze in combustione o in calcinazione (oggi diremmo ossidazione) e si spandeva nell'aria rendendola incapace di alimentare la combustione. Questo flogisto era in sostanza il nostro ossigeno, solo che, se è lecito così esprimersi, con direzione opposta di movimento; poichè il flogisto

doveva emanare dalla combustione, l'ossigeno invece è in questa assorbito. Una ricerca quantitativa, in un recipiente chiuso all'aria esterna, avrebbe dimostrato che, in realtà, i corpi bruciando divengono più pesanti anziché più leggeri, e assorbono in sé una parte dell'aria. Lavoisier fu il primo a dimostrare questo nel 1774, e così scoprì l'ossigeno, che riconobbe, come la causa prima di ogni combustione. Questa scoperta determinò il vero moderno sviluppo della chimica, che d'allora in poi diventò vera scienza; acquistando tale titolo, nonostante le sue antichissime origini, solo allora, cioè poco più che cento anni fa.

Da questo rapido sguardo al passato e falso cammino di questa scienza, si comprende che la conoscenza delle molte sostanze fondamentali e la loro preparazione dai minerali dovettero essere ottenuti con mezzi vari e complessi, e per lo più casualmente. Non sarebbe quindi molto utile per noi e per il nostro scopo, il descrivere passo per passo, come col trattamento delle materie minerali e delle altre esistenti in natura, si sia giunti a conoscere che queste, per lo più, non sono che combinazioni di altre sostanze più semplici, le quali solo raramente, o mai, si trovano naturalmente allo stato libero; intendiamo parlare dei cosiddetti *elementi chimici*, che, con tutti i mezzi di cui attualmente disponiamo, non si possono ulteriormente decomporre in sostanze ancora più semplici. Crediamo opportuno partirsi dallo studio di questi stessi elementi, per passare poi sistematicamente, ad esaminare come da queste sostanze fonda-

mentali derivi tutto il mondo fisico.

Così, noi seguiremo la stessa via della Natura nel creare i suoi sistemi cosmici, dalle molecole agli astri. Dalle analisi spettrali e da altre cognizioni chimiche, e fisiche, si può concludere, con piena sicurezza, che tutti gli elementi chimici osservati nel sole, vi si trovano dissociati allo stato libero. Il Sole si trova attualmente in uno stadio iniziale di formazione, e forse, come già altrove avremo occasione di dire, le prime combinazioni chimiche avvengono là dove noi osserviamo le macchie solari. Il progressivo raffreddamento permise sui pianeti la formazione di molecole sempre più complesse, fino a che, poi, la comparsa degli organismi poté da pochi elementi, produrre sistemi molecolari tanto complicati che tutta la nostra arte di analisi e di sintesi è impotente a determinarne la vera costituzione e a riprodurle; mentre sappiamo, che la conoscenza completa di queste sostanze organiche, come per esempio, l'amido, l'albumina, la clorofilla, il protoplasma, ecc., dovrebbe inaugurare un nuovo felice periodo per l'umanità, nel quale la grande facilità della produzione delle sostanze alimentari farebbe sparire una gran parte delle fatiche e dei disagi economici.

Ma il compito della chimica non è soltanto quello di ricostruire, dai semplici elementi, le sostanze che si trovano in natura; essa riesce anche a generare composizioni nuove che spesso hanno proprietà preziose per l'industria e per la tecnica; per questo la chimica è divenuta una delle scienze più utili praticamente all'umanità. Noi

non possiamo qui occuparci di chimica pratica e tecnologica; ci limiteremo a dare occasionalmente alcuni esempi, in relazione coi concetti generali che informano il nostro lavoro.

La chimica si suol dividerla in due parti principali: *Chimica inorganica* e *organica*. La prima si occupa dei corpi della cosiddetta natura morta; studia la composizione dei minerali, dell'acqua, dell'aria, gli elementi semplici, nelle loro proprietà e in tutte le possibili combina-

zioni. La chimica organica, invece, studia specialmente le sostanze formate solo dagli organismi viventi. Un tempo dalle differenze esterne tra queste due divisioni, si concludeva esser tra esse un limite ben delineato.

Nella chimica inorganica, si diceva, è

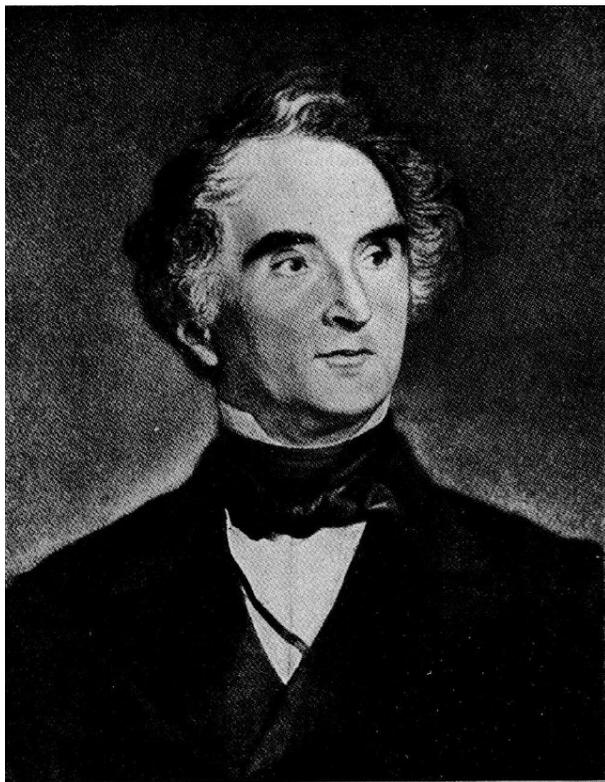


Fig. 387. – Justus von Liebig.

sempre possibile con gli elementi semplici formare i corpi composti, e così fare non soltanto la loro analisi, ma anche la loro sintesi; invece, nella chimica organica questo non è, in generale, possibile. Ma da che Wöhler nel 1828 riuscì pel primo a formare artificialmente l'urea, e, poi, per l'opera teorica e sperimentale del geniale Liebig, (fig. 387) di Kekulé, Berthelot, Hoffman ed altri si potè fare, per sintesi, altre sostanze che fino allora si consideravano come misteriosamente formate per l'azione della cosiddetta «forza vitale» degli organismi, i limiti tra questi due rami della chimica divennero sempre più incerti. Vero è che queste sintesi furono finora possibili per quelle sole sostanze che nei processi della vita organica entrano come prodotti secondarî, ovvero si formano nella decomposizione; così, gli oli, gli acidi organici, le sostanze aromatiche che talvolta danno alle sostanze organiche odore piacevolissimo, altre volte fetore nauseante, gli alcaloidi per lo più velenosissimi, che si formano anche nella putrefazione.

Quelle sostanze che si trovano nel tessuto cellulare degli organismi viventi, interessanti principalmente i rapporti di ricambio organico, le quali si formano dai loro semplici elementi solo nelle piante, e servono di esclusivo cibo agli animali, noi non sappiamo pur troppo ancora comporle artificialmente, perchè quei processi chimici che si compiono nelle piante rimangono tuttora per noi un mistero. Ma tutto fa sperare che coll'indirizzo preso dalla chimica negli ultimi anni, anche questo problema possa essere risolto. Si arriva, un poco per

volta, a compiere sintesi di composti sempre più complicati ad appartenenti ai più elevati gradi dalla chimica organica.

Rimanendo adunque sempre più limitato il campo delle sintesi organiche non possibili a farsi, le due parti della chimica vanno sempre avvicinandosi e fondendosi insieme. Si deve, tutt'al più, oggi fare una distinzione puramente formale, astraendo dall'influenza degli organismi viventi, e chiamare semplicemente la chimica organica «chimica del carbonio», poichè in tutti i suoi composti trovasi sempre, ora in combinazioni semplici, ora complicatissime, il carbonio. Perciò, dunque, anche praticamente, bisogna che questi numerosissimi composti del carbonio formino una classe a sè. Soltanto quelli che si trovano anche nella natura non organizzata, sono stati lasciati nella chimica inorganica, e formano quindi il passaggio tra i due campi.

Ora daremo uno sguardo sintetico ai diversi fenomeni chimici, per potere, familiarizzati con essi, passare ad esaminarli nei loro rapporti col mondo fisico che abbiamo finora studiato.

Composti inorganici

Il numero delle sostanze minerali che si trovano sulla crosta terrestre e dalle quali abbiamo ricavato gli elementi chimici, fin qui conosciuti, è valutato a 700. Si distinguono in essi le rocce che costituiscono le monta-

gne, i minerali metalliferi che si trovano internati in esse, spesso in forma di filoni, le formazioni vulcaniche, le terre, ecc. Le sostanze semplici che si trovano nelle acque e nell'aria, si trovano poi anche nelle rocce; ad eccezione di alcune, scoperte solo negli ultimi anni, mescolate in tenuissima proporzione all'aria atmosferica, come l'argon, il kripton, il neon, ecc., di cui conosciamo ancora poco bene le proprietà chimiche, del resto quasi nulle. In questi 700 composti naturali, siamo arrivati per ora a riconoscere un'ottantina di sostanze che non sono più suscettive di scomposizione. Questi sono *corpi semplici* o elementi chimici.

Nomi degli elementi	Simboli	Pesi atomici
Alluminio	Al	27.1
Antimonio (stibium)	Sb	120
Argento	Ag	107.93
Argon	A	39.9
Arsenico	As	75
Azoto o Nitrogeno	N	14
Bario	Ba	137.4
Bismuto	Bi	208.5
Boro	Bo	11
Bromo	Br	79.96
Cadmio	Cd	112.4

Calcio	Ca	40.1
Carbonio	C	12
Cerio	Ce	140
Cesio	Cs	133
Cloro	Cl	35.45
Cobalto	Co	59
Cripto	Kr	81.8
Cromo	Cr	52.1
Elio	He	4
Erbio	Er	166
Ferro	Fe	55.9
Fluoro	Fl	19
Fosforo	P	31
Gadolinio	Gd	156
Gallio	Ga	70
Germanio	Ge	72
Glucinio	Gl	9.1
Idrogeno	H	1
Indio	In	114
Iodio	I	126.85
Iridio	Ir	193
Itterbio	Yb	173
Ittrio	Y	89
Lantanio	La	138

Litio	Li	7.03
Magnesio	Mg	24.36
Manganese	Mn	55
Mercurio (hydrargirium)	Hg	200.3
Molibdeno	Mo	96
Neon	Ne	20
Neodimio	Nd	143.6
Nikelio	Ni	58.7
Niobio	Nb	94
Norvegio	Ng	145.9
Oro	Au	197.2
Osmio	Os	191
Ossigeno	O	16
Palladio	Pd	106
Piombo	Pb	206.9
Platino	Pt	194.8
Potassio (kalium)	K	39.15
Praseodimio	Pr	140.5
Radio	Ra	225
Rame (cuprum)	Cu	63.6
Rodio	Rh	103.4
Rubidio	Rb	85.4
Rutenio	Ru	101.7
Samario	Sa	150.3

Scandio	Sc	44.1
Selenio	Se	79.1
Silicio	Si	28.4
Sodio (natrium)	Na	23.5
Stagno	Sn	118.0
Stronzio	Sr	87.6
Tallio	Tl	204.1
Tantalio	Ta	183
Tellurio	Te	127.6
Titanio	Ti	48.1
Torio	Th	232.5
Tullio	Tu	171
Tungsteno o Wolfram	W	184
Uranio	U	238.5
Vanadio	Va	51.2
Xenon	X	128
Zinco	Zn	65.4
Zirconio	Zr	90.7
Zolfo (sulphur)	S	32

Le lettere scritte nella seconda colonna, accanto ai nomi, sono le loro comuni abbreviature o «simboli chimici», dei quali ci serviremo in seguito. Essi sono indispensabili per una semplice e chiara indicazione dei composti, e nelle cosiddette «formule» hanno anche un

valore quantitativo. Nella terza colonna poi si trovano i corrispondenti *pesi atomici*. Questi pesi, come è noto, sono solamente numeri relativi, perchè del vero peso degli atomi niente di sicuro sappiamo. Essi esprimono soltanto il peso relativo degli atomi fra loro, e perciò il peso atomico si potrebbe chiamare anche la densità relativa degli atomi, la quale però non si accorda affatto con la densità delle sostanze da questi formate. Come per la densità dei corpi abbiamo preso l'unità di misura in quella dell'acqua, così anche per il peso atomico occorre determinare un'unità a nostra scelta, che soddisfi più che è possibile alle necessità pratiche.

Come unità per i pesi atomici, è stato scelto, in generale, il peso atomico dell'idrogeno. Peraltro, in certe altre tabelle il suo peso è fatto non eguale a 1, ma a 1,01; ed eccone la ragione. Negli ultimi anni, i metodi di misura, anche per la chimica, si sono molto perfezionati, e si è riconosciuto che, per l'idrogeno, il rapporto in cui esso si combina cogli altri elementi, e da cui quindi deve esser dedotto il peso atomico di questi, offre maggiori difficoltà ed un'esatta determinazione di quello che non avvenga per altri elementi, per esempio, per l'ossigeno. Se dunque, in seguito a nuove ricerche, il peso atomico dell'idrogeno, che era stato sempre fatto uguale ad uno, risultasse cambiato, avrebbero dovuto essere cambiati quelli di tutti quanti gli elementi. Perciò era preferibile scegliere come unità di misura il peso atomico di un altro corpo che si potesse valutare con maggior precisione; ma d'altra parte si presentava in questo caso

l'inconveniente che ormai si era generalmente abituati all'unità dell'idrogeno. Per ottenere un accordo si venne ad un compromesso; cioè si ammise come vera e propria unità di misura quella dell'ossigeno, ma si assegnò a questo, come definitivo, il peso atomico 16 molto prossimo a quello che già gli aspettava nell'antico sistema, e si ottenne così il vantaggio di non dover più alterare sensibilmente i numeri già in uso; in secondo luogo, se un giorno il peso atomico dell'idrogeno venisse determinato con maggior precisione, solo questo si sarebbe cambiato e non gli altri. L'ossigeno poi è stato a questo riguardo studiato così accuratamente, che non è punto probabile, rispetto ad esso, una futura alterazione dei pesi atomici.

Degli elementi riportati nella nostra tavola, più di metà si trovano molto raramente in natura, e, per quanto sappiamo, tanto nella costituzione della terra come in quella dei corpi celesti, hanno una parte affatto secondaria, per cui sin qui ci siamo dovuti poco occupare di essi. Restano adunque una trentina circa di elementi dai quali principalmente dipendono la formazione del mondo e i fenomeni ordinari.

Questi elementi si possono già dalle qualità esterne distinguere in 3 gruppi principali: i *metalli pesanti*, i *metalli leggeri*, e i corpi *non metalli* o *metalloidi*. Questi gruppi si suddividono, poi, relativamente alla analogia delle azioni chimiche degli elementi, in sottogruppi. Sebbene si siano proposte altre classificazioni, che certamente hanno le loro buone ragioni, tuttavia vogliamo

qui indicare quella più generalmente adottata, anche se a qualcuno possa sembrare antiquata.

A. – Metalloidi.

- I. *Gruppo dell'ossigeno.* – Ossigeno, Zolfo e Selenio.
- II. *Alogeni* – Cloro, Bromo, Iodio, Fluoro.
- III. *Gruppo dell'azoto.* – Azoto, Fosforo, Arsenico, Antimonio.
- IV. *Gruppo del carbonio.* – Carbonio, Boro, Silicio.
- V. *Gruppo dell'idrogeno.* – Il solo Idrogeno.

B. – Metalli leggeri.

- VI. *Metalli alcalini.* – Potassio, Sodio.
- VII. *Metalli alcalino-terrosi.* – Calcio, Bario, Stronzio.
- VIII. *Gruppo del magnesio.* – Il solo Magnesio.
- IX. *Metalli terrosi.* – Alluminio e molti metalli rari.

C. – Metalli pesanti.

- X. *Gruppo del ferro.* – Cromo, Ferro, Zinco, Manganese, Cobalto, Nichel, Uranio.
- XI. *Gruppo del piombo.* – Piombo, Mercurio, Argento, Rame, Bismuto, Cadmio.

XII. Gruppo dello stagno. – Stagno, Oro, Platino.

Questi corpi si combinano tra loro secondo il grado della loro «affinità chimica», che può definirsi come una specie di forza di attrazione. Si potrebbero dunque disporre questi elementi in serie, come abbiamo fatto per il grado di tensione elettrica. Qui peraltro i rapporti sono più complessi, poichè non due, ma parecchi elementi possono combinarsi fra loro. Del resto, si può anche considerare l'ordine della tabella precedente come una specie di scala di tensione chimica. Eccettuato il gruppo principale dei metalloidi, per gli altri gruppi non è possibile una vera combinazione chimica tra elementi del medesimo gruppo. Così, i metalli pesanti si uniscono solo per formare le cosiddette leghe, che veramente non si possono dire semplici miscugli fisici, ma neppure vere combinazioni chimiche. Le sostanze molto simili si trovano frequentemente in natura le une accanto altre, come ad es., il ferro, il cobalto e il nichel, ma non presentano reciproca affinità. Nei corpi leggeri invece, specialmente nei gas, avvengono molte combinazioni tra gli elementi vicini per classificazione, come tra l'ossigeno e lo zolfo.

a) Gli ossidi.

Nell'intero campo della natura inorganica i composti dell'ossigeno hanno la parte principale. Quasi l'intera crosta terrestre, fin dove noi la conosciamo, consiste di

tali sostanze, prodotti cioè di ossidazione o di combustione. Così si chiama la combinazione degli altri elementi con l'ossigeno, per quanto il comune fenomeno caratteristico della combustione, cioè la fiamma, non comparisca che in pochissimi casi. Al contrario, in tutte queste ossidazioni si sviluppa del calore.

Il più abbondante composto dell'ossigeno è l'acqua. Se si mescola un certo volume, per esempio, un litro di ossigeno con due d'idrogeno, non si osserva alcuna alterazione nei gas: essi formano ancora un miscuglio fisico. Ma appena si porta, anche una minima parte di questo miscuglio, ad una determinata temperatura, o si faccia attraversare da una scintilla elettrica, o si ponga a contatto con una fiamma, la reazione chimica avviene improvvisamente sotto forma di esplosione, e si produce vapor d'acqua, che può poi essere condensato con un abbassamento di temperatura. L'acqua così formata ha, tanto nei suoi rapporti chimici come in quelli fisici, proprietà affatto diverse da quelle dei suoi due componenti.

L'ossigeno (O) è un gas privo di colore e di odore, non combustibile di per sè, ma che è causa della combustione degli altri elementi, ed alimenta la respirazione, e quindi la vita di tutti gli esseri viventi. Un litro di questo gas pesa gr. 1,43. Si credeva, prima, l'ossigeno un gas permanente, ma recentemente si è trovato che esso bolle a -181° , e quindi a temperature inferiori, anche alla pressione ordinaria, è un liquido che somiglia all'acqua, ma non ha alcuna analogia con questa; a quale temperatura l'ossigeno passi allo stato solido non si conosce an-

cora.

L'idrogeno (H) è pure un gas incolore ed inodoro. A differenza dell'ossigeno si accende nell'aria e brucia con debole fiamma azzurrognola: il prodotto della sua combustione è pure acqua: ma l'idrogeno non alimenta la combustione. Un pezzo di legno ardente, a cui si smorzi col soffio la fiamma, se si immerge nell'ossigeno riprende subito a fiammeggiare, ma se si immerge nell'idrogeno, si spegne. L'idrogeno è il corpo più leggero che si conosca: 1 litro pesa solo 0,090 grammi, ossia circa 16 volte più leggero dell'ossigeno, in corrispondenza appunto del suo peso atomico. L'idrogeno bolle sotto pressione normale a -246° , e la sua temperatura critica, alla quale si liquefa sotto una pressione di 20 atmosfere, è di -234° .

Le proprietà dell'acqua sono note. Essa, al contrario degli elementi che la compongono, si può far passare facilmente in tutti e tre gli stati di aggregazione e non brucia, nè alimenta la combustione.

È questa una caratteristica di ogni combinazione chimica, di dare origine ad un composto apparentemente affatto nuovo, che sembra non aver nulla in comune coi suoi componenti. Nella combinazione chimica, in certo modo, le proprietà opposte degli elementi sono agguagliate e si neutralizzano a vicenda, presso a poco come nell'unione delle due elettricità contrarie.

Un'altra proprietà dei composti chimici è che questi, in proporzione al grado di affinità dei loro componenti, sono più difficili a scindere che a formarsi. Nel nostro

esempio dell'acqua, soltanto un'altissima temperatura o l'elettricità, che per lo più ha una forza di dissociazione maggiore delle reazioni chimiche e genera più alta temperatura, possono di nuovo separare tra loro i due elementi combinati in acqua. Parlando delle esperienze col voltmetro, abbiamo già osservato, che ad un elettrodo di questo si separano precisamente due volumi di idrogeno, per un volume di ossigeno che si separa nell'altro.

Si conoscono diverse reazioni nelle quali dall'acqua si libera il solo idrogeno. Se si getta un pezzetto di sodio nell'acqua, questo si accende movendosi rapidamente (fig. 388); perchè avendo un'affinità mol-



Fig. 388. — Ossidazione del sodio nell'acqua.

to maggiore per l'ossigeno che per l'idrogeno, separa quello dall'acqua e si combina con esso formando un ossido. L'idrogeno, per il calore prodottosi, si accende e brucia nell'aria, ritornando a formare acqua. Questa combustione si può impedire, escludendo l'aria dal processo chimico, e si ottiene allora l'idrogeno isolato e gassoso.

Un'altra generale proprietà delle combinazioni chimiche è, che i corpi semplici vi prendono parte solo in semplici proporzioni di volume ben determinate.

Abbiamo veduto che due volumi d'idrogeno ed uno di ossigeno formano l'acqua, e si possono poi di nuovo ottenere nella decomposizione di questa. Se si fa il miscuglio dei due gas, ossia il gas detonante, in proporzioni

diverse da queste, quando avvenga la combinazione di essi, l'eccesso di uno dei gas non prende parte alla reazione, o anche, in certe condizioni, non avviene la combinazione. Misurando in peso le parti dei due gas che concorrono alla formazione dell'acqua troviamo 16 per l'ossigeno e 2 per l'idrogeno. Un litro di ossigeno pesa gr. 1,43, 2 litri d'idrogeno gr. 0,18; e il rapporto di questi numeri è appunto di 16 : 2. I 3 litri di gas detonante peseranno dunque gr. 1,61: altrettanto deve dunque pesare l'acqua formatasi, poichè nel processo chimico niente altro si è aggiunto, come nulla si è disperso, e le più esatte ricerche confermano tutto ciò. Sebbene l'acqua che si forma, anche allo stato di vapore, occupi minor volume del miscuglio detonante, tuttavia si ha l'esplosione perchè l'altissima temperatura fa crescere repentinamente la pressione e quindi il volume della sostanza.

Dalla tavola dei pesi atomici vediamo, che il rapporto dell'ossigeno all'idrogeno nell'acqua corrisponde al semplice peso atomico del primo, per due pesi atomici del secondo, ossia, due atomi di idrogeno si combinano con uno di ossigeno. Ciò si esprime col simbolo H_2O , che noi d'ora innanzi useremo continuamente per indicare l'acqua.

Passeremo poi ad occuparci dei composti dell'ossigeno coi metalli leggieri, dei quali fino ad ora abbiamo conosciuto il solo sodio. Intanto, notiamo che nell'acqua in cui è avvenuta la combustione del sodio, si è sciolta una sostanza composta da un atomo di sodio e inoltre da

ossigeno ed idrogeno. La formula della reazione è la seguente: $\text{Na} + \text{H}_2\text{O} = \text{NaOH} + \text{H}$. Si forma cioè l'*idrossido* di sodio. Col potassio si ottiene lo stesso effetto e ne risulta l'*idrato potassico* KOH. Sempre cioè, due atomi si combinano con uno di ossigeno, e non si riesce a trovare una reazione in cui, nelle stesse condizioni, entri una parte minore di ossigeno.

Al contrario si può combinare le stesse parti di potassio o di sodio e di ossigeno con un'altra parte ancora di ossigeno, formando allora i biossidi di sodio o di potassio, detti così perchè contengono maggior quantità di ossigeno dei semplici ossidi.

Composti di proporzioni intermedie tra queste, che debbono essere espressi da formule con numeri non interi, non ve ne sono. Ma secondo certe leggi, che debbono ancora essere trattate più a fondo, possono più atomi di ossigeno combinarsi con un numero invariato di atomi di altri elementi. Risulta, dunque, di qui la proprietà che un atomo di ossigeno si combina sempre con due atomi degli elementi che appartengono al gruppo dell'idrogeno, degli alogeni o del potassio. Potrà anche accadere che i due atomi di ossigeno si uniscano in parte tra loro.

Per potersi render conto con chiarezza di questi rapporti, senza peraltro pretendere di rappresentarci il vero mondo molecolare, si è introdotto il concetto delle *valenze*. Dicendo che l'atomo di ossigeno ha due valenze, ossia è *bivalente*, si vuol significare che per poter formare un composto stabile, ovvero per costituire una mo-

lecola, le cui forze interne siano in equilibrio, l'atomo dell'ossigeno deve essere unito con altre due valenze di altri elementi; e con questa unione restano allora equilibrate anche le valenze degli altri atomi. La bivalenza dell'ossigeno si può rappresentare col simbolo $-O-$; come se l'atomo dell'ossigeno avesse due punti nei quali si può congiungere con altri elementi, la cui affinità deve essere il più possibile sodisfatta. Se, per esempio, si ha solo ossigeno, due suoi atomi si uniscono tra loro a formare una molecola, che simbolicamente sarà espressa $O=O$. Si dice che le valenze devono essere *saturate*, e si parla quindi di combinazioni sature e non sature, cioè instabili.

Una formula chimica come l'ultima citata si chiama *formula di struttura*, perchè spiega la costruzione della molecola. I gruppi dell'idrogeno, degli alogeni e dei metalli alcalini sono tutti *monovalenti*. La molecola dell'idrogeno ha la formula di struttura $H-H$; quella del potassio $K-K$; quella dell'acqua $H-O-H$, quella dell'ossido di potassio $K-O-K$. Dal simbolo dell'ossigeno partono sempre due lineette, da quello del potassio una sola: per cui tutte le valenze sono saturate.

Tutti i composti ossigenati in cui la valenza di ciascun atomo di ossigeno è saturata con un atomo di un'altra sostanza si chiamano *ossidi*. Vi sono anche dei composti nei quali avanza ancora la valenza di un atomo di ossigeno, che deve dunque essere saturata dall'ossigeno stesso; nella formula di struttura si ha allora $-O-O-$ e questi composti si chiamano *bioossidi*. Così la formula di

struttura del biossido di potassio è $K-O-O-K$, e non si scrive allora KO , ma K_2O_2 . Ciò vale per tutti i perossidi: per cui si hanno triossidi, tetrossidi, pentossidi ecc., secondo il numero di atomi di ossigeno ch'entrano a far parte del composto; se il numero di questi è invece minore che nei comuni ossidi, i composti prendono il nome di *ossiduli*. Il gruppo di atomi che si uniscono all'ossigeno (o ad altri elementi), che a volte consiste di più elementi, si indica generalmente col nome di *radicale* e gli si assegna il simbolo R.

Gli elementi appartenenti ad un dato gruppo, hanno, in generale, uguale valenza, salvo poche eccezioni. L'idrogeno, gli alogeni ed il gruppo del potassio sono monovalenti; l'ossigeno, il calcio, il magnesio, ed il gruppo del piombo sono bivalenti; il gruppo del ferro e alluminio, è bivalente, e trivalente; quello del carbonio e stagno è tetravalente; e finalmente quello dell'azoto pentavalente. Ma si hanno anche valenze più elevate.

Abbiamo qui accennato brevemente a queste relazioni, perchè esse ci facilitano l'esposizione dei nuovi fenomeni, il che è necessario prima di passare a studiare le loro relazioni con quelli che già conosciamo.

Le poche regole fin qui conosciute, sui composti chimici, ci pongono già in grado di poter fare delle previsioni teoriche, poichè possiamo ben ammettere che le combinazioni possibili tra elementi che presentano molta affinità tra loro, debbano avvenire spontaneamente in natura o possano con facilità prodursi artificialmente. Prendiamo, ad esempio, i due primi elementi: ossigeno

ed idrogeno. Il loro composto H_2O , l'acqua, secondo le regole esposte, si può a rigore di termini chiamare *ossido d'idrogeno*. Ma vi è anche la combinazione H_2O_2 , ossia il *bioossido d'idrogeno*, la cui formula di struttura è presumibilmente $H-O-O-H$, in cui tutte le valenze sono saturate; è questo un liquido trasparente come l'acqua, ma, nel resto di proprietà diversissime dell'acqua, come in parte si può supporre già dalla sua formula. Abbiamo già detto innanzi che le sostanze più atte a combinarsi tra loro sono quelle che hanno maggiore forza d'attrazione reciproca, o affinità; ossia, quelle che nei gruppi suesposti si trovano a maggior distanza l'una dall'altra; si capisce allora, come due atomi dello stesso corpo debbano spesso tenersi uniti solo con pochissima forza. Nella formula $H-O-O-H$ i due atomi centrali di ossigeno stanno uniti tra loro; per cui se uno di essi può combinarsi con qualche altro corpo, facilmente si staccherà dall'altro. Il bioossido d'idrogeno, deve dunque, come in generale qualunque bioossido, facilitare l'ossidazione dei corpi con cui viene a contatto; e ciò avviene in realtà. Col distacco di quell'atomo d'ossigeno, del composto H_2O_2 resta H_2O , cioè acqua. Si può quindi adoperare utilmente il bioossido d'idrogeno per la decolorazione delle sostanze organiche; le sostanze coloranti da togliersi si combinano con quell'atomo d'ossigeno che si separa, formando un ossido che può essere facilmente eliminato, e dell'acqua, che è affatto innocua alle sostanze stesse; il che non si può dire invece, di altri mezzi decoloranti, come, per esempio il cloro.

Introduciamo, ora, un altro esempio tipico delle possibili combinazioni, cioè l'anello atomico o catena chiusa.

Non soltanto due, ma anche tre atomi d'ossigeno possono collegarsi a formare una molecola completamente satura: la formula di struttura O_3 prenderebbe allora questo aspetto $\begin{array}{c} \diagup O \diagdown \\ O - O \end{array}$; in natura vi è una sostanza corrispondente a questa formula ed è l'ozono, che si produce spesso nelle scariche elettriche forti, sia meteoriche, che artificiali, ed è caratterizzato da uno speciale odore, che ricorda il fosforo. Si deve supporre che sotto l'effetto di queste azioni violente, un certo numero di atomi doppi di ossigeno vengano dissociati, per riunirsi poi subitamente con le molecole rimaste doppie; ma si capisce che questa unione non può essere molto stabile. L'ozono si trasforma lentamente, da sè stesso, in ossigeno comune, formandosi da due molecole di ozono tre di ossigeno. L'ozono agisce come ossidante con molto maggiore energia dell'ossigeno, e scompone le materie organiche, separando i loro componenti e formando nuovi ossidi coi loro radicali; produce quindi l'effetto di purificare l'aria dai microrganismi che per lo più sono a noi dannosi, e sotto questo rispetto è salutare per noi, ma non lo è invece nella diretta respirazione. L'aria contiene sempre una certa quantità d'ozono, la quale, come si è osservato, è maggiore lontano dalle città o dai centri infetti, perchè, appunto, in questi una buona parte ne va consumata nella distruzione dei microrganismi; la densità

dell'ozono rispetto a quella dell'ossigeno sta come 3 : 2, in corrispondenza al numero degli atomi in esso contenuti.

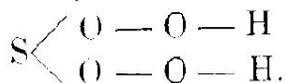
Vi sono anche altri elementi che presentano di tali «modificazioni allotropiche»; così si chiamano queste diverse forme che una medesima sostanza, semplice o composta; può assumere, mantenendo lo stesso stato d'aggregazione. Dal comportamento spesso molto diverso di tali corpi, chimicamente uguali e solo differenti nella costruzione molecolare, si capisce che le loro proprietà dipendono dai vari aggruppamenti degli atomi e non da una vera e sostanziale diversità originaria. Impareremo più tardi fino a che punto si possa generalizzare questa teoria che corrisponde alle nostre ipotesi fondamentali.

Qui, tra i moltissimi ossidi conosciuti, ne ricorderemo alcuni: perchè avranno in seguito per noi un particolare interesse; oppure, perchè sono universalmente conosciuti: non possiamo certamente far qui una trattazione completa di questi composti.

L'ossigeno si combina con un corpo chimicamente assai simile, lo zolfo. Si conosce il biossido di zolfo SO_2 , ovvero l'anidride solforosa, e il triossido SO_3 , o l'anidride solforica. È questa un corpo solido che forma dei bei cristalli aghiformi con lucentezza di seta, ed evapora con estrema lentezza nell'aria, mentre assorbe l'umidità. Un corpo che abbia questa proprietà si chiama *igroscopico*.

Con l'acqua l'anidride solforica si combina e forma

un nuovo composto: si ha allora $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4$, cioè l'*acido solforico* che è liquido. Che non si tratta qui di una semplice soluzione dell'anidride solforica solida nell'acqua, lo mostra, prima di tutto, il fatto, che si ha sempre in questa reazione un grande sviluppo di calore, e in secondo luogo che mediante la sola evaporazione non si può poi di nuovo liberare l'anidride solforica dell'acqua. Nell'acido solforico liquido abbiamo già dinanzi un composto ternario, la cui formula di struttura è



Si sogliono indicare come *acidi* certi ossidi idrati che cedono facilmente parte dell'ossigeno o dell'idrogeno per formare altri composti. Alcuni metalli sono solubili nell'acido solforico e si trasformano nei corrispondenti ossidi; a questa appartengono tutti i metalli leggeri e il gruppo del ferro; i gruppi del piombo e dello stagno invece non sono solubili in questo acido. Così il piombo, l'argento, lo stagno, l'oro, il platino non sono attaccati dall'acido solforico.

Un'anidride ancora più energica si forma per l'unione dell'ossigeno coll'azoto trivalente, cioè l'*anidride nitrica* N_2O_5 ; che in combinazione con l'acqua forma l'*acido nitrico*, secondo l'equazione $\text{N}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O} = 2 \text{HNO}_3$.

L'acido nitrico, la cui formula di struttura è $2 \times \text{H} - \text{O} - \text{N} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{O} \end{array}$, attacca tutti i metalli, ad eccezione del gruppo dello stagno (nel quale del resto lo stagno stesso segna il punto di passaggio), perciò anche l'argento, ma

non l'oro; anzi per la proprietà che ha di dissociare la lega di questi due preziosi metalli prende il nome di *acqua forte*. L'anidride nitrosa N_2O_3 ha, astraendo dai rapporti di peso, precisamente la stessa composizione come la nostra aria atmosferica depurata da ogni miscuglio estraneo: essa si forma perciò in piccole quantità nelle violente commozioni atmosferiche prodotte dalle scariche elettriche temporalesche, insieme con l'ozono. Come prodotto di decomposizione delle sostanze organiche azotate si forma l'acido nitrico, che poi, per lo spostamento di una parte dell'idrogeno fissato dal sodio o dal potassio, si trasforma in *salnitro* ($NaNO_3$), come quello che si trova in depositi naturali nel Chili.

Anche gli altri elementi del gruppo dell'ozono, come il fosforo, l'arsenico, ecc., formano ossidi e acidi.

Del gruppo tetravalente del carbonio accenneremo solo all'ossido di carbonio CO , il noto gas micidiale che si produce per l'incompleta combustione del carbone, quando un solo atomo del bivalente ossigeno può combinarsi con uno del tetravalente carbonio. Dell'ufficio che ha l'anidride carbonica (CO_2) nell'economia naturale, parleremo diffusamente in seguito.

Al gruppo del carbonio appartiene anche il *silicio*, che, nonostante la sua apparenza affatto diversa, si comporta chimicamente in modo del tutto simile al carbonio. Il composto SiO_2 prende il nome di anidride silicica, sebbene sia un corpo solido e indifferente a tutti gli agenti chimici. È veramente sorprendente e di grande importanza per la questione dello sviluppo della nostra

terra, il vedere che un composto difficilissimo a sciogliersi ha le stesse proprietà di un altro costantemente allo stato gassoso: e il pensare che l'elemento fondamentale del primo di tali composti, il carbonio, ha prodotto colle sue svariatissime combinazioni l'intero mondo organico, mentre i composti del silicio nel mondo inanimato esercitano una parte corrispondente, nella formazione della crosta terrestre e di centinaia di minerali diversi.

Si potrebbe immaginare che il silicio, in un mondo la cui media temperatura fosse di alcune migliaia di gradi più alta della nostra, servirebbe come sostanza fondamentale per lo sviluppo organico, come per noi fa il carbonio. Anche gli organismi terrestri si servono in vario modo del silicio, ma solo a scopo di protezione del proprio corpo come quegli esseri microscopici, per esempio le Radiolarie, che si trovano a migliaia in ogni goccia d'acqua marina, e formano una delle principali classi degli organismi viventi nel mare.

Anche le spugne formano il loro scheletro con silicio, e certe piante, per esempio gli equiseti, si servono di questa sostanza per la propria solidità. I gusci delle diatomee vissute nelle acque marine formano quasi esclusivamente la cosiddetta *schiuma di mare*, l'ultimo *giacimento organico*, che si può paragonare ai giacimenti cretacei del periodo terziario. Anche il suolo di una gran parte di Berlino è formato di tale terreno sicilico.



Fig. 389. – Colonne basaltiche sulla costa dell'Irlanda.

Nel mondo inorganico, la silice e l'acido silicico, combinati con molte altre sostanze, han prodotto molte specie di rocce e minerali, che sono tra i più belli e rari, dopo il diamante. Ricorderemo qui alcuni di questi silicati. La roccia che è la solida base cristallina di tutte le altre è il *granito*, il quale in gran parte consta di *quarzo* o anidride silicica.

Composti di silice e magnesio sono il *serpentino*, il *talco*, la *schiuma di mare*; l'*olivite* consta di silicato di magnesio con silicato di ferro; l'*augite* è un silicato di calcio e magnesio. Il prezioso *topazio* è formato di alluminio, ferro e silice; lo *smeraldo* di alluminio, berillio e silicio. I feldispati sono silicati d'alluminio che contengono anche potassio, sodio o calcio; il *caolino*, o terra da porcellana, risulta dalla decomposizione dei feldispati cristallini. Anche il basalto, che talora forma delle co-

lonne che sembrano artificiali (fig. 389) è pure formato da silicati. Il celebre *lapislazuli* è un silicato di alluminio e sodio, che contiene pure dello zolfo. Anche il *granato* è costituito da silicato d'alluminio, unito con ferro, manganese e calcio. La *tormalina*, di cui già ci siamo occupati, è un boro-silicato; si hanno, inoltre, silicati di zinco, di rame, di bismuto. ecc. Sono silicati, l'*agata*, il *diaspro*, l'*onice*, l'eliotropio, l'opale, l'ametista, come pure la pietra focaia. Alcuni di questi silicati nobili, che son pietre preziose, sono rappresentati nella tavola XIV.

Molte pietrificazioni che ci hanno conservato le forme di animali e piante di remotissimi tempi sono pure silicee, e grossi giacimenti silicei sono prodotti anche dai Geiser.

Un silicato artificiale è il vetro, materia così preziosa per le esperienze scientifiche. Una parte di questo composto è il *vetro solubile*, che ha questo nome perchè si scioglie nell'acqua, e in questa forma prende parte a tutte le reazioni chimiche. Il vetro solubile, che si forma dalla fusione di anidride silicica (sabbia) con potassa o soda, si combina a temperatura elevata con la calce e l'argilla, o con ossidi di metalli, e forma un vetro quasi inattaccabile da qualsiasi agente chimico; si ha così il vetro di alluminio, quello di ferro, di rame, di piombo, di uranio, d'oro, ecc. Gli acidi più forti, alla cui azione non resistono neppure l'oro e il platino, non riescono a scomporre questo vetro, ad eccezione dell'acido fluoridrico. I metalli che ne fanno parte gli danno le varie proprietà ottiche ed il colore. Il vetro comune è un silicato

di sodio e calcio, relativamente assai fusibile. Quello per le lenti, detto *Crown*, è un silicato di potassio e calcio: il *Flint*, più pesante perchè contiene anche del piombo, unito col primo serve a formare le lenti acromatiche. Le pietre preziose, artificialmente imitate, essendo formate di vetri, cioè silicati, hanno in sostanza, la stessa composizione di quelle vere; ma noi non siamo pur troppo in grado di far cristallizzare il cristallo fuso come cristallizza in natura, con processi a noi sconosciuti, e perciò le pietre artificiali non riescono della durezza e delle qualità ottiche di quelle naturali. La stessa cosa avviene pure per il carbonio cristallizzato o diamante che, formato da una materia così comune, solo per quella forza misteriosa che dispose le sue molecole in sì mirabile forma, acquista quel prezzo favoloso che tutti sanno.



Fig. 390. – Rupi di ossidiana nel parco di Yellowstone.

Vetro vero e proprio si trova pure in natura, ed anche, talvolta, in quantità considerevole. La fig. 390 mostra le maravigliose rupi di ossidiana del parco di Yellowstone nelle Montagne Rocciose, in cui la lava vulcanica già fluida è cristallizzata in bellissime colonne pentagone di colore nero splendente. La strada che da queste rupi di

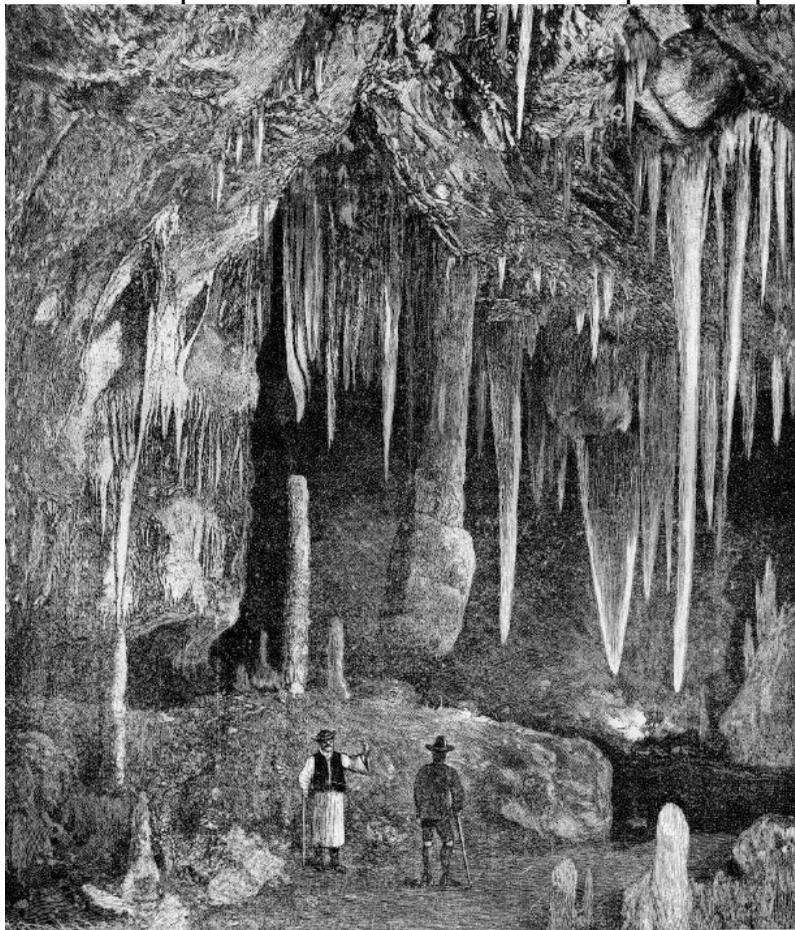


Fig. 391. – Grotta con stalattiti presso Aggtelek (Ungheria).

vetro nero conduce a queste colonne, è tutto cosparsa di frammenti vetrosi taglienti, che una volta erano adoprati dagli indiani per farne coltelli o punte per le frecce. L'ossidiana è un vetro di alluminio e ferro.

Degli ossidi dei metalli leggeri abbiamo già parlato ripetutamente. Conosciamo già quello di sodio (Na_2O) e quello di potassio K_2O . Possiamo aggiungervi la magnesia MgO . La cosiddetta soda del commercio è carbonato di sodio Na_2CO_3 idrato. Il carbonato di calcio o pietra calcarea (CaCO_3), che forma intere montagne, non è solubile nell'acqua ordinaria, ma si scioglie bene in quella contenente acido carbonico. Poichè la maggior parte delle acque sorgive contengono sempre piccole e spesso considerevoli quantità di acido carbonico, avviene che nel loro corso sotterraneo sciolgano del calcare: l'acqua divenuta in questo modo calcarea, è comunemente detta *dura*, e può essere addolcita mediante l'ebollizione con la quale si elimina l'acido carbonico e perciò la calce. Le acque contenenti forti dosi di acido carbonico perdono la massima parte di questo gas, salendo alla superficie terrestre, ed allora depositano anche il calcare.

Da ciò, il fenomeno delle incrostazioni calcaree, come quelle delle sorgenti di Karlsbad, e la formazione delle stallattiti nelle grotte e sotterranei (fig. 391). Lo spato calcareo che ci ha già interessato per la sua singolare proprietà della doppia rifrazione è puro carbonato di calcio. La stessa composizione chimica ha il marmo, come pure la creta, che come è noto è formata dai detriti dei gusci di organismi microscopici. La dolomite è un

carbonato di calcio e magnesio. Dell'alluminio o ossido d'alluminio (Al_2O_3) abbiamo già parlato, accennando anche alle sue combinazioni con la silice. Abbiamo anche già detto che l'alluminio si può, solo con estrema difficoltà, separare dai composti di cui fa parte, e perciò questo elemento che ci circonda in ogni luogo nei depositi d'alluvione, fu scoperto solo nel 1827 dal Wöhler. Anche gli altri metalli leggeri sono difficilmente divisibili dai loro composti ossigenati, che sono la forma più comune in cui si presentano naturalmente. Perciò, per lungo tempo la potassa, la soda, la calce furon considerati come corpi semplici, fino a che nel 1807 e 1808, il Davy potè, mediante l'elettrolisi, separarne il potassio, il sodio, il calcio, il bario, lo stronzio e il magnesio.

Procedendo oltre, nella serie dei metalli della nostra tabella, essi presentano sempre minor facilità all'ossidazione, e quindi cedono anche più facilmente l'ossigeno. Si presenta qui nel gruppo degli elementi una specie di circolo, cosicchè gli elementi estremi, anzichè avere proprietà contrarie, mostrano sempre maggiori somiglianze e minore affinità chimica.

Il ferro forma molti composti ossigenati. La comune ruggine è ossidulo di ferro, FeO . Gli ossidi di ferro, Fe_2O_3 , (Oligisto, Magnetite) contribuiscono alla formazione di una gran parte della massa terrestre; e, secondo le analisi spettroscopiche, il ferro si trova diffusissimo in ogni parte dell'Universo. Quasi tutti i minerali del ferro sono associati con ossidi di altri metalli del gruppo del ferro, specialmente col cobalto e col nichel, ed an-

che col cromo. La *siderite* è carbonato di ferro FeCO_3 e si trova in forti giacimenti. Celeberrime sono le miniere di ferro dell'isola d'Elba, e quelle dei monti Erzberg in Germania, di dove, già da duemila anni si ricava questo utilissimo metallo (fig. 392).



Fig. 392. – Cava di ferro nell'Erzberg (Germania).

Da questi ossidi di ferro, mediante gli alti forni, si ottiene come primo prodotto la *ghisa*. Il procedimento consiste nel portare il minerale, mescolato ai cosiddetti fondenti e alternato con strati di carbone, ad una forte temperatura. Il carbone sottrae ossigeno al minerale formando anidride carbonica; l'ossigeno ha dunque molto

maggiore affinità per il carbonio che per il ferro. Ma il metallo fuso uscente dalla parte inferiore del forno (v. fig. 393) in questo stato liquido si combinerebbe facilmente coll'ossigeno dell'aria. Per impedire ciò, si usano i fondenti, consistenti in materie terrose che formano delle scorie leggiere galleggianti sul ferro fluido, proteggendolo dall'aria. Il ferro greggio così ottenuto contiene ancora 2-5% di carbonio ed altre sostanze estranee come silicio e fosforo, che difficilmente si separano dal ferro;

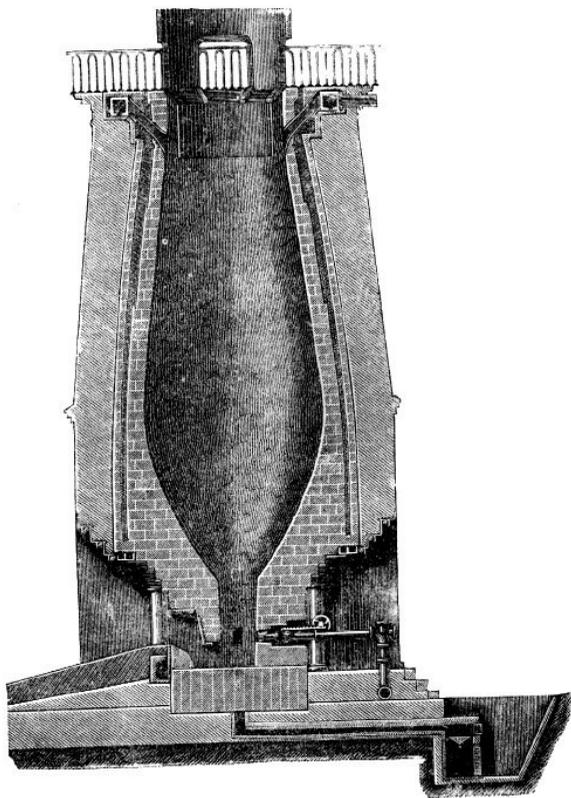


Fig. 393. – Sezione d'un altoforno.

in questo stato si adopera come *ghisa*. Il *ferro dolce* deve essere purgato da queste sostanze che lo rendono rigido e fragile. Si giunge a questo scopo con abbondante immissione di aria, che col carbonio e cogli altri elementi eterogenei forma degli ossidi gassosi. Il ferro dolce diviene,

così, tenace e malleabile.

L'acciaio è prodotto più puro, ma che contiene ancora una certa quantità (circa l'1%) di carbonio, il quale gli conferisce quella durezza superata solo dal diamante, e dai carburi artificiali di silicio e boro. L'acciaio si ottiene dalla ghisa, principalmente col metodo di Bessemer. Per mezzo di potenti soffierie attraverso la ghisa

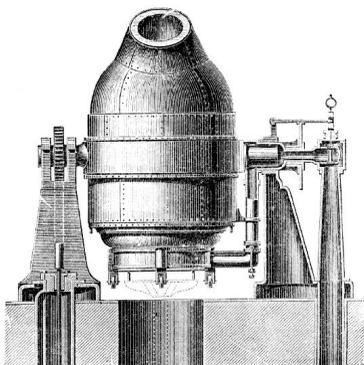


Fig. 394.

Convertitore Bessemer.

fusa passa una forte corrente d'aria, che brucia tutte le sostanze estranee e dannose, e sviluppa un calore talmente forte da mantenere l'acciaio stesso liquido ed incandescente, ad una temperatura di circa 2000 gradi. I recipienti adoperati per la fusione, detti *convertitori* (fig. 394) sono internamente difesi da materiale refrattario che in certi casi assorbe le sostanze estranee e forma delle scorie fosfatiche le quali poi trovano impiego per la concimazione dei terreni sotto il nome di «scorie Thomas». Questi convertitori contengono fino a 160 quintali di acciaio. Per ottenere l'acciaio, bisogna togliere quasi tutto il carbonio al ferro greggio; oggi questa purificazione si sorveglia coll'aiuto dello spettroscopio. Prima, invece, dopo la combustione completa del carbonio, ne veniva di nuovo aggiunta quella precisa quantità, per cui l'acciaio sta tra la ghisa ricchissima di carbonio e il ferro dolce che ne è invece affatto privo.

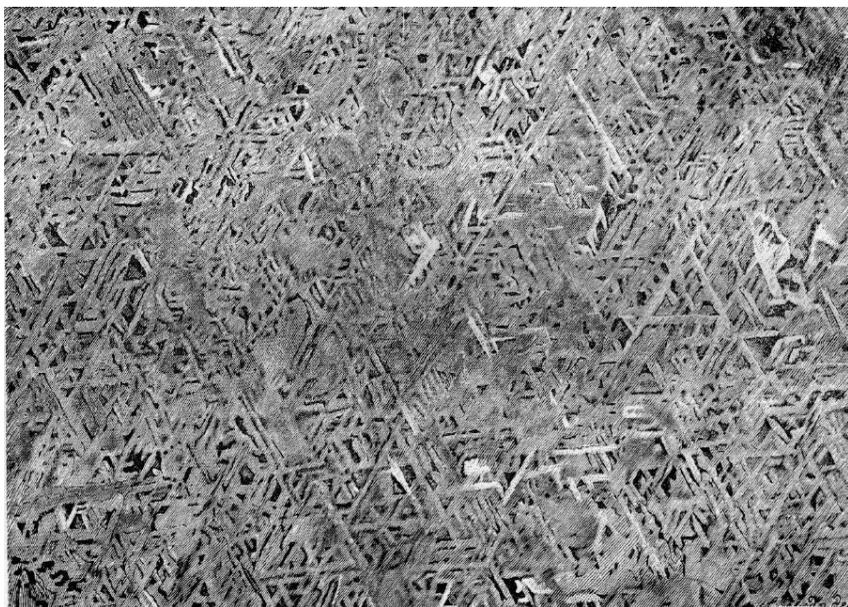


Fig. 395. – Sezione di una Meteorite (Figure di Widmannstätten).

La ghisa e l'acciaio non sono semplici miscugli di ferro e carbonio, ma vere combinazioni chimiche che prendono il nome di *carburi*. Si può a questo proposito ricordare che il carbonio, anche con altri elementi, forma simili combinazioni, le quali, generalmente, come l'acciaio, non possono formarsi che ad una altissima temperatura. In questi ultimi tempi sono entrati in uso i forni elettrici, nei quali una specie di lampada ad arco con una corrente di più migliaia di ampère, produce così la massima temperatura che si conosca. Per mezzo di questi forni si prepara oggi anche il *carburo di calcio*, noto ormai universalmente perchè in unione coll'acqua produce l'*acetilene*, gas che brucia con fiamma bianca

luminosissima; il calcio del carburo combinandosi col l'ossigeno dell'acqua forma la calce CaO , mentre il carbonio coll'idrogeno forma appunto il gas acetilene C_2H_2 . Il carbonio si combina anche col silicio, ad esso così affine, formando un carburo di silicio, la cui durezza supera quella dell'acciaio e può essere adoperato anche come sostanza per affilare.

Tralasciando i molti altri ossidi dei metalli del gruppo del ferro ricorderemo solo quello dell'uranio, la pechblenda, che dopo la scoperta della radioattività è divenuta oggi di grande notorietà ed importanza. La pechblenda è l'unione di 2 ossidi di uranio secondo la formula $3\text{UO}_2 + 2\text{UO}_3$. Come abbiamo detto più innanzi, questa sostanza è sempre mescolata con molte altre, tra le quali si cela sempre il nuovo e famoso metallo radioattivo, detto *radio*.

Ricordiamo infine anche il *biossido di manganese* MnO_2 che forma un minerale, la *manganite*, e colora in bruno molte rocce: riscaldato, perde una parte del suo ossigeno ed è perciò adoperato per la produzione di questo gas.

Gli ossidi dei metalli del gruppo del piombo si presentano più raramente come minerali. Ricordiamo la *cuprite*, che è ossido di rame Cu_2O ; il *litargirio*, ossido di piombo PbO ; e il *minio* Pb_3O_4 , che contiene più di ossigeno e si può quindi considerare come ossido-ossidulo di piombo; infine la stannite SnO_2 , che è un ossido di stagno. Questi metalli pesanti si trovano in natura puri, cioè allo stato nativo, più facilmente che quelli del grup-

po del ferro.

Il ferro si trova molto raramente allo stato puro, anzi un tempo si credeva che all'infuori di quello delle *meteoriti* che a noi giungono dagli spazî celesti, non si potesse in quello stato trovare sulla Terra. Il ferro meteorico si distingue da quello nativo di origine terrestre per il suo maggior contenuto in nichel, ed anzi può prendere perciò una particolare struttura cristallina da cui, con un certo trattamento, si formano le cosiddette figure di Widmannstätten (fig. 395), dalle quali si può riconoscere la natura cosmica, di una massa di ferro, che non si è veduta direttamente cadere dal cielo. La fig. 396 rappre

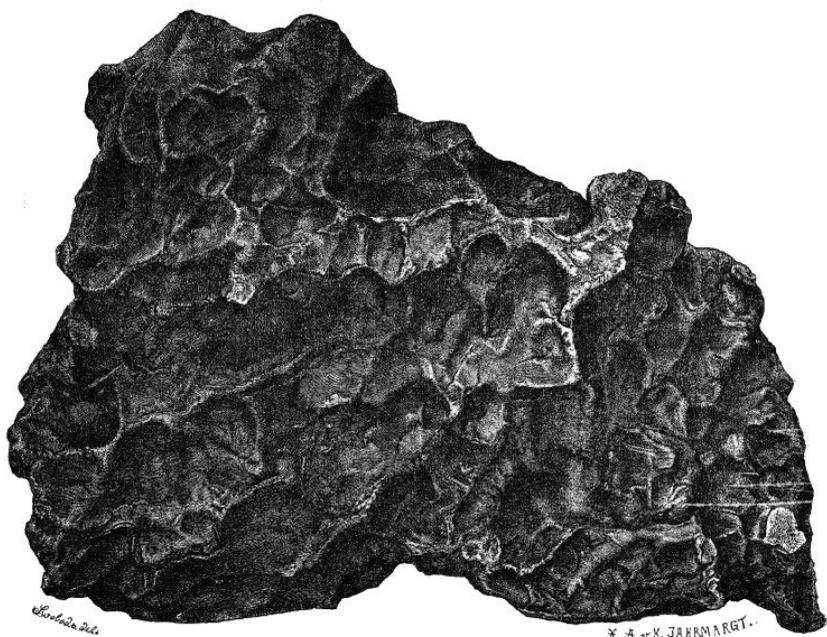


Fig. 396. – La -Meteorite di Agram.

senta la più grossa meteorite di ferro osservata, che pesa 39 kg. e cadde nel 1751 presso Agram. In essa vediamo dei fori come prodotti da una violenta fusione superficiale. Il ferro meteorico contiene anche, spesso, carbonio in forma di grafite, oppure in forma cristallina, come di tanti piccolissimi diamanti. Le figure di Widmannstätten si possono del resto ottenere anche col ferro terrestre mischiandolo a nichel in dosi uguali. Il processo di cristallizzazione che avviene nelle meteoriti fuori della Terra segue dunque le stesse leggi che dominano pure da noi. Un pezzo di ferro nativo di non meno di 909 kg., fu trovato nel 1884 nell’Australia occidentale, e se ne poté dimostrare in modo non dubbio l’origine cosmica. Vere rocce di ferro puro furono trovate nel 1870 in Groenlandia; la maggiore di esse pesava 25.000 kg. Una grossa meteorite scoperta nel 1818 da John Ross al Capo York in Groenlandia, fu da poco tempo portata in America da Peary; essa ha 4 m. di lunghezza, da 1,3 a 2 m. di altezza, e pesa 80 tonnellate (fig. 397). Per gli Esquimesi, abitanti in regioni così poco favorite dalla natura, questo ferro puro che offriva loro eccellente materiale per gli utensili di vario genere, fu un vero regalo del cielo, per mezzo del quale essi, senz’altro, poterono passare dal periodo della pietra a quello del ferro. Tuttavia non è certo che tutte quelle masse di ferro siano realmente di origine cosmica.

Ci siamo qui occupati della presenza del ferro puro in natura, per dimostrare quanto esso sia raro, mentre invece i suoi composti sono contenuti in grandissima quanti

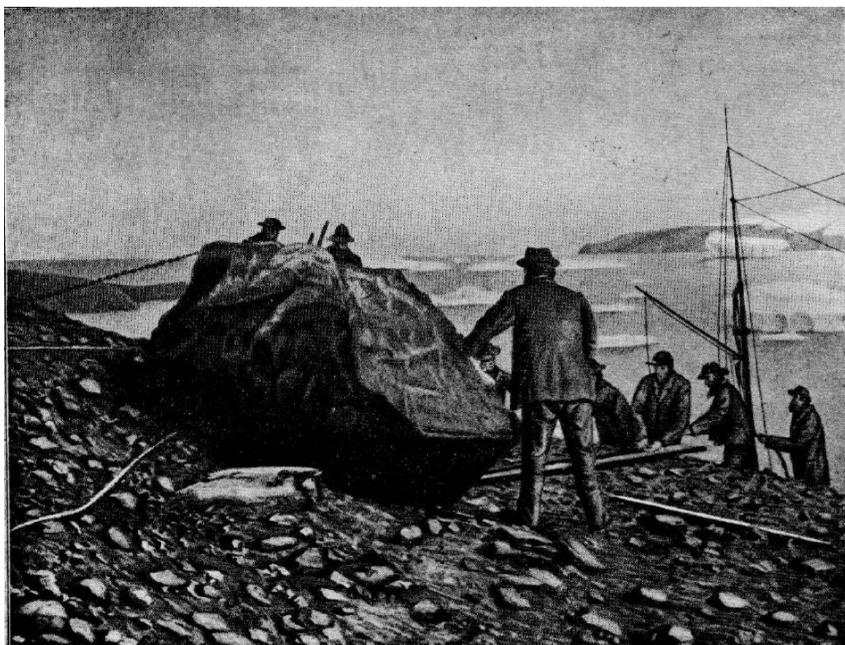


Fig. 397. – La grande Meteorite del Capo York in Groenlandia.

tà nella massa terrestre. I metalli leggeri facilmente ossidabili non si trovano generalmente puri; al contrario, il rapporto tra la quantità che se ne presenta allo stato puro e quella che si trova combinata, è tanto maggiore quanto più si scende nell'ordine chimico stabilito. Possiamo supporre che, nelle origini del mondo, un continuo processo di ossidazione ha sempre più fissato l'ossigeno libero in composti solidi, e che, perciò, tutti gli elementi, a seconda della loro maggiore o minore affinità coll'ossigeno, si combinarono con esso; l'intera corteccia terrestre è un prodotto di ossidazione. Si calcola che 300 triliardi di kg. di ossigeno si trovino fissati negli ossidi,

mentre solo un trilione, cioè appena la trecentesima parte, si trova allo stato libero nell'atmosfera a disposizione degli organismi viventi. Questa quantità sarebbe anzi rapidamente esaurita, se le piante, per un processo, per noi ancora pieno di mistero, non sapessero isolare di nuovo l'ossigeno dai suoi composti; processo, il quale nel mondo inorganico può compiersi solo limitatamente ed in circostanze specialissime. L'ossigeno, una volta entrato a far parte di un minerale, non può essere nuovamente liberato che per l'azione di particolari agenti chimici.

Il piombo puro si trova in natura assai raramente, ed anche i suoi ossidi non sono molto comuni; i minerali abbondanti del piombo sono solfuri, e ne parleremo in seguito. Il *mercurio* si trova pure rinchiuso nelle *druse*, che sono piccole cavità delle rocce, ma principalmente si estrae dal cinabro, che è il suo solfuro. Lo stesso si può dire del rame e dell'argento, benchè questi si trovino molto più spesso allo stato nativo; l'oro ed il platino si trovano sempre puri. Ma anche i metalli di quest'ultimo gruppo si possono poi artificialmente sottoporre ai diversi gradi d'ossidazione.

b) Solfuri.

Lo zolfo appartiene al medesimo gruppo dell'ossigeno ed ha con questo una grandissima somiglianza nel comportamento chimico; si combina cogli altri elementi, particolarmente coi metalli, nelle stesse proporzioni

dell'ossigeno. I composti che ne risultano prendono il nome di *solfuri*, i quali hanno una grande analogia cogli ossidi. Questi sono perfettamente corrispondenti ai solfuri, di modo che le loro formule chimiche possono sempre farsi col semplice scambio del simbolo O in S. Ma poi, rispetto alla loro affinità coi metalli, non a tutti gli ossidi corrispondono altrettanti solfuri; la zolfo non si combina con gli altri corpi con la stessa facilità dell'ossigeno: spesso, per ottenere la reazione collo zolfo, occorre l'azione del calore, mentre coll'ossigeno avviene anche senza di questo; perciò molte volte i composti di zolfo sono dissociati per azione dell'ossigeno.

Lo zolfo, si trova anche puro in natura, ma solo nelle regioni vulcaniche. Probabilmente ha origine qui da riduzione di composti solfurei e da successiva sublimazione. Questo zolfo nativo presenta la stessa forma cristallina rombo-ottaedrica dei cristalli ottenuti anche artificialmente per sublimazione. Si hanno poi di questo elemento

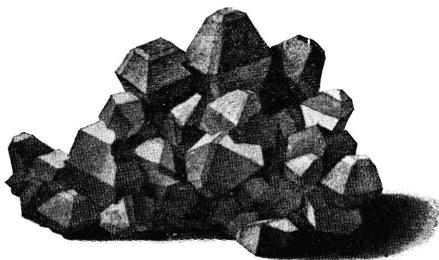


Fig. 398. – Cristalli di zolfo.

due altre forme, ossia in tutto, tre *modificazioni allotropiche*, mentre dell'ossigeno non ne conosciamo che due, il comune ossigeno e l'ozono. Si distinguono queste tre allotropie con le lettere α , β , γ . Lo zolfo β si forma per lenta cristallizzazione dello zolfo fuso, ed i suoi cristalli hanno una forma affatto diversa da quella dello zolfo su-

blimato. I cristalli dello zolfo α sono disegnati nella fig. 398. Lo zolfo γ non cristallizza, è amorfo. Tutte e tre le forme hanno peso specifico e proprietà differenti; ma le ultime due non hanno carattere di stabilità e a lungo andare passano a prendere la prima forma. Lo zolfo passa nei tre stati d'aggregazione dentro limiti di temperatura non molto ampi: fonde a 114° e bolle a 448° . Dei suoi composti ossigenati abbiamo già parlato: dei composti salini che pure forma, tratteremo ancora in seguito.

Coll'azoto, che generalmente è un elemento molto inerte, lo zolfo non si combina, ma si combina però con altri membri del suo gruppo. Il composto P_2S_5 corrisponde, collo scambio dell'S in O, all'anidride fosforica, e si chiama, pentasolfuro di fosforo. Tra i minerali si trova il solfuro di arsenico As_2S_2 e il trisolfuro As_2S_3 , detti *Realgar* e *Orpimento*, ed il trisolfuro di antimonio Sb_2S_3 .

All'anidride carbonica corrisponde il solfuro di carbonio CS_2 ; liquido trasparente pesante, infiammabilissimo, che ci ha già molto interessato per il suo forte potere rifrangente. Bolle a 48° e il grave pericolo del suo uso dipende dalla estrema facilità, quando è allo stato gassoso, di combinarsi coll'ossigeno a formare anidride carbonica ed anidride solforosa. Il solfuro di carbonio è un solvente, specialmente delle materie grasse, ed è perciò usato in vario modo nell'industria.

All'acqua corrisponde, come solfuro, l'*idrogeno solforato*, o *solfuro d'idrogeno*. A temperatura e pressione normali, questo composto si ha solo allo stato gassoso,

che però è facilmente assorbito dall'acqua. Ha un odore simile a quello delle uova marce, poichè infatti si forma nella decomposizione delle sostanze animali, ma ha tutte le proprietà di un acido debole. Questo composto agisce sui metalli del gruppo del piombo trasformandoli in solfuri di piombo, di rame, d'argento, ecc; non attacca quelli del gruppo del ferro. Il suo effetto è facilmente osservabile negli oggetti d'argento, che, dove l'aria contenga idrogeno solforato, si tingono superficialmente in nero, mentre ciò non avviene agli oggetti nichelati.

Si hanno pure i solfuri di sodio e di potassio Na_2S e K_2S ; il magnesio e l'alluminio invece non si combinano direttamente collo zolfo.

Ferro e zolfo si combinano a temperatura normale coll'azione dell'acqua, o a secco col calore, a formare solfuro di ferro, FeS . Un composto più solforato è il bisolfuro di ferro, FeS_2 , cioè la comune *pirite*, che forma dei bei cristalli di splendore aureo e che il volgo spesso crede fatti di oro puro. Si hanno poi i solfuri di zinco, di nichel, ecc.

Del gruppo del piombo si deve ricordare la *galena*, o solfuro di piombo: la *pirite* di rame Cu_3S e l'*argentite* Ag_2S . Si ha infine la *galena* argentifera, minerale molto diffuso da cui si estrae principalmente l'argento. Accenniamo qui brevemente al sistema di estrazione dei metalli da questi solfuri. Non essendo questi composti riducibili direttamente, si devono innanzi «abbrustolire», come si dice nel linguaggio tecnico, alimentando l'incandescenza con una forte immissione d'aria, per cui lo

zolfo brucia ed invece di un solfuro, si ha un ossido di quei metalli. Intanto lo zolfo, ossidandosi forma anidride solforosa che può essere ridotta ad acido solforico, ottenendosi così un altro utilissimo prodotto. L'ossido dei metalli si riduce poi, nella maniera già descritta per il ferro, mediante il carbone.

Il mercurio si ricava dal suo solfuro che è il *cinabro*: anche dello stagno si conosce la combinazione con lo zolfo, mentre con essi non si trovano mai combinato l'oro, il platino, ed i metalli del loro gruppo.

c) Cloruri.

Come lo zolfo, anche i quattro elementi *alogeni*, Cloro, Bromo, Iodio e Fluoro, possono, in certe condizioni, cacciare l'ossigeno dagli ossidi e, coi rispettivi radicali metallici, formare cloruri, bromuri, ecc. Per questi composti le formule si cambiano non solo per la sostituzione dei vari simboli, ma anche per il numero degli atomi formanti la molecola; e ciò in relazione alla monovalenza degli alogeni, rispetto alla bivalenza dell'ossigeno e dello zolfo.

Le proprietà dei cloruri sono in molti effetti essenzialmente diverse da quelle degli ossidi e dei solfuri. I cloruri intanto possono avere reazione acida o basica o alcalina. Il mezzo più semplice per rendersi conto di queste differenze è la prova colla *carta di laccamuffa*, poichè tutte le sostanze che colorano in rosso la carta azzurra di laccamuffa, hanno reazione acida; mentre le so-

stanze alcaline al contrario colorano in azzurro quella divenuta rossa. Si è detta alcalina tale reazione, perchè i veri e propri corpi alcalini, il sodio e il potassio, presentano questa reazione nel modo più evidente; ma vi è pure un gran numero di altre sostanze diverse che danno reazioni alcaline. Un acido combinato con un alcali dà una sostanza neutra, cioè nè acida nè alcalina, che lascia inalterata la carta di laccamuffa. Un tale corpo neutrale si chiama un *sale*. I diversi ossidi e anidridi formano sali che si chiamano *ossisali*, mentre i quattro alogeni formano i sali *aloidi*, senza ossigeno; sulle diverse proprietà dei sali diremo più avanti, dopo aver veduto come si trovano in natura e come possono essere classificati.

Il *cloro*, il cui nome derivato dal greco indica il suo colore giallo verdastro, è un gas velenoso di odore penetrante, che si può anche ottenere allo stato liquido o disciolto nell'acqua, che prende allora il nome di *acqua di cloro*.

Il *fluoro* è un gas molto simile al cloro, che ha una grandissima facilità a combinarsi con qualunque altro corpo, eccettuato l'ossigeno. Fu perciò molto difficile il poterlo separare dai suoi composti, e averlo isolato: a ciò riuscì il Moissan nel 1886, mediante l'elettrolisi a temperatura bassissima, per diminuire l'affinità chimica. Il composto del fluoro più diffuso in natura è il fluoruro di calcio, ovvero fluorite, che si usa industrialmente come fondente. Il fluoro puro, come l'acido fluoridrico, si possono conservare in recipienti di platino, d'oro o di cautchouc, oppure di piombo, perchè anche il vetro e la

terra cotta ne sono attaccati.

Il *bromo* è un liquido molto volatile, che ha un odore simile al cloro, ed insieme con questo costituisce una parte non indifferente dei sali marini.

L'*iodio* è un corpo solido che si scioglie poco nell'acqua, ma facilmente nell'acool, formando la *tintura d'iodio*; fonde a 113° e bolle a 176°; i suoi vapori hanno un bel colore violetto.

Il cloro; il bromo e l'iodio hanno, in certi composti, la notevolissima proprietà di separarsi sotto l'azione della luce. Ciò ha condotto ad importanti applicazioni nei processi fotografici, in cui si fa uso di carta e lastre sensibili, di composti di cloro o di bromo. Ma, anche dal lato fisico, la sensibilità alla luce è del più alto interesse; se si espone dell'acqua di cloro, che all'oscuro rimane inalterata, all'azione prolungata della luce, si separa l'ossigeno, e resta acido cloridrico, la cui formula è HCl.

Il cloro ha, dunque, molto maggiore affinità per l'idrogeno che per l'ossigeno, come risulta evidente da questa decomposizione dell'acqua sotto l'azione della luce; nella scissione delle molecole d'acqua, il cloro fissa gli atomi d'idrogeno e libera l'ossigeno. Questa è una proprietà comune a tutti gli alogeni, che spiega la loro azione decolorante e disinfettante; essi tolgono alle sostanze organiche l'idrogeno che sempre contengono e, quindi, le decompongono. L'affinità del cloro per l'idrogeno si prova anche meglio, mescolando direttamente volumi uguali di cloro e d'idrogeno; allora sotto l'azio-

ne della luce, la combinazione e la formazione di HCl avviene con violenta esplosione. La differenza tra questo miscuglio di cloro e idrogeno e il comune gas detonante di idrogeno e ossigeno, sta in ciò, che quest'ultimo non si accende che per l'azione di una fiamma o di una scintilla, mentre il primo esplode anche per la sola azione della luce.

Anche l'idrogeno può dunque formare acidi, ma soltanto (con eccezione dell'idrogeno solforato che ha debole azione acida) in unione cogli alogeni. Si chiamano perciò questi acidi «*idracidi*» per contrapposto agli *ossiacidi*, ed i sali formati dai primi prendono per conseguenza il nome di sali aloidi.

Lasciando da parte i cloruri dell'ossigeno, dell'azoto e del carbonio, che per noi non presentano molto interesse, vediamo un poco i principali composti degli alogeni coi metalli.

Questi sali si formano facendo reagire i metalli negli acidi degli alogeni, cioè nell'acido cloridrico, bromidrico, iodidrico, fluoridrico. Tutti i metalli sono attaccati da questi acidi, ad eccezione dell'oro e del platino: questi stessi però sono attaccati dalla mescolanza di acido nitrico e cloridrico concentrati, detta *acqua regia*. Reagendo con l'acido cloridrico, i metalli si uniscono col cloro e liberano l'idrogeno, e perciò queste reazioni costituiscono il mezzo più semplice per la preparazione di questo gas. Come nella combinazione dell'ossigeno coi metalli, anche qui appare che i metalli più leggieri danno origine ai composti più stabili.



Pietre preziose.

- 1, Opale nobile. – 2, Crisolite. – 3, Granato. – 4, Crisoberillo. – 5, Spinello. – 6, Piropo o Granato di Boemia. – 7, Acqua di mare. – 8, Topazio del Brasile. – 9, Smeraldo. – 10, Rubino orientale. – 11, Zaffiro. – 12, Topazio. – 13, Tormalina. – 14, Diamante. – 15, Smeraldo. – 16, Berillo. – 17, Zaffiro. – 18, Rubino. – 19, Granato. – 20, Onice. – 21, Quarzo ametista. – 22, Agata. – 23, Turchese.

Il più noto di questi è il *cloruro di sodio*, o sale da cucina, che ha dato il nome a tutti gli altri sali. Si trova,

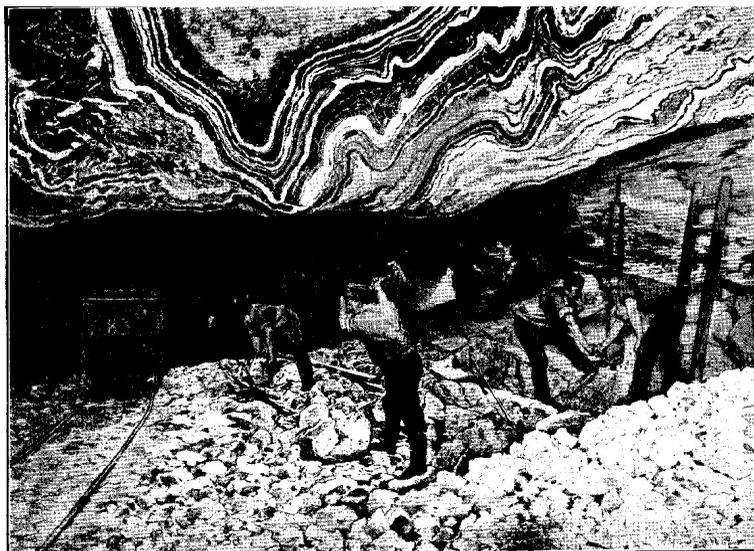


Fig. 399. – Miniera di sale presso Stassfurt.

come ognuno sa, nelle acque del mare, che ne contengono da 1,4 a 2,6%. Se si pensa all'enorme quantità d'acqua che riempie i bacini oceanici dobbiamo considerare il cloruro sodico come una delle sostanze più diffuse sulla Terra; e lo spettroscopio ci ha dimostrato che, anche fuori del nostro pianeta, i due elementi di questo sale si trovano diffusi in ogni parte. Certi mari chiusi, specialmente il Mar Morto ed il gran *Lago salato* dell'America del Nord, contengono una quantità ancora più elevata di questo sale, come degli altri che sono associati nell'acqua marina. Non vi è alcun dubbio che questi grandi laghi furono una volta bracci di mare, che per

qualche variazione geologica rimasero isolati e così a poco a poco hanno perduto per evaporazione una parte della loro acqua. Se, per cause climatiche od altre ragioni i fiumi del Mar Baltico venissero a mancare, anche la sua emissione tra l'Utland e la Scandinavia cesserebbe presto, ed il Baltico comincerebbe a crescere a poco a poco la sua salsedine, benchè presentemente ne abbia meno del comune mare aperto, essendo in esso prevalente l'afflusso delle acque fluviali rispetto all'emissione. Questi laghi salati finiranno coll'asciugare completamente e divenire giacimenti salini, come quelli che già si trovano all'interno *della Terra*, i quali hanno indubbiamente la stessa origine. Celebri sono le cave di sale di Stassfurt (fig. 399) e di Wieliczka. Il giacimento salino che si trova nel sottosuolo del nord della Germania ha una profondità di oltre 1000 m. e si estende per più centinaia di km., talora, anche molto vicino alla superficie terrestre. Tutta Berlino riposa sopra uno di questi giacimenti formati da antichissimi bacini marini ora disseccati; per cui in quella città si può, dovunque, scavando ad una certa profondità, avere delle sorgenti saline *artificiali*. Ve ne sono infatti alcune, e da queste si estrae il sale in varie maniere; per esempio, facendo penetra-

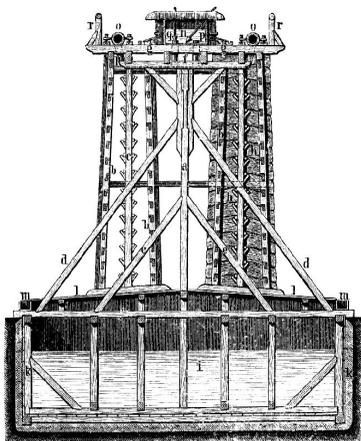


Fig. 400. — Pompa per l'estrazione del sale.

re, mediante fori, dell'acqua nel deposito salino, sciogliendo così il sale, e aspirando poi mediante pompe (fig. 400) la soluzione, che si raccoglie ed evapora in una vasca, lasciando il suo deposito di sale.

Il cloruro di sodio è, fra i composti inorganici, il solo che sia commestibile; ma piuttosto che alla vera nutrizione serve alla digestione formando, nello stomaco, dell'acido cloridrico che è a questa necessario. E si trova non solo nel sangue, ma in tutti i liquidi organici, e anche in piccola quantità nei vegetali.

Simile al sale da cucina è il cloruro potassico KCl , che insieme col cloruro di magnesio $MgCl_2$ si trova nell'acqua marina, e, tra gli altri usi, serve in agricoltura per la concimazione chimica. Il cloruro di Calcio $CaCl_2$ è ben noto per le sue proprietà igroscopiche.

Dei cloruri semplici dei metalli pesanti, basti qui accennare al cloruro d'argento ($AgCl$) e ai corrispondenti ioduro e bromuro, che servono mirabilmente nei processi fotografici già ricordati; inoltre il cloruro d'oro ($AuCl_3$), pure usato in fotografia per dare il cosiddetto color oro: questo cloruro, col riscaldamento, perde facilmente l'oro che contiene, mostrando che anche il cloro ha per questo metallo una assai debole affinità. La stessa osservazione può farsi circa i composti di platino.

d) Composti dell'azoto.

L'azoto è, come si sa, il gas che costituisce la massima parte dell'aria che respiriamo. Secondo le ultime ri-

cerche, 100 parti d'aria contengono 77,4 d'azoto e 20,8 d'ossigeno, mentre le restanti 1,8 parti sono per metà di vapor d'acqua e per l'altra metà di anidride carbonica e degli altri nuovi gas argon, kripton, neon, xenon, che rappresentano presso a poco l'1% dell'aria atmosferica. Ma benchè, nella respirazione, noi introduciamo nel nostro corpo molto più azoto che ossigeno, tuttavia del primo non ne utilizziamo punto: l'azoto noi lo emettiamo inalterato, mentre la maggior parte dell'ossigeno nei polmoni si combina col carbonio, ed è questa funzione che alimenta la nostra vita. Non si deve, però, da questo concluderne che l'azoto sia per noi inutile: anzi esso è assolutamente necessario per la diluizione dell'ossigeno. Noi potremmo sopportare poco l'ossigeno puro, come ad esempio l'alcool, il quale, per quanto ne dicano gli antialcoolisti, quando sia allungato, è una sostanza piacevole e buona per la salute. Anche l'ossigeno puro ci inebrierebbe, e, per questo, respirato in gran quantità costituirebbe un veleno come l'alcool. Nello stesso modo, molte sostanze venefiche, se molto diluite, diventano salubri. All'azoto si è dunque dato a torto il suo nome, che vorrebbe dire contrario alla vita, perchè invece è un gas quasi affatto indifferente. L'azoto non può mantenere la nostra respirazione, ma non ha le qualità micidiali di altri gas, come il cloro, che mescolato anche in piccola quantità all'aria, è dannosissimo al nostro organismo, distruggendo i nostri organi respiratorii.

Verosimilmente, il rapporto dell'azoto all'ossigeno nell'aria doveva essere, nei primi periodi della vita ani-

male terrestre, diverso dall'attuale, poichè come sappiamo, una immensa quantità di ossigeno si è in questo tempo fissata nella formazione dei minerali. Con questo fenomeno può essere in relazione l'esuberante sviluppo che in quei tempi remotissimi avevano gli animali, i cui organi dovevano essere costituiti in modo conforme a quella maggior ricchezza d'ossigeno.

E non solo rispetto al corpo umano e a tutto il mondo organico l'azoto si mostra indifferente, ma anche come elemento chimico in generale, poichè, per semplice contatto, esso si combina solo con pochissimi altri corpi. La maggior parte dei suoi composti possono ottenersi solo indirettamente. La sua separazione dall'aria atmosferica non offre perciò alcuna difficoltà: basta allontanare in un modo qualsiasi l'ossigeno. Ci si riesce, ad esempio, dirigendo una corrente d'aria sopra metalli incandescenti, i quali allora si combinano con l'ossigeno, formando ossidi, e, così, quello che resta è azoto.

Ma veramente, che il residuo fosse tutto azoto si credeva solo alcuni anni fa, benchè già da circa un secolo, Cavendish avesse annunciato che assorbendo chimicamente l'azoto ottenuto così dall'aria, rimaneva ancora circa l'1%, che doveva essere qualche cosa di diverso. In causa della grande inerzia dell'azoto, quest'assorbimento è molto difficile ad ottenersi; per cui, queste esperienze sono state fatte completamente solo di recente dal Ramsay, che nel 1895 scoprì prima l'argon, e più tardi gli altri gas sopra ricordati. Questi non si sono ritrovati in natura, se non nelle meteoriti, per le quali si

deve credere che essendo state in contatto coll'aria, da questa abbiano preso insieme coll'azoto anche gli altri elementi che sempre lo accompagnano. Questi si comportano dunque, rispetto all'azoto, come l'Indio, il Palladio, l'Osmio rispetto al platino.

Questi nuovi gas atmosferici compagni dell'azoto sono teoricamente di un interesse grandissimo; per cui nonostante il loro carattere di assoluta indifferenza chimica, dobbiamo qui un poco occuparcene.

È, innanzi tutto, di generale interesse il conoscere come questi corpi siano stati scoperti. Può sembrare strano che l'*argon*, di cui in ogni stanza di media grandezza si trovano circa 1000 litri, non sia stato innanzi scoperto. Ma già sappiamo che questa sostanza è straordinariamente inerte, che in condizioni ordinarie non rivela in alcun modo la sua presenza. L'*argon* è un gas senza odore, nè colore, chimicamente inattivo, e non presenta altre proprietà che il suo peso, per il quale soltanto, si può dire, si distingue dall'etere. Rayleigh e Ramsay scoprirono l'*argon* nel 1895, mentre cercavano tutt'altra cosa. Si trattava di decidere, se il rapporto del peso atomico dell'ossigeno rispetto a quello dell'idrogeno fosse esattamente 16, come si era ammesso fino allora, oppure se a questa cifra fosse necessario aggiungere una frazione. Questa questione ha un interesse teorico molto profondo, perchè si era creduto di osservare che i pesi degli atomi, similmente a quelli dei loro composti, dovessero stare tra loro in rapporti semplici che si potessero esprimere con numeri interi. Se questo fosse vero,

si avrebbe una ragione di più per persuadersi che anche gli elementi non sono che composti, e si potrebbe, per mezzo di questi semplici rapporti numerici, mettersi sulle tracce della vera sostanza fondamentale. Gli scienziati inglesi studiarono perciò le proprietà dell'ossigeno, colla massima cura, e specialmente la sua densità, la quale in un gas è in diretto rapporto col peso atomico. Esaminarono a questo proposito ossigeno di varia origine e trovarono sempre lo stesso numero per la sua densità; per riprova, esaminarono anche l'azoto residuo dell'atmosfera: ma questo, nonostante le più minuziose cure per evitare ogni errore, risultò sempre di circa $\frac{1}{100}$ più denso dell'azoto estratto da uno qualunque dei suoi composti. Era evidente dunque che insieme all'azoto atmosferico si trovava mescolato un altro gas un poco più denso di quello: per isolarlo si adoperò il magnesio incandescente, che si combina con l'azoto.

Dopo il completo assorbimento dell'azoto, rimase un residuo gassoso, che restava inerte anche a contatto di un mezzo così energico; per cui gli scopritori lo chiamarono *argon*, cioè inerte, pigro. Risultò che nell'azoto atmosferico è contenuto non meno di 1,81% di questo gas, e che la sua densità rispetto a quella dell'azoto sta come 20 a 14. Si dimostrò anche un altro fatto notevolissimo e di grande importanza teorica, che cioè la molecola dell'argon libero è uguale al suo atomo, ossia che questo è un gas *monoatomico*, mentre finora abbiamo veduto che tutti i gas semplici sono biatomici, di modo che la loro densità è doppia di quella che risulterebbe

dal loro peso atomico. L'argon è così inerte che non si combina neppure con sè stesso. Anche l'Elio e le nuove sostanze miste all'aria recentemente scoperte, presentano questa proprietà di essere monoatomiche, ed a questo riguardo, formano un gruppo a parte. L'argon bolle a $-186,9^{\circ}$, si solidifica a $-189,6^{\circ}$, ed ha uno spettro diverso dall'azoto, che mostra specialmente numerose righe nel verde e nel rosso. Si è cercato di combinare l'argon con altra sostanza: ma esso resiste anche all'azione del fluoro che attacca così fortemente tutti i corpi. Anche se attraverso un miscuglio di fluoro e argon si fa passare una scintilla elettrica, questa inerte sostanza non si altera affatto. Tuttavia secondo Berthelot, il vapore di benzina e il solfuro di carbonio sotto l'azione della scintilla elettrica avrebbero qualche effetto sull'argon. Con un simile trattamento una parte dell'argon sparirebbe e rimarrebbe una polvere solida, le di cui proprietà però non si son potute bene studiare. Dall'acqua l'argon è assorbito tre volte più facilmente dell'azoto.

Si potrebbe credere che dinanzi ad una tale inerzia chimica si fosse arrestata l'arte dello sperimentatore. Tuttavia Ramsay riuscì a dimostrare che anche in questo argon vi era una mescolanza di diversi gas. Egli fece liquefare una grande quantità d'aria e la fece evaporare fino a lasciarne solo un piccolo residuo. Se nell'aria si trovava ancora un gas sconosciuto che evaporasse più difficilmente dell'ossigeno, dell'azoto, e dell'argon, questo doveva prevalere nel residuo liquido. Ed in realtà, risultò che il gas ottenuto dall'evaporazione di que-

st'ultimo residuo mostrava ancora debolmente lo spettro dell'argon e ne presentava invece un altro, che non corrispondeva ad alcuno dei gas conosciuti. Si chiamò questo gas *krypton*, cioè nascosto, e si dimostrò ch'esso era pesante il doppio dell'argon e, come questo, monoatomico.

Quando poi, più tardi, Ramsay potè fare delle esperienze con grandi quantità d'argon (fino a 18 litri), vi scoprì un altro gas tre volte più pesante dell'argon, cioè lo *xenon*, ed un altro ancora, pesante solo la metà, ossia il *neon*: così la serie dei gas monoatomici misti all'aria, coi loro pesi atomici ridotti in cifre tonde sarebbe: Neon, 20; Argon, 40; Krypton, 80; Xenon, 120.

Sebbene così inerte, l'azoto si trova in una numerosa serie di composti organici, di modo che esso costituisce un importantissimo mezzo di nutrizione per gli animali e per noi. Fa parte, per esempio, dell'albume delle uova. Gli animali possono digerirlo e assimilarlo soltanto nei composti vegetali, non mai direttamente. Non potendo l'azoto, in condizioni ordinarie, formare alcuna combinazione colle altre sostanze organiche, rimase per lungo tempo irresoluta la questione del come le piante si appropriassero quell'azoto, che certo non prendevano dall'aria. Più probabile era che quest'azoto provenisse dal terreno, il quale contiene sempre sali nitrici solubili nell'acqua e che possono così essere assorbiti dalle radici.

Ma la sua formazione rimaneva ancora sconosciuta. Si vedeva che i sali nitrici si producono solo nei processi di decomposizione, nei quali gli avanzi di corpi, spe-

cialmente animali cedono il loro azoto che prende questa forma nitrica. Questo processo però non si potè ripetere con operazioni di laboratorio; solo recentemente si è riconosciuto che per esso è necessaria l'azione di certi speciali microrganismi. Così dunque questi bacterî, considerati soltanto come apportatori di malattie, sarebbero in sostanza quelli che ci mantengono la vita. Se nel perpetuo corso di trasformazione di tutta la materia essi venissero a mancare, tutta la vita cesserebbe presto, poichè l'azoto sarebbe escluso da questa circolazione e tornerebbe nell'immobilità della natura morta, come quello che fa parte dell'aria atmosferica. I bacterî sono quelli che si pongono alle soglie della morte, e, dopo la cessazione della vita di un organismo non permettono che quest'azoto utile agli altri esseri viventi oltrepassi quella soglia fatale, ma lo riconducono nel movimento della vita.

Del nitrato sodico (NaNO_3) e di quello potassico o salnitro (KNO_3), che hanno la parte più importante nell'adduzione dell'azoto alle piante, abbiamo già parlato nel capitolo degli ossidi. Si può formare in giacimenti, solo in luoghi asciutti, come i deserti, perchè altrove è sciolto dall'acqua corrente e portato via o commisto al terreno. Se l'acqua che ne contiene giunge per vie sotterranee a qualche cavità, il salnitro talvolta forma delle stallattiti. Così certamente si originarono i giacimenti di salnitro che oggi si escavano e si utilizzano.

Il salnitro fa anche parte della polvere pirica, la quale si compone di 6 parti di questo sale, di una di carbone

ed una di zolfo; sebbene poi, per i diversi scopi, se ne facciano di svariatissime qualità. Coll'accensione della polvere, l'ossigeno del salnitro si combina col carbonio a formare CO_2 , lo zolfo col potassio, formando solfuro potassico che è quello che produce i vapori della polvere, e l'azoto si libera. Questo gas insieme coll'anidride carbonica viene ad occupare uno spazio oltre 1000 volte maggiore di quello che aveva come polvere, e così si genera la forza esplosiva.

Un altro importantissimo composto dell'azoto è l'*ammoniacca* (NH_3). Essendo qui l'azoto pentavalente e l'idrogeno solo monovalente, questo composto non è saturo e restano libere due valenze dell'azoto. Tuttavia, per l'inerzia propria di questo elemento il composto è assai stabile, sebbene facilmente dia origine ad altri composti in cui le due valenze libere sono saturate. Ciò ci offre un mezzo per formare altri composti coll'azoto.

La combinazione coll'idrogeno non avviene però così semplicemente come tra idrogeno e ossigeno, o cloro. Si devono porre a contatto i due elementi nel momento preciso in cui essi si liberano da altri composti, ossia nel cosiddetto *stato nascente*, nel quale gli elementi hanno molto maggiore facilità di combinarsi che quando già da tempo sono allo stato libero. Ciò si spiega, ammettendo che i gas, allo stato libero, saturano da sè stessi le proprie valenze formando le molecole, mentre nell'istante in cui si separano da un altro composto gli atomi sono liberi ancora e si combinano, talora, meglio con quelli di un'altra sostanza che fra loro. Neppure il pigro azoto fa

eccezione a questa regola: e se in una reazione si liberano contemporaneamente idrogeno e azoto, i due elementi si uniscono nel composto che prende il nome di *ammoniaca*.

L'ammoniaca è un gas di odore fortissimo e caratteristico, solubilissimo nell'acqua. Un volume d'acqua può disciogliere più di 1000 volumi di ammoniaca a 0° ; un poco meno a temperature più elevate. Questa soluzione acquosa è l'ammoniaca quale si suole adoperare comunemente. L'ammoniaca gassosa diviene liquida, sotto la pressione normale, a $-38,5^\circ$; si liquefà alla temperatura normale con una pressione di circa 10 atmosfere. Se da questa pressione si fa passare a quella normale, si evapora rapidamente assorbendo molto calore, perciò si usa per la produzione del freddo e la fabbricazione del ghiaccio. Non sarà privo di interesse un cenno di una di queste macchine da ghiaccio ad ammoniaca. Si immaginino due recipienti *A* e *B* comunicanti fra loro per mezzo di una pompa *P* (fig. 401) e poi con un altro tubo.

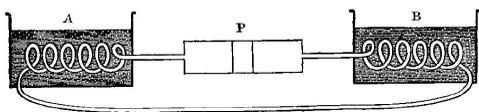


Fig. 401. – Macchina frigorifera ad ammoniaca.

La pompa aspirando l'ammoniaca abbassa la pressione in *A*, dove è l'ammoniaca liquida, che perciò si vaporizza

assorbendo calore; la stessa pompa comprime l'ammoniaca nel recipiente *B* dove questa ritorna liquida ed è riportata in *A*. Così in *A* si ha un continuo raffreddamento e quindi una temperatura molto bassa che serve a far congelare dell'acqua, mentre il calore che si svolge in *B*

si disperde, e l'ammoniaca liquida ritorna in *A* con la temperatura dell'aria ambiente.

La soluzione acquosa d'ammoniaca non è un semplice miscuglio, ma si deve considerare piuttosto come un idrato risultante dalla reazione:

$\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} = (\text{NH}_4) (\text{HO})$, e perciò detto idrato ammonico. In questa formula è messo in evidenza il gruppo OH, detto *idrossile*, che si comporta come un elemento monoatomico e satura la valenza libera del gruppo NH_4 detto ammonio.

L'*ammonio*, si comporta come un corpo semplice con le proprietà chimiche di un metallo alcalino. Esso si combina come un elemento monovalente, simile al sodio e al potassio, formando dei sali analoghi ai sali alcalini di questi metalli. Sebbene finora non sia stato possibile isolare o comporre un corpo corrispondente alla formula NH_4 , tuttavia a questo gruppo fu dato dal Berzelius il nome di ammonio e anche un simbolo $\text{Am} = \text{NH}_4$, come se si trattasse proprio di un elemento.

L'ammonio viene talora spostato con sostituzione di altri elementi, come avverrebbe di un atomo metallico. Se, per esempio, si mescola l'idrato ammonico con l'acido cloridrico, il cloro si unisce con l'ammonio e l'idrogeno dell'acido si combina coll'idrossile OH riformando acqua. Il composto che risulta (NH_4Cl) è il *cloruro ammonico*, detto comunemente *sale ammoniaco*. Similmente, dall'idrato sodico $\text{Na}(\text{OH})$ con l'acido cloridrico, si forma il cloruro sodico NaCl . Questo fenomeno che un gruppo molecolare si comporti come un ele-

mento chimico, ha un significato importantissimo; perchè se ne può concludere che anche i corpi fin qui considerati come elementi possono invece essere radicali composti, che noi non siamo riusciti ancora a separare. Nella chimica organica incontreremo molti di questi gruppi atomici, che per lo più restano uniti e indivisibili.

Del gruppo dell'azoto fa parte anche il *fosforo*. Come l'azoto, anche questo elemento è pentavalente; per cui le formule dei suoi composti sono perfettamente simili a quelle dei composti dell'azoto. Nel resto però il comportamento chimico del fosforo è assai diverso. Al contrario dell'azoto, il fosforo ha una energica affinità chimica, e per certe qualità somiglia assai allo zolfo. Il fosforo fonde già a 44° e bolle a 287°: le temperature corrispondenti dello zolfo, sono 113,5° e 448°. Tra i corpi ancora solidi a temperatura normale, il fosforo è il più facilmente infiammabile, per cui è generalmente usato per provocare la combustione. Presenta, come lo zolfo, diverse forme allotropiche, le quali sono di particolare interesse. La proprietà della facile accensione appartiene solo al fosforo *giallo* o cristallino che è fortemente venefico: esso non è solubile nell'acqua, ma bensì in altri solventi, come il solfuro di carbonio. Riscaldato fuori dell'ossigeno, in modo che non possa infiammarsi, fino a 40 o 50 gradi sotto al punto di ebollizione, ossia fino verso 250°, passa ad un'altra forma affatto diversa, il fosforo *rosso*, insolubile, non venefico, e, da solo, non più infiammabile. Mentre per conservare il fosforo giallo preservandolo dalla combustione, bisogna tenerlo nel-

l'acqua, il fosforo rosso o amorfo può rimanere esposto all'aria libera senza che bruci o si alteri. Ma se in questo stato, la temperatura anche per un istante supera quella di ebollizione, improvvisamente ritorna allo stato primitivo. Fenomeno invero stranissimo, che col medesimo processo del riscaldamento si faccia passare questo corpo da uno stato in un altro e poi di nuovo nel primo.

Queste proprietà del fosforo sono utilizzate nei fiammiferi detti svedesi, i quali non contengono fosforo, come è dichiarato nelle loro etichette: invece, è la superficie di sfregamento ai lati della scatola, che contiene fosforo rosso, il quale non è combustibile. Nella testa del fiammifero v'è una pasta accensibile, ma non di per sé stessa infiammabile, ossia una sostanza ossidante, come, per esempio, il clorato potassico. Se si sfrega questa estremità sulla superficie coperta di fosforo rosso, questo, nel punto di sfregamento per il calore d'attrito oltrepassa i 290° di temperatura e subito diventa fosforo giallo che si infiamma, dà fuoco alla capocchia del fiammifero. A contatto dell'aria il fosforo giallo brucia da sé lentamente, producendo il fenomeno luminoso ben noto da cui hanno preso nome i fenomeni di fosforescenza, che con questo, però, non hanno di comune che i caratteri esterni. I vapori luminosi e venefici sono di *anidride fosforosa* (P_2O_3). Nella rapida e completa combustione si forma invece l'*anidride fosforica* (P_2O_5).

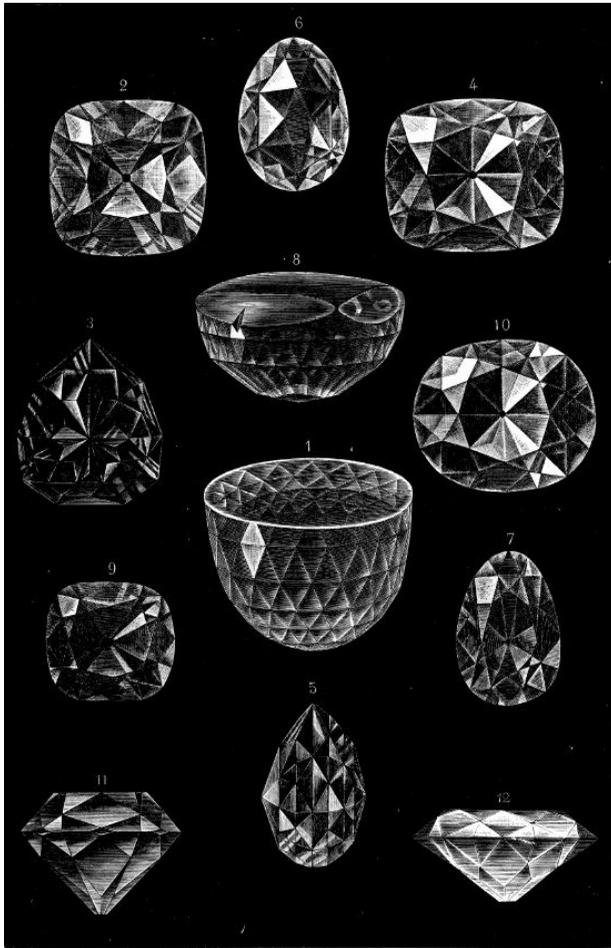
Il fosforo, insieme coi quattro elementi organogenici, ossigeno, azoto, carbonio, idrogeno, e con lo zolfo è uno dei più diffusi e necessari nella natura organica, la quale

senza di esso non potrebbe sussistere. Di fosfato di calce sono principalmente composte le nostre ossa, dalle quali e dalle urine, veniva prima esclusivamente ricavato il fosforo. Ma si trova pure in composti minerali, i *fosfati*, che servono come ottimo mezzo di concimazione per restituire al terreno la quantità di fosforo che è indispensabile alla vegetazione.

Questo elemento di sì facile reazione entra in una quantità di combinazioni, di una parte delle quali abbiamo già parlato. Oltre ad un'intera serie di ossidi vi sono anche solfuri e cloruri del fosforo. Infine si deve ricordare un altro interessante suo composto, l'*idrogeno fosforato* (H_4P_2) che si incendia spontaneamente a contatto dell'aria e brucia formando anidride fosforosa e acqua.

Una sostanza molto simile al fosforo è l'*arsenico*, tanto che fosforo ed arsenico sembrano formare un gruppo a sè con graduazione dell'affinità chimica. L'arsenico ha questa sorprendente proprietà, che il suo punto di fusione è anche quello di ebollizione. Esso passa direttamente dallo stato solido a quello gassoso, ossia si sublima, e, nelle pareti dei recipienti di evaporazione, forma uno strato nero lucente, detto specchio d'arsenico.

L'arsenico ha in comune col fosforo il caratteristico odore della combustione e le sue proprietà venefiche, le quali, anzi, nell'arsenico sono più intense che nel fosforo. Si presenta spessissimo combinato con altri metalli; per esempio, accompagna quasi sempre lo zinco. Tutta via forma minor numero di composti del fosforo, e si trova anche, allo stato nativo puro, mentre il fosforo non



I più grossi Diamanti.

1. Gran Mogol 270 Carati. – 2. e 11. Il Reggente della corona di Francia, 136 $\frac{3}{4}$, car. – 3. e 5. Fiorentino, casa d'Austria. – 4. e 12. Stella del Sud (Brasile) 125 car. – 6. Sancy 53 $\frac{1}{2}$ car. (Imper. di Russia). – 7. Diamante verde di Dresda, 40 car. – 8. Kohinur (corona d'Inghilterra) nella prima forma 280 car. – 10. Kohinur, nella nuova forma, 106 $\frac{1}{16}$ car. – 10. Diamante azzurro di Hope (Amsterdam) 44 $\frac{1}{4}$ car.

si trova, ed anche quello ottenuto artificialmente non si conserva che poco tempo. L'arsenico ha uno splendore metallico di un verde plumbeo ed anche una certa durezza metallica, benchè sia poi molto fragile: potrebbe dunque fornire come il punto di passaggio ai metalli leggeri.

Fra i composti son da ricordare l'anidride *arseniosa* ed *arsenica*, solfuri e cloruri, come pure, analogamente al fosforo, l'*idrogeno arsenicale* (AsH_3), uno dei gas più micidiali, che ha fatto anche delle vittime.

Un grado ancora più in basso nella scala della energia di affinità, troviamo l'*antimonio*, il cui punto di fusione è a 430° e quello di ebollizione circa a 1500° . Ha una lucentezza metallica biancastra e una maggior durezza e fragilità dell'arsenico; si trova in natura, per lo più combinato con lo zolfo, e si hanno pure la anidride *antimoniosa* (Sb_2O_3) e quella *antimonica* (Sb_2O_5), le quali nella composizione atomica corrispondono esattamente a quelle dell'azoto, del fosforo e dell'arsenico.

L'antimonio si trova anche puro, ma per lo più combinato, in stato di solfuro, e forma, coi metalli, delle leghe che hanno notevoli proprietà, di cui parleremo in seguito. Misto al piombo forma la lega che si usa per i caratteri da stampa: in unione allo zinco forma il noto *metallo inglese*.

Si può infine ricordare che prima si riteneva l'antimonio un elemento trivalente e si poneva fra i metalli, coi quali realmente ha in comune molte proprietà. La teoria chimica, perfezionandosi, porta spesso la necessità di

tali variazioni nella classificazione degli elementi.

e) Il carbonio.

Il carbonio si presenta in diversissime forme allotropiche; il vero e proprio *carbone*, la *grafite* e il *diamante*. In tutte queste forme, resta infusibile a tutte le temperature che si possono ottenere distinguendosi così da tutti gli altri corpi. Il carbone e la grafite sono neri ed opachi; il diamante, nella sua forma più pura, è trasparente. Il diamante e la grafite sono cristallini; questa però sfaldabile e molle, cosicchè fornisce la matita dei lapis, mentre il diamante è la più dura delle sostanze conosciute. Il carbone, a temperatura elevata ma facilmente ottenibile, si combina coll'ossigeno e brucia completamente: la grafite, invece, è così difficilmente combustibile che se ne fanno dei crogiuoli da fuoco; il diamante è combustibile ma solo difficilmente: peraltro il prodotto della loro combustione è qualitativamente e quantitativamente il medesimo che nella combustione di un pezzo di carbone.

Il diamante può essere, coll'incandescenza fuori del contatto dell'aria, portato allo stato grafitico e finalmente a quello di carbone, ma pur troppo, non si può fare il contrario o solo per quantità affatto minime; ma su questo ritorneremo. Il carbone è, pure, sempre per i nostri attuali mezzi, non solo infusibile, ma neppure in alcun modo solubile, per cui non è possibile farlo cristallizzare. Come il diamante si formi in natura è ancora un



La cava diamantifera «Old de Beers» presso Kimberley
(Africa del Sud)
(da una fotografia).

enigma, sebbene negli ultimi tempi si sia giunti anche a fabbricare dei *piccoli diamanti artificiali*. Del comportamento del ferro rispetto al carbonio nella fabbricazione dell'acciaio (pag. 415) si è potuto supporre che nella combinazione dei due elementi si raggiungesse in certi momenti una temperatura così elevata da poter liquefare piccole quantità di carbonio, le quali iniziano subito la combinazione di questo col ferro, trasformandolo in acciaio. Se si interrompe improvvisamente questo processo e si sottopone la massa ad una forte pressione che produca una rapida cristallizzazione, il carbone si condensa realmente in piccoli diamanti. Per far ciò si fonde il ferro misto a polvere di carbone, e subitamente si immerge nell'acqua fredda, di modo che la massa, per l'improvviso raffreddamento si contrae fortemente e le sue parti interne sopportano una enorme pressione. La massa del ferro viene poi sciolta in un acido in cui rimane la polvere di diamante. Friedländer e Von Hasslinger ottennero, nel 1902, dei diamanti in tutt'altra maniera, fondendo del carbone misto a minerali vulcanici. Hasslinger usò a questo scopo il nuovo processo di fusione Goldschmidt, in cui è utilizzata la grande affinità del magnesio e dell'alluminio per l'ossigeno, per raggiungere altissime temperature. In questa maniera si poterono fabbricare dei diamanti che però non erano più grossi di mm. 0,05.

Questi metodi non offrono ancora alcuna pratica utilità. Come abbiamo già detto, talvolta si trovano alcuni di tali piccoli diamanti nelle meteoriti. Non è impossibile

che la loro formazione sia dovuta ad un processo analogo a quello descritto, mentre i diamanti terrestri forse hanno origine da un processo simile a quello di Friedländer. I diamanti si trovano nelle Indie, nel Brasile e nell’Australia, e nell’Africa meridionale, nei terreni che forniscono anche oro; si trovano isolati nei terreni alluvionali, dove evidentemente sono portati dalle acque, dopo essere stati distaccati dal loro posto originario: dai piccoli pezzetti aderenti si potè riconoscere la roccia madre, che si scoprì finalmente in una ardesia particolarmente pieghevole, la *itacolumite*, la quale però non può darci alcuna indicazione relativa alla maniera di formazione del diamante. Nelle celebri cave di diamante del Sud-Africa, presso Kimberley, il diamante viene estratto da una roccia azzurrognola (*blue ground*) che è un tufo vulcanico. La Tavola XV ci presenta i più grossi diamanti in grandezza naturale, nelle forme date ad essi, con la sfaccettatura artificiale.

Il carbone si forma nella distillazione a secco delle sostanze organiche, riscaldandole fuori del contatto dell’aria, altrimenti il carbone brucerebbe formando anidride carbonica. Per la fabbricazione del carbone, si ricorrono le legna accatastate, con uno strato di terra che permette solo un piccolo accesso dell’aria. Acceso il fuoco inferiormente, una parte della legna brucia lentamente, e il calore prodotto carbonizza il rimanente, facendo uscire dalle cellule del legno tutte le sostanze volatili, e lasciando solo il carbonio.

Con lo stesso procedimento si è, in sostanza, formato

anche il carbon fossile se non che, il calore necessario per la distillazione fu fornito in questo caso dalla pressione esercitata sui resti vegetali, dai sovrapposti strati di terra. I prodotti di distillazione restano in gran parte mescolati ai resti vegetali carbonizzati, ed oggi si possono poi eliminare e raccogliere, come si fa nella fabbricazione del gas, sotto forma di catrame ed altri prodotti affini. Da questo catrame sudicio e grasso il chimico ricava oggi una quantità di meravigliose materie coloranti e odorose.

In entrambi i processi di carbonizzazione naturale o artificiale, il carbone che ne risulta conserva la struttura delle primitive sostanze organiche che servirono alla sua formazione; per cui, un pezzo di carbone di legna mantiene la forma del legno bruciato e vi si possono riconoscere gli anelli del tessuto vegetale che indicano l'età del fusto. Ma poichè certamente, i tre quarti delle sostanze contenute nel legno sono state allontanate nella carbonizzazione, mentre il volume rimane lo stesso, si capisce che il carbone è molto più poroso di quel che non fosse allo stato legnoso. Per questa ragione, esso esplica una forte attrazione capillare che lo rende capace di assorbire avidamente i liquidi ed i gas, anche fino a 100 volte il proprio peso. Per il grande ravvicinamento che le molecole di tali sostanze subiscono in questo assorbimento, accade, che esse talvolta possono quivi unirsi in combinazioni che non sarebbero possibili allo stato libero. La porosità del carbone di legno viene notoriamente utilizzata anche a scopo di filtrazione, non la-

sciando esso passare i piccoli corpi solidi sospesi nei liquidi, tra cui le materie di putrefazione; così, l'acqua cattiva e malsana si può convertire in acqua potabile.

Avendo poco fa parlato di combustione incompleta, vogliamo anche dire qualche parola della *combustione completa*. Si dice, che un corpo è completamente bruciato *quando è perfettamente saturato di ossigeno*.

L'anidride carbonica (CO₂) non può più combinarsi con l'ossigeno. Per poter avere la combustione completa, occorre sempre che vi sia sufficiente quantità d'ossigeno: ma non è necessario che la combustione sia accompagnata dal *fenomeno della fiamma*, mentre, viceversa, la fiamma indica sempre una combustione completa. Con un insufficiente accesso d'aria la fiamma non può svilupparsi, per cui nelle stufe, nei lumi, ecc., si hanno quelle svariate disposizioni che servono ad assicurare il *tiraggio*.

Ci sono già note sostanze che si accendono spontaneamente all'aria; altre hanno bisogno di essere accese, col riscaldamento. Questo ci mostra che il processo di ossidazione nei diversi corpi comincia solo a certe date temperature, come del resto avviene di tutte le reazioni chimiche. Se la *temperatura critica* delle diverse sostanze è anche di poco sorpassata, il processo di ossidazione sviluppa, per lo più, calore sufficiente per mantenere la sostanza data, a quella temperatura iniziale: e così il processo di combustione continua.

La stessa luminosità della fiamma deriva dalla incandescenza dei gas sviluppatasi nelle ossidazioni o di parti-

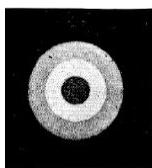
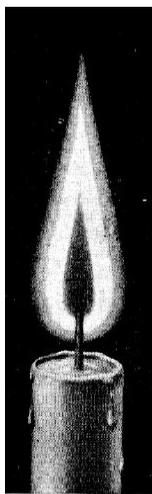


Fig. 402.
Struttura della
fiamma.

celle solide sospese nella fiamma ed incandescenti al bianco. Per conseguenza, le fiamme mostrano o le linee chiare dei loro gas, oppure, come una fiamma di candela, solo uno spettro continuo. Nella fiamma di una candela si distinguono chiaramente tre regioni (fig. 402). La parte interna della fiamma è oscura: essa contiene i gas prodotti dalla sostanza della candela per il riscaldamento e non ancora bruciati. Se in questa regione si fa penetrare l'estremità di un sottile tubo di vetro che raccolga i gas, si può, dopo un poco, accenderli all'altra estremità del tubo. Il mantello che involge questo nocciolo oscuro è la parte veramente luminosa della fiamma: qui comincia il processo di ossidazione e perciò questa parte è anche più calda di quella interna. Il gas contiene una gran quantità di carbone finamente suddiviso, che per il calore che

trova diviene incandescente senza subito bruciare, e così le particelle di carbone incandescenti producono la luce. Questo mantello è poi circondato da un altro che è meno luminoso ma più caldo ancora: in questo brucia anche il carbone. Se l'aria fa difetto la fiamma allora fuma, ossia manda fuori queste particelle di carbone incombuste. Se invece si dirige sulla fiamma una corrente di ossigeno superiore al bisogno, il carbone può allora bruciare subito, la fiamma non è più luminosa, o, almeno, solo della

luce dei suoi gas, ma diviene notevolmente più calda. Su questo principio è costruita la *lampada di Bunsen*, che si adopera nei laboratori ed anche nei comuni fornelli a gas.

Dei composti del carbonio che ci interessano come corpi inorganici abbiamo già parlato in precedenza. Ma vi è anche un composto, che propriamente appartiene alla chimica organica, ma presenta una tale somiglianza cogli alogeni, che si può, in certo modo, considerare come uno pseudo-elemento simile all'ammonio, però con questa importante differenza che questo composto si può realmente isolare. Esso è il *cianogeno* (CN), che come gas stabile ha la formula C_2N_2 ; un gas oltremodo velenoso, che diviene liquido a -21° , solido a -34° . Ha un comportamento chimico affatto uguale ai corpi semplici cloro, bromo, iodio e fluoro. Essendo il carbonio tetravalente e l'azoto pentavalente, nel composto NC una valenza rimane non satura: il cianogeno, quindi, è monovalente come gli alogeni. Come all'ammonio, gli si è assegnato un simbolo proprio, scrivendo $Cy = CN$. Questo pseudo-elemento si combina come il cloro, e forma coi metalli sali ed acidi. Tra quest'ultimi è l'*acido cianidrico* (HCN), il noto e terribile *acido prussico*, che si trova nei semi di certe frutta e dà alle mandorle amare il loro sapore speciale. Tra i suoi composti coi metalli leggieri notiamo il *cianuro potassico* (KCN) e il ferrocianuro (K_4FeCy_6) che deriva dalla combinazione del cianuro di potassio col ferro. Abbiamo qui un composto di 4 elementi, mentre fin qui abbiamo principal-

mente trattato solo dei composti *binari*.

Se un atomo di cianogeno monovalente si combina con un atomo di zolfo, la sua valenza viene saturata, ma essendo lo zolfo bivalente, resta sempre una valenza libera. Così ha origine un nuovo radicale che si è chiamato solfocianogeno (CyS) e che si può al solito considerare come pseudo elemento monovalente. Anche questa forma dei sali come i veri alogeni; tra gli altri suoi prodotti vi è il solfocianuro ammonico $(\text{NH}_4) \text{S} (\text{CN})$ la cui formula di struttura sarebbe $\text{N} \equiv \text{C} - \text{S} - \text{N} \equiv \text{H}_4$. Abbiamo, dunque, qui un composto di 4 elementi, di cui uno è monovalente e gli altri bi- tetra- e pentavalenti: il composto è perfettamente saturo. Degli altri composti del carbonio sarà parlato nel capitolo della chimica organica.

f) Idrati e sali ossigenati.

Trattando dell'idrogeno abbiamo già parlato del principalissimo composto coll'ossigeno, cioè dell'acqua. Abbiamo pure considerato gli acidi idrati con le loro anidridi, e il gruppo OH, detto idrossile, il quale, come l'ammonio e il cianogeno, si comporta quale elemento monovalente, formando i composti che si chiamano *idrati*. Si hanno tre specie di composti, gli acidi, le basi ed i sali, che in questo caso prendono il nome di *ossisali* o sali ossigenati.

Degli acidi ne conosciamo già alcuni. Dall'anidride solforica (SO_3) coll'aggiunta di H_2O si forma l'acido

solforico H_2SO_4 , che si può anche scrivere $\text{SO}_2(\text{OH})_2$, volendo mettere in evidenza il suo carattere di idrato: la sua formula di struttura è indicata a pag. 408. Togliendo all'acido solforico i due atomi d'idrogeno, resta il gruppo SO_4 che funziona come bivalente. Gli stessi rapporti s'incontrano nell'acido nitrico e negli altri ossiacidi.

Le anidridi, o ossidi anidri, sono in grado di trasformarsi direttamente in idrati unendosi all'acqua. L'esempio più noto ce l'offre la calce, che si combina avidamente con l'acqua con forte sviluppo di calore; in questa reazione l'ossido di calcio (CaO) e l'acqua (H_2O) formano l'*idrato di calcio* $\text{Ca}(\text{OH})_2$, poichè, essendo il calcio bivalente, occorrono, per saturare un atomo, due ossidrili. Per mezzo del calore, si può nuovamente scacciare l'acqua e ricondurre l'idrato a ossido: questa operazione dicesi *calcinazione*.

Anche il sodio e il potassio si uniscono direttamente coll'acqua a formare gli idrati sodico $\text{Na}(\text{OH})$ e potassico $\text{K}(\text{OH})$. Le proprietà caustiche di queste cosiddette *liscivie*, che si utilizzano specialmente per la scomposizione di sostanze animali, sono assai conosciute e sulle loro applicazioni parleremo, trattando dei composti organici.

Se si scioglie un metallo pesante in un acido, il metallo, non tutti però perchè alcuni non sono attaccabili dagli acidi, prende il posto dell'idrogeno che si libera allo stato di gas: il metallo si combina dunque col radicale acido. Per esempio, il ferro dà questa reazione coll'acido solforico: $\text{Fe} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{FeSO}_4 + \text{H}_2$. Il sale che si

forma è il solfato di ferro, detto comunemente *vetriolo*. Così, sempre con produzione di idrogeno, si formano il solfato di rame (CuSO_4) il solfato di zinco, ecc. Questi sali danno in generale bei cristalli.

Nella cristallizzazione rimane talora inclusa nel gruppo atomico anche dell'acqua, detta perciò *acqua di cristallizzazione*, e di questa riparleremo: per ora, daremo le formule chimiche senza tener conto dell'acqua di cristallizzazione.

Anche nella reazione dei metalli con gli idracidi si libera idrogeno e i sali che si formano si chiamano sali *aloidi*. Acido cloridrico e zinco formano cloruro di zinco e idrogeno, secondo la reazione $2 \text{HCl} + \text{Zn} = \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2$.

Per la designazione degli ossisali si deve avvertire che i composti derivanti dagli acidi con minori gradi di ossidazione (*acido solforoso, nitroso, ecc.*), si chiamano *solfiti, nitriti, ecc.*, mentre quelli prodotti dai veri acidi (solforico, cloridrico, silicico) si chiamano solfati, nitrati, silicati. A questi due gruppi appartengono, tra gli altri sali ben conosciuti nell'uso domestico, il carbonato di potassio (K_2CO_3), il carbonato sodico (Na_2CO_3), il *bicarbonato sodico* (NaHCO_3). L'*iposolfito sodico* usato in fotografia ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), il *solfito sodico* (Na_2SO_3) che serve pure in fotografia per sviluppare le lastre, il *solfato sodico*, o sale di Glauber (Na_2S_4), il *gesso* o *solfato di calcio anidro* (Na_2SO_4), la *biacca* o *carbonato di piombo* (PbCO_3), il *nitrato d'argento* (AgNO_3) e l'*acetato di piombo*, che è un composto organico ($\text{PbC}_4\text{H}_6\text{O}_4$).

Negli idrati si distinguono quelli derivati da minor grado di ossidazione, da quelli di ossidazione maggiore; per esempio, l'idrato derivato dall'ossidulo di ferro (FeO) si chiama idrato *ferroso*, mentre quello derivato dall'ossido ferrico (Fe_2O_3) si chiama idrato ferrico $\text{Fe}(\text{OH})_2$. La comune *argilla* è un idrato di alluminio $\text{Al}(\text{OH})_2$, la *magnesia* è idrato di magnesio. La magnesia adoprata per gli usi medicinali è carbonato di magnesio, dal quale colla calcinazione si ottiene l'ossido di magnesia o *magnesia caustica*; da questa poi si può riottenere l'idrato, facendola combinare con acqua, come avviene per la calce. Anche il *verderame* è un idrato di rame $\text{Cu}(\text{OH}_2)$.

g) Metalli leggieri.

Nel gruppo dei metalli leggieri è compreso il *potassio*, elemento assai caratteristico del quale già conosciamo un'intera serie di composti. Il potassio ha una lucentezza come l'argento, ma pesa meno dell'acqua essendo il suo peso specifico 0,87. Fonde a $62,5^\circ$ e bolle a 720° . A contatto dell'aria si ossida subito, e nell'acqua brucia accendendosi: per conservarlo occorre quindi tenerlo immerso in un liquido che non contenga ossigeno, come il petrolio.

Il *sodio* è in tutto simile al potassio: all'aspetto poi è quasi identico. Il suo peso specifico è un po' maggiore di quello del potassio e quasi uguale all'acqua, (0,97). Il punto di fusione 95° , e quello di ebollizione 900° , sono

entrambi un po' superiori a quelli del potassio. Il sodio è perciò alquanto meno facile a reagire, ma tuttavia deve pure essere conservato sotto il petrolio, per proteggerlo dall'ossidazione. Questi metalli sono teneri come cera.

Il *calcio* è già notevolmente più pesante dell'acqua, essendo il suo peso specifico 1,58. Sebbene si combini anch'esso direttamente coll'acqua spostandone l'idrogeno e formando idrato calcico, pure è essenzialmente più tardo a reagire dei due metalli leggieri innanzi ricordati. Il calcio è un metallo di lucentezza giallastra, non plastico ma assai malleabile, che comincia a fondere al calore rosso.

Il *magnesio* ha un peso specifico un po' maggiore del calcio, cioè 1,74. È di color bianco argenteo, pieghevole, fonde a 450°, bolle a 900°, e non si ossida facilmente. Ma, con un certo riscaldamento, si infiamma bruciando con fiamma bianca splendente, la cui luce si utilizza per la fotografia detta appunto al magnesio, e per fuochi d'artificio.

L'*alluminio* è un metallo oggi ben conosciuto, mentre una diecina d'anni fa si poteva solo ottenere in piccolissime quantità in laboratorio, come il sodio, il potassio e il calcio, benchè si sapesse che è uno dei corpi più diffusi alla superficie terrestre. Per i tre metalli ora nominati questa difficoltà ad averli allo stato puro dipende dalla loro grande ossidabilità: l'alluminio invece, una volta depurato è stabilissimo, tanto che, in condizioni normali, non è attaccato nemmeno dagli acidi solforico e nitrico, ma solo dall'acido cloridrico.

È un metallo biancastro, resistente, che fonde a 625° . Brucia con fiamma lucente come il magnesio ma più difficilmente. Al gruppo di questi metalli leggeri appartiene pure un certo numero di metalli rari, che hanno con essi molta analogia, benchè talvolta siano anche assai pesanti. Citiamo il *Tallio*, l'*Ittrio* e il *Torio*; quest'ultimo si accosta alquanto all'Uranio, il più pesante elemento che si conosca.

Della diffusione dei metalli leggeri in natura e delle loro importantissime applicazioni abbiamo già parlato a proposito degli ossidi, solfuri, ecc.

h) Metalli pesanti.

Lo zinco si può considerare come l'anello di passaggio dai metalli leggeri a quelli pesanti. È simile al magnesio e fonde già a 420° . Dopo il mercurio è il solo metallo pesante che si possa far bollire facilmente, poichè bolle a 930° . A differenza degli altri metalli del gruppo del ferro, è bivalente, somigliando anche in questo al magnesio: è press'a poco pesante come il ferro. Il suo aspetto è ben noto; comunemente è un metallo duro e fragile, cosicchè fino al principio del XIX secolo non si era riusciti quasi affatto ad utilizzarlo. Ma dopo che si scoperse, che riscaldato a circa 150° perde la sua rigidità e si può foggiare in lamine, il suo uso divenne generale. È questa una stranissima proprietà dello zinco di essere malleabile solo entro strettissimi limiti di temperatura, mentre riscaldato ulteriormente torna ad essere

fragile.

Passando al vero gruppo del ferro, dobbiamo subito ricordare il *cromo*, il cui peso specifico è 6,9, mentre quello del ferro è 7,5. Vediamo subito, che tra i metalli leggeri ed il più leggero di quelli pesanti vi è una notevolissima distanza. Il cromo è molto duro, sì da scalfire il vetro. È difficilissimo a fondere: ha un bel color verde, e all'aspetto non si distingue bene da taluno dei suoi molti composti dagli splendidi colori, ai quali deve il suo nome, che in greco significa colore. È bivalente e trivalente. A differenza degli altri metalli simili al ferro non è magnetizzabile, e si trova in natura solo combinato; non è eccessivamente raro e trovasi anche insieme cogli altri metalli del gruppo del ferro nelle meteoriti.

Tra i composti del cromo è il *cromato di piombo* (PbCrO_4) usato come colore giallo in pittura. Il *bicromato potassico* ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) è adoprato dai fotografi, avendo la strana proprietà di divenire sensibile alla luce con certe sostanze organiche, come la gelatina.

Del ferro non abbiamo ora molto a dire, avendo già parlato dei suoi composti, mentre le ordinarie proprietà di questo metallo diffusissimo tra tutti, sono ben note. Solamente si deve porre in rilievo che il ferro è l'unico dei metalli pesanti che comparisca anche nella natura organica: il nostro sangue ne contiene quantità relativamente notevoli e come sostanza necessaria, tanto che alle persone anemiche si dà, per cura, in soluzione, che agisce come ricostituente dell'organismo. Di qui la fortuna delle acque ferruginose che contengono pure buona

dose di acido carbonico: i composti disciolti nelle acque minerali sono dunque formati da ferro e carbonio come l'acciaio.

Il *cobalto* e il *nicel* sono più simili al ferro di tutti gli altri metalli appartenenti a questo gruppo e sono anche, benchè in assai minor misura del ferro, magnetizzabili. Hanno pesi specifici superiori al ferro, il cobalto 8,5, e il nicel 8,3. Quest'ultimo ha una lucentezza argentea, che ognuno conosce da quando sono entrate in uso le monete di nicel, le quali del resto contengono solo un quarto di nicel e tre di rame. Cobalto e nicel sono più difficilmente ossidabili del ferro, per cui si ricoprono di nicel molti oggetti per salvarli dalla ruggine. Il cobalto forma sali azzurri, usati anche come materie coloranti, il nicel verdi.

Al gruppo del ferro appartiene anche il *manganese*, il cui peso specifico (8,0) sta tra quello del ferro e del cobalto. Questo metallo insieme coll'Iridio (che appartiene al gruppo del platino) è uno dei più difficili a fondersi, essendo il suo punto di fusione circa a 1900°. Nonostante questa resistenza grandissima alla fusione e la sua durezza, poichè può rigare anche l'acciaio, il manganese è molto più ossidabile del ferro, cosicchè non ha applicazioni tecniche allo stato puro: le sue leghe al contrario sono pregevolissime per molti usi.

Al gruppo del ferro appartiene anche l'*uranio*, che ci ha già interessato vivamente per i meravigliosi raggi detti appunto uranici o di Becquerel.

Abbiamo già espresso il dubbio che tali raggi non sia-

no dovuti all'uranio stesso ma ad altri elementi ad esso associati (radio, ecc.). Somiglia assai al ferro, ma pesa più del doppio: il suo peso specifico raggiunge quasi quello dell'oro, e dopo di esso, solamente i metalli del gruppo del platino sono più pesanti. Il peso atomico dell'uranio poi è il maggiore che si conosca, cioè 240. A contatto dell'aria si ossida alla superficie e col riscaldamento brucia. Questa sua facile ossidazione che si manifesta anche con gli acidi, ci fa assegnare l'uranio al gruppo del ferro e considerarlo perciò come un metallo non nobile. Si trova in una blenda (pechblend) assai rara, e si estrae solo nella Valle di Joachim nelle montagne della Boemia.

Diversi sali uranici trovano applicazione come sostanze coloranti, specialmente nella manifattura del vetro e della porcellana. L'*ossidulo uranico* UO_2 fornisce un colore da porcellana nero resistente al fuoco: l'*uranato sodico* è di un bel color giallo, e con esso si fabbrica il *vetro uranico*, che ha fluorescenze verdi.

Il *piombo*, primo rappresentante del suo gruppo, forma un nuovo anello di passaggio al gruppo del ferro. Non è un metallo nobile perchè si ossida facilmente, benchè solo col riscaldamento. È resistente all'azione dell'aria e degli acidi, per cui si fanno di piombo le camere per la fabbricazione dell'acido solforico. Per questa sua resistenza, come per la dolcezza e facilità di fusione, il suo uso è molto esteso, tanto più che il suo prezzo è minimo tra i metalli. La diffusione dei suoi minerali è superata solo da quella dei minerali di ferro. Il

piombo fonde a 325° ed il suo peso specifico è 11,25. I suoi composti sono molto velenosi e di sapore talvolta dolciastro non sgradevole, e si chiamano veleni segreti o lenti, perchè agiscono solo dopo molto tempo che furono ingeriti. Il piombo dà anche delle materie coloranti, come anche serve per la fabbricazione di speciali vetri da vasellami. Della *biacca*, carbonato di piombo, abbiamo già parlato. Il *minio* (Pb_3O_4), di color rosso, serve a fare una vernice per proteggere il ferro dalla ruggine. Il *litargirio* (PbO) serve nella fabbricazione del vetro pesante o cristallo.

Il *mercurio* è un metallo semi-nobile, poiche è inalterabile all'aria, ma è attaccato dagli acidi energici; al calore si ossida facilmente. Essendo liquido alla temperatura ordinaria ed avendo insieme un peso notevolissimo, trova molte applicazioni in fisica, delle quali già abbiamo parlato, come del suo punto di fusione ($-39,5$), di quello di ebollizione (375) e della sua densità ($13,6$ a 0). In natura si trova allo stato di *cinabro* (HgS), ma anche, raramente, allo stato puro. Conta tra i suoi composti il *cloruro mercurico*, o *sublimato* (HgCl_2) che è velenosissimo, ma serve mirabilmente come antisettico, e si usa anche in fotografia per rinforzare la negative. Si ha inoltre il fulminato di mercurio ($\text{HgC}_2\text{N}_2\text{O}_2$) che esplose ad una pressione anche leggerissima e si adopra per ciò nelle capsule esplosive.

L'*argento* è chimicamente assai simile al mercurio. È il primo dei veri metalli nobili, essendo inalterabile all'aria e attaccato solo dagli acidi molto forti; fonde a

954°, il suo peso specifico è 10,5, e le sue proprietà generali sono note. Si trova allo stato puro, ma per lo più combinato allo zolfo, come lo zinco, e contiene spesso non indifferente quantità di arsenico. Si ha un fulminato di argento, ma meno pericoloso di quello di mercurio. Abbiamo già accennato al nitrato d'argento (AgNO_3), e al cloruro, bromuro e ioduro, interessantissimi per la loro sensibilità alla luce.

Il *rame* fonde più difficilmente dell'argento (a 1054°), ma il suo peso specifico è minore (8,9); del resto, si comporta analogamente a questo, rispetto all'aria e agli acidi, e dovrebbe dunque essere annoverato tra i metalli nobili se fosse raro come l'argento. Conosciamo le sue proprietà generali, e specialmente abbiamo altrove trattato di quelle elettro-galvaniche.

Il *bismuto* ha un aspetto bianco-rossastro, che ricorda un po' il rame e un po' l'argento: forma dunque il punto di passaggio ai metalli più pesanti e inalterabili. Il suo comportamento chimico è assai somigliante a quello del rame e dell'argento, ma fonde a minor temperatura, cioè a 268° ed ha una densità intermedia fra quella dei due metalli ricordati (9,82). Anche del bismuto ci siamo occupati per le sue qualità elettromagnetiche, trattando del diamagnetismo.

Il primo elemento del gruppo dei metalli più pesanti e stabili è lo *stagno*. Fonde prima ancora del bismuto (a 233°) e pesa circa quanto il ferro (7,3). Ha minore affinità per l'ossigeno, dei metalli dei gruppi precedenti. I metalli già ricordati del gruppo del piombo non sono at-

taccati dagli acidi solforico e cloridrico, ma solo dall'acido nitrico. Lo stagno si scioglie un poco nell'acido cloridrico a caldo, poichè tutti gli acidi a caldo dispiegano un'azione più energica; nell'acido nitrico lo stagno si scioglie facilmente. Ha una lucentezza argentea ed è assai fragile; nel rompersi presenta delle superficie di separazione, brillanti in modo caratteristico, dipendenti dalla sua struttura cristallina. Per questa sua fragilità lo stagno, tolte le sottili carte di stagnola, non trova molte applicazioni. Però serve benissimo, per la sua facile fusione, a stagnare o saldare gli oggetti di metallo, e a rivestire alcuni metalli facilmente ossidabili, come il ferro, che dopo questa lavorazione prende il nome di latta, ed è adoperato moltissimo per varie industrie. Il solfuro di stagno (SnS_2) è una sostanza simile all'oro e serve per la falsa doratura dei metalli.

L'oro è il più nobile di tutti i metalli riunendo tutte le loro qualità in grado elevatissimo. È affatto inalterabile all'aria ed insolubile in qualunque acido, eccettuata l'*acqua regia*, che è un miscuglio di HCl e HNO_3 concentrati. L'oro fonde a 1045° , è pesantissimo (19,3), ma però straordinariamente malleabile, e perciò si presta a svariate lavorazioni. Si può tirare l'oro così fine che un filo lungo 3 metri pesi solo 1 mg., ed anche la foglia d'oro si può ottenere di una sottigliezza eccezionale. Per lo più si trova in natura allo stato puro, e in causa della sua pesantezza si separa col lavaggio dagli altri corpi terrosi. Solo indirettamente si può farlo combinare in pochi composti, dai quali facilmente può separarsi col

riscaldamento. Tra questi composti vi è il *cloruro d'oro*, utilissimo in fotografia, altrove ricordato. Si ha pure un fulminato d'oro, composto analogamente a quelli di mercurio e d'argento e che esplose anche più facilmente.

Il *platino* ha le proprietà di metallo nobile anche più dell'oro, ma non ha il suo bel colore: è bianco verdastro e un po' opaco, e non tanto malleabile come l'oro. Fonde a 1775° , ed è quindi molto più resistente dell'oro al calore, ed anche più pesante (21,45). Non è attaccato da alcun acido, neppure da quello fluoridrico che attacca anche il vetro; per cui si può considerare, insieme al carbonio, come il corpo più inalterabile che si conosca. È raro quasi come l'oro, ed il suo prezzo si eleva a circa due terzi di quello dell'oro. I suoi composti non possono essere ottenuti che indirettamente. Solo il *cloruro di platino* (PtCl_4) si può ottenere direttamente, sciogliendo il platino nell'acqua regia; dal cloruro si possono poi formare gli altri composti. Da uno di questi si può far precipitare un sale, che, portato all'incandescenza, lascia il platino in uno stato di estrema suddivisione, e perciò si chiama *spugna di platino*, della cui potente azione, dovuta alla sua porosità, già abbiamo parlato. Mediante l'azione di questa spugna si possono ottenere dei composti che altrimenti non sarebbe affatto possibile combinare; una prova di più, che le relative distanze delle molecole hanno una parte importantissima nel fenomeno dell'affinità chimica. Accennammo pure ad un altro composto, il *platinocianuro di bario*, che ha la sor-

prendente proprietà di trasformare le piccolissime onde luminose in onde di minore rifrangibilità, e così da rendere a noi visibili i raggi ultra-violetti. È pure nota la sua applicazione per rendere visibili le immagini formate dai raggi Röntgen.

Il platino è spesso accompagnato da altri elementi che presentano un particolare interesse, per cui, nonostante la loro rarità, vogliamo qui darne qualche breve cenno. Il più leggero di questi metalli è il *palladio*, il cui peso specifico è circa la metà di quello del platino (11,8); ed anche il suo peso atomico è molto minore, 106 invece di 164. Il palladio è facilmente attaccato dagli acidi e si scioglie bene nell'acido nitrico; nel resto è molto simile al platino. Si lavora bene per la sua dolcezza, cosicché in oggi si usa per farne le molle da orologio, invece dell'oro. Ha su questo il vantaggio di essere molto più leggero e di avere un coefficiente di dilatazione minore; reagisce alle variazioni di temperatura con maggiore regolarità dell'oro.

Il *rodio* pesa quasi quanto il palladio (12,1), e anche il peso atomico è vicino a questo (103). Al contrario, è resistente al calore e agli acidi più del platino stesso, differendo in questo grandemente dal palladio.

Vicino al rodio sta il *rutenio* ($d = 12,3$; peso atomico 101,7) che è attaccato facilmente dall'acqua regia e fonde solamente ad elevatissima temperatura. Il rutenio e il rodio si presentano come polveri, la prima bianco-verdastra, la seconda verde, e non si possono fondere insieme in massa metallica.

I tre elementi palladio, rodio e rutenio formano un particolare sottogruppo; lo stesso si può dire degli altri tre, platino, osmio e iridio. L'osmio e l'iridio hanno quasi la stessa densità e peso specifico del platino. L'osmio ha densità 22,5 e peso atomico 191. L'iridio densità 22,4 e peso atomico 193.

L'*osmio* è una polvere nera insolubile. Indirettamente si può formare un *anidride osmica* OsO_4 che è *gassosa*, mostrando il fenomeno stranissimo, che il più pesante dei corpi conosciuti combinato coll'ossigeno dà un gas volatile.

L'*iridio* è un po' meno denso e, come l'osmio, meno fusibile del platino (a 1900°); è insolubile persino nell'acqua regia alla quale il platino cede. L'osmio e l'iridio hanno i più piccoli coefficienti di dilatazione di tutti i metalli, cioè 0,00000657 e 0,00000683: questi coefficienti rispetto a quello dell'acciaio stanno circa come 11 a 7. Di tutte le altre sostanze, solamente il diamante ed il silicio hanno minore dilatabilità. Se si riflette, che il diamante può bruciare con relativa facilità e il silicio forma una quantità di composti, se ne può concludere che l'osmio e l'iridio sono veramente i più inalterabili elementi che si conoscano, e con questi terminiamo il nostro studio dei corpi semplici.

i) Le leghe metalliche.

Parlando dei campioni delle unità metriche di misura, abbiamo ricordato una lega di platino e iridio, la quale

ha veramente un coefficiente di dilatazione un po' maggiore di quello dell'iridio puro, ma quasi costante, ossia con le più piccole variazioni del coefficiente medesimo rispetto alla temperatura, e perciò offre il miglior mezzo per conoscere e correggere quest'effetto. Tali miscugli di due metalli si chiamano *leghe*, e quando vi prende parte il mercurio *amalgame*. Non si tratta di semplici miscugli fisici, ma di combinazioni chimiche o per lo meno di qualche cosa di simile alle soluzioni, che forma come un passaggio tra le semplici mescolanze fisiche e le combinazioni chimiche. Le leghe presentano spesso proprietà essenzialmente diverse da quelle dei corpi che le compongono: i quali non è facile separare di nuovo, ma sempre molto più facile che in certe combinazioni chimiche, non essendo molto grande l'affinità tra metalli così allegati.

Nella unione di due metalli in una lega si osserva spesso un considerevole sviluppo di calore, e la lega che si forma ha talvolta maggior durezza e densità del più duro e denso dei due metalli componenti, il che indica una forte attrazione chimica. Il punto di fusione di una lega resta però sempre più basso di quello del metallo più fusibile. Il vantaggio pratico delle leghe sta in parte nella maggior durezza, in parte nella maggior facilità alla fusione. Accenniamo qui ad alcune delle più note.

Il *cromo* si combina nei forni elettrici coll'*acciaio* in una lega di straordinaria durezza. Anche il *nichel* forma con l'*acciaio* una lega dura il doppio dell'*acciaio* puro.

Le monete dette di nichel, sono fatte con una lega di

$\frac{1}{4}$ di nichel e $\frac{3}{4}$ di rame; $\frac{1}{4}$ di nichel + $\frac{1}{4}$ di zinco + $\frac{1}{2}$ di rame formano la cosiddetta Argentana.

L'*ottone* è una lega di zinco e rame, che prende vari nomi secondo le proporzioni dei due metalli.

Rame e stagno formano il bronzo, che pure, secondo le diverse proporzioni, può essere da *cannoni* o da *campane*.

Anche l'argento e l'oro delle monete sono allegate col rame. L'oro puro non può avere alcuna pratica applicazione essendo troppo molle, per cui, nelle monete o in oggetti di lusso si deteriorerebbe subito: invece, le sue leghe sono assai resistenti. La finezza dell'oro è indicata in millesimi del peso.

Una parte di piombo con due di stagno formano la lega da saldare, che fonde molto presto (a 196°) e perciò serve molto bene al suo fine.

Dallo stagno e dal ferro si ottiene una lega che serve di base per la lavorazione della latta.

Il piombo coll'antimonio danno la lega per i caratteri di stampa.

Il cosiddetto *metallo di Newton*, consta di cadmio e di bismuto: questo metallo fonde già a 95° , mentre i punti di fusione dei due componenti sono a 320° e 268° . Ancora più basso è il punto di fusione della cosiddetta lega di Lipowitz, che è composta di cadmio, bismuto, piombo e stagno. Tutti questi metalli sono facilmente fusibili ma non al di sotto dei 200° : la loro lega invece fonde a soli 60° , ossia già nell'acqua calda, prestandosi così a molti interessanti esperimenti fisici.

Le leghe di mercurio o *amalgame*, somigliano alle altre leghe, in quanto ne aumenta la durezza poichè il mercurio diventa solido in unione agli altri metalli; il punto di fusione delle amalgame rimane al di sopra di quello del mercurio. Quasi tutti i metalli si amalgamano col mercurio formando composti assai utili per diversi scopi. Alcuni di questi si formano col raffreddamento, altri invece con un forte riscaldamento, come le amalgame di sodio e di potassio. La proprietà del mercurio di sciogliere i granelli di argento o d'oro, anche se mischiati in piccolissime quantità ad altre sostanze, lo rende prezioso per ricavare questi metalli nobili dai minerali poveri: il mercurio si può, dopo, eliminare dall'amalgama per evaporazione. L'amalgama di stagno si usava prima per la fabbricazione degli specchi, ma oggi è stata quasi affatto soppiantata da quella di argento. Altre amalgame servono oggi per l'argentamento o l'indoramento degli oggetti di metallo, col solito procedimento di allontanare poi il mercurio mediante il calore.

k) Ricapitolazione.

Fino ad ora ci siamo occupati in una maniera molto sommaria degli elementi e delle loro proprietà chimiche, ed abbiamo accennato ad una quantità di fatti dei quali a primo sguardo è impossibile scorgere le cause e l'ordine. Gli 80 circa elementi che conosciamo, presentano svariatissime proprietà. Si hanno elementi gassosi, fluidi e solidi: la maggior parte si possono far passare per tutti

e tre gli stati di aggregazione, e degli altri si può supporre, che con una più progredita arte sperimentale si potrebbe far lo stesso. Ma questi passaggi da uno stato all'altro avvengono nelle forme più disparate. Vi sono sostanze che solo a temperature difficilmente ottenibili cambiano il loro stato d'aggregazione, ed in queste il punto di fusione è a gran distanza da quello di ebollizione: altre invece, come l'arsenico, passano direttamente dallo stato solido al gassoso. Si ha un'intera serie di corpi che nelle stesse condizioni fisiche possono mostrarci proprietà diverse, presentandosi nelle loro varie forme allotropiche, come l'ossigeno, il carbonio, lo zolfo e il fosforo. Mentre, in generale, si osservano cambiamenti di proprietà solo quando diversi elementi si combinano tra loro, nel caso di queste forme allotropiche invece vediamo che una data sostanza, in certo modo *si combina con sè stessa*, dando origine apparentemente ad una sostanza nuova.

Tutto ciò è effetto, come già dicemmo, dei diversi aggruppamenti degli atomi. Abbiamo finora considerato questi aggruppamenti, come soggetti ad una certa regolarità, dipendente dalla valenza degli elementi e dal loro combinarsi in determinate quantità espresse dai *pesi atomici*. Ma anche qui si hanno diversi casi, in cui si devia dalla regola comune. Generalmente, il peso naturale, cioè la densità di un corpo, si accorda col peso atomico: ma il rapporto non è, invero, nè semplice, nè regolare e si hanno molte eccezioni. Le varie affinità dei corpi fra loro devono indubbiamente avere la loro ragione nei di-

versi gradi di reciproca attrazione degli atomi nei loro gruppi molecolari: i pesi atomici hanno dunque una parte importante nella affinità chimica, ma anche qui non si riscontra la regolarità supposta. Gli atomi dell'ossigeno e dell'azoto pesano quasi lo stesso. Ma mentre il primo si combina facilmente con quasi tutti i corpi, l'azoto, invece, che è pure un gas, si mostra molto inerte e solo in circostanze speciali si unisce con pochi altri corpi. I pesantissimi metalli del gruppo del platino sono ugualmente inerti, come il gassoso e volatile azoto. L'idrogeno in molti casi è più energico dell'ossigeno e spesso riesce a spostarlo, sebbene il suo atomo sia sedici volte più leggero. Generalmente, i corpi più leggeri sembrano essere i più attivi.

Anche all'infuori di queste, si notano pure una quantità di proprietà strane nei composti chimici. Il carbonio è insolubile e infusibile, ma, appena combinato con l'ossigeno si trasforma subito, a temperature relativamente poco elevate, in un gas, ed allora, combinato con altre sostanze, dà origine a svariati composti attivi, mentre come elemento era assolutamente inerte.

Il più denso e duro di tutti i metalli, combinandosi con l'ossigeno diviene un gas volatile. Un gas straordinariamente velenoso, il cloro, unito a un metallo, il sodio, forma il salubre e utilissimo sale da cucina. Le parti componenti dell'aria possono al contrario riunirsi in un acido violentissimo che tutto attacca e decompone. Così molti e molti altri fenomeni ancora si potrebbero enumerare. In tanta varietà di fenomeni e di manifestazioni

dell'energia, spesso anche nello stesso corpo, si può sempre riconoscere un'uniformità di leggi e una connessione più o meno palese delle varie circostanze colle proprietà fisiche degli elementi. Negli ultimi anni sono stati invero scoperti molti di tali rapporti, che nei seguenti capitoli contiamo di ordinare ed esporre. Ma occorre prima conoscere un poco i composti organici.

3 – Composti organici o del carbonio.

Fin'ora non abbiamo ricordato del carbonio che i composti i quali si presentano anche nel mondo inorganico. Ma quando un albero si eleva dal suolo, col suo semplice tronco per suddividersi poi in numerosissimi rami e foglie e fiori e frutti, abbiamo davanti a noi una tal folla di composti del carbonio, e di tale straordinaria varietà, che tutto il restante campo della chimica non è, neppure lontanamente, paragonabile a questo.

Tutte le complicatissime sostanze che si formano nel regno vegetale, gas, olii, grassi, alcool, succhi dei frutti, zucchero, fecola, materie coloranti, essenze profumate, sostanze velenosissime o salutari, non consistono nella maggior parte dei casi che dei tre elementi, il carbonio, l'idrogeno, l'ossigeno; ossia, in sostanza, sono formate dal carbonio e dall'acqua. Solo in un campo relativamente limitato, principalmente nel regno animale, entra come quarto elemento l'azoto: in altri composti troviamo anche fosforo, zolfo, ferro, ecc., ma sempre con per-

centuali molto piccole rispetto a quelle degli elementi *organogenici*, come si chiamano questi quattro C, H, O, N. In nessun campo di sviluppo delle forze naturali, ci si affaccia come in questo la persuasione, che l'intero mondo dei fenomeni che ci circondano sia fondato su poche e semplici unità e proprietà fondamentali. Il carbonio, l'acqua e l'azoto che dappertutto ci circondano, non hanno, presi isolatamente, quasi alcun'altra proprietà che quella dell'occupazione di spazio, qualità che già abbiamo riconosciuto come la prima e necessariamente preesistente, nella materia. Tuttavia le loro molteplici combinazioni danno origine a tutte le bellezze e le meraviglie che offre il mondo organico.

Qui risulta ben manifesto, che dall'aggruppamento degli atomi dipendono tutte le proprietà che i corpi ci manifestano nei varî fenomeni. Da questo punto di vista, lo studio della complessa costruzione della natura organica e dell'armonia meravigliosa che incatena i suoi svariati prodotti, partendo da quei semplici corpi, acquista una importanza ed un significato tutto speciale che manca alla chimica inorganica.

I composti organici si sogliono dividere in due grandi gruppi: *Corpi grassi* e *Corpi aromatici*; nel primo gruppo peraltro non sono compresi solamente quei corpi che si chiamano grassi nel linguaggio comune. Perciò non possiamo subito fare una divisione dei due gruppi, prima di avere sistematicamente esaminato gli aggruppamenti atomici che in essi si presentano: si sappia pertanto, che qualunque distinzione si faccia, essa è arbitraria,

e vale solo per necessità e per antica abitudine. Del resto, la nuova chimica dà una ragione apparentemente ben chiara e semplice di questa distinzione; cioè, che i cosiddetti *corpi grassi* constano di molecole in cui gli atomi sono ordinati con disposizione *a catena*, mentre quelli dei *corpi aromatici* formano un *anello*. Ciò esamineremo meglio nei seguenti capitoli.

A – Corpi grassi o derivati dal Metano.

a) Gli idrocarburi.

Il capo stipite di tutti questi composti è il cosiddetto *Metano* (CH₄), la cui formola di struttura è

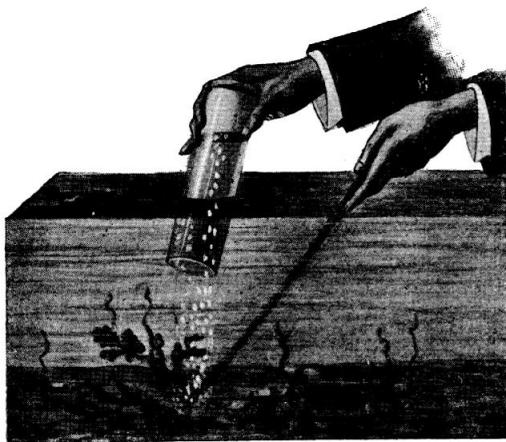


Fig. 403. – Il Metano.

D'ora in avanti dovremo dare anche le formule di struttura, per poter meglio comprendere la costruzione delle molecole dai semplici elementi, in questi composti così complessi e soggetti spesso a quei meravigliosi processi di cristallizzazione

ancora per noi pieni di mistero.

Il metano si chiama anche *gas delle paludi*, perchè si forma nella decomposizione di sostanze vegetali o animali, e perciò si incontra spesso negli stagni e nelle melme, e si stacca di frequente dal fondo in bollicine che salgono alla superficie dell'acqua. Così, si può raccogliere il metano anche direttamente in natura, col metodo mostrato nella fig. 403. Essendo tutte le sostanze organiche, come abbiamo veduto, composte in gran parte di carbonio e idrogeno, si capisce che questa semplicissima combinazione atomica possa formarsi in tale scomposizione. Il metano è un gas inodoro e incolore, che liquefa a -164° , brucia con fiamma non luminosa, e mescolato con aria esplose come il gas detonante.

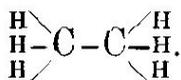
È questo gas che produce le esplosioni di *grisou* nelle miniere di carbon fossile. Nella combustione, una molecola di ossigeno O_2 si unisce con un atomo di carbonio a formare anidride carbonica (CO_2) e due atomi d'idrogeno con uno di ossigeno formano acqua, secondo questa reazione: $CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$. Così questo prodotto della decomposizione di tutti i complessi composti che conosceremo, riporta gli elementi nel regno della natura morta.

Con questi due soli elementi del metano, cioè carbonio e idrogeno, la natura sa formare una grande categoria di sostanze, che hanno qualità e proprietà diversissime: queste prendono il nome di *idrocarburi*. La loro composizione è resa possibile nel seguente modo:

Il metano di per sè è un composto saturo le cui mole-

cole, per sovrapposizione, non danno origine a nessuna nuova sostanza. Ma la Natura per mezzo di C e H forma, in certo modo, due nuovi *pseudo-elementi*, due gruppi simili a quelli già conosciuti nell'ammonio e nel cianogeno.

Il primo di tali pseudoelementi è il gruppo CH₃ monovalente detto *metile*. Il metile si trova in natura, ma solo come composto saturo, ossia con molecole formate da due di questi *gruppi metilici*. Il corpo che ne risulta si chiama etano C₂H₆ o



È un gas di densità doppia del metano, molto più volatile e che brucia con fiamma luminosa.

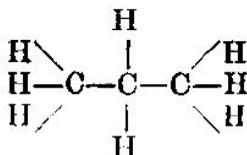
L'altro *pseudoelemento* ha la formula CH₂ con due valenze libere, e si chiama *metilene*. La molecola formata da due di questi gruppi metilenici è analoga all'etano già descritto, ha la formula C₂H₄ e forma il composto detto *etilene*. Questa sostanza è pure gassosa, meno densa dell'etano, brucia con fiamma luminosa e si liquefà a - 103°.

Il terzo pseudoelemento sarebbe CH, cioè un gruppo trivalente che forma la molecola H-C≡C-H, cioè C₂H₂. È questo un gas, l'*acetilene*, divenuto notissimo per la sua bella luce. Abbiamo già parlato della sua formazione mediante il carburo di calcio in reazione coll'acqua.

Da questi tre pseudoelementi hanno origine una numerosissima serie di composti che si designano come

derivati del metano, derivati dell'etilene, derivati dell'acetilene.

Il primo membro della serie del metano è l'*etano* C_2H_6 , che già abbiamo conosciuto. L'altro composto più vicino di questa serie si forma aggiungendo il gruppo CH_2 ai due gruppi CH_3 di cui è composta la molecola dell'etano. La formula ne sarà dunque $CH_3CH_2CH_3$ e quella di struttura



ossia C_3H_8 . Questo terzo composto si chiama *propano* ed è pure un gas infiammabile. Se a quest'ultimo nuovamente aggiungiamo CH_2 abbiamo il *butano* C_4H_{10} la cui formula di struttura può più semplicemente indicarsi con $CH_3 CH_2 CH_2 CH_3$.

Anche il butano è pure infiammabile, ma liquefà a temperatura già vicina allo zero. Nella stessa maniera si può continuare la serie aggiungendo sempre CH_2 , mentre ai due lati della catena rimangono costantemente i due gruppi CH_3 .

In conclusione, volendo indicare il numero di atomi di C e di H che entrano in questi composti, possiamo per l'intera serie dare la formula generale C_nH_{2n+2} nella quale n rappresenta la cifra che continuamente progredisce.

Tutti questi composti sono completamente saturi; prendono i nomi di pentano, esano, eptano, ecc., secon-

do il numero di atomi di C che contengono. Con questo solo tipo di combinazione, la natura ha creato dunque una serie di composti che, per quanto a noi consta, è estesissima: ad essa appartiene anche la ben nota *paraffina*, e perciò si chiama anche la *serie della paraffina*. Questa risulta composta dall'unione di diversi idrocarburi puri, e la sua formula totale corrisponderebbe a $C_{20}H_{42}$. Quanti più gruppi CH_2 prendono parte nei composti di questa serie, tanto più elevato è il loro punto di ebollizione: la paraffina ad esempio bolle fra 360° e 370° : a temperatura normale è dunque un corpo solido e serve per farne candele da illuminazione. Si estrae dal carbon fossile e dalla torba, e ha preso il suo nome dalla poca affinità che ha con la maggior parte dei corpi, a contatto dei quali rimane indifferente, mentre però coll'ossigeno, come tutti gli altri idrocarburi, brucia formando CO_2 e H_2O .

A questo punto è necessario fare un'importante considerazione prima di passare alle altre serie di idrocarburi. Due gruppi metilenici $-(CH_2)-(CH_2)-$ corrispondono a C_2H_4 ; ma questo può anche risultare da $-CH-CH_3$ che è come quello precedente bivalente. Per cui si può sostituire in una formula quest'ultimo gruppo al primo. Così per esempio nella formula del butano invece di $(CH_3)-(CH_2)_2-CH_3$, si può scrivere $(CH)\equiv(CH_3)_3$. In conclusione si hanno *due butani*, i quali hanno una composizione *quantitativamente affatto uguale* per i due elementi che li compongono, ma tuttavia *differenti* tra loro, se è vero che la diversa

disposizione degli atomi nelle molecole porta come effetto proprietà differenti.

E così è realmente. I due butani esistono entrambi, hanno densità differente, bollono a temperature diverse, cioè quello corrispondente alla prima formula a $+1^\circ$ ed il secondo a -17° . Con questa ipotesi non possono aver-si più di due butani, e ciò appunto si verifica. Noi chiamiamo questo fenomeno di stati analoghi dei corpi *isomeria*, e ben si comprende quanta importanza esso acquisti per le teorie della Chimica.

Noi siamo in grado di calcolare quante isomerie può avere un dato composto organico. Per esempio, per la formula C_6H_{14} si prevedono come possibili, cinque costruzioni differenti, ed infatti si presentano in natura cinque diverse sostanze, corrispondenti a questa medesima formula generale, le quali differiscono tra loro, specialmente per il punto di ebollizione. Per la formula C_8H_{18} sono possibili 18 *isomeri*, ma non tutti sono conosciuti.

Dei rapporti tra proprietà fisiche e chimiche, diremo più avanti; ma vogliamo ora notare, che il punto di ebollizione di questi composti è tanto più basso quanto maggiore è il numero dei gruppi fissati da un solo nucleo, secondo la sua valenza.

Passiamo alla *serie dell'etilene*, la cui formula può scriversi $CH_2=CH_2$ e si può considerare come la parte centrale del Butano normale, cioè $CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$.

In questa serie si può rammentare l'*etanetilene*, che può considerarsi formato dalla combinazione dell'etano coll'etilene. Questi composti *non saturi* possono facil-

mente volgere all'esterno la seconda valenza $-(\text{CH}_2)-$ $(\text{CH}_2)-$ e così collegarsi con altre sostanze monovalenti, con cui vengano a contatto. In maggior misura ciò avviene per quei corpi che devono unirsi con tre valenze, come $(\text{CH})\equiv(\text{CH})$, il che spiega la loro instabilità. L'etilene, è poco stabile e si unisce facilmente con altri corpi. I termini più elevati della sua serie si formano sempre per successive addizioni di un gruppo CH_2 . Il termine più vicino della serie è il *propilene* (C_3H_6), il seguente il *butilene* (C_4H_8), poi l'*amilene*, l'*exilene*, ecc. La formula generale della serie è C_nH_{2n} . Uno dei membri più elevati di questa serie è ($\text{C}_{27}\text{H}_{54}$) che è contenuto nella cera.

La prossima serie è quella dell'*acetilene*. La formula del suo primo termine cioè dell'acetilene, è C_2H_2 , o $(\text{CH})\equiv(\text{CH})$. Qui dunque si saturano reciprocamente tre valenze, perciò questa sostanza passa facilmente ad altri composti, cosicchè l'acetilene per la sua instabilità può talvolta essere pericoloso. Noi lo conosciamo come un gas che brucia con fiamma luminosissima, avendo un maggior contenuto, rispetto agli altri gas combustibili, di carbonio, il quale, come sappiamo, è la causa dell'intensità luminosa purchè sia possibile la sua completa combustione, dopo essere diventato incandescente nella fiamma. La formula generale di questa serie è $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$. Il secondo termine della serie è l'*allilene* (C_3H_4) la cui formula di struttura può scriversi $(\text{CH})\equiv\text{C}-(\text{CH}_3)$. Gli altri membri della serie si chiamano Crotonilene, Valerilene, Exoilene, ecc.

Nella stessa maniera si succedono progressivamente altre serie. Si ha, per esempio, una serie *diacetenica* C_nH_{2n-6} della quale il primo termine corrispondente ad $n=6$, ha la formula C_6H_6 , e si chiama *dipropargile*, la cui struttura si scrive $(CH)\equiv C-(CH_2)-(CH_2)-C\equiv(CH)$. Si hanno qui due collegamenti triplici, per cui questo composto, nel quale carbonio e idrogeno si trovano in parti uguali, deve essere straordinariamente instabile. Con questo composto C_6H_6 siamo giunti al limite estremo degli idrocarburi della serie grassa. *Uguale composizione ha il Benzolo* (o benzina o benzene) *che costituisce la base dei composti aromatici, come il metano dei corpi grassi.*

Le due grandi divisioni dei composti organici si accostano, quindi, l'una all'altra fino a confondersi, ed il loro punto di divisione è fissato soltanto a scopo pratico ed arbitrariamente. Non ci stancheremo mai di ripetere, che le divisioni dei fenomeni naturali sono in sè artificiali.

Gli idrocarburi della serie grassa, dei quali ci siamo fin qui occupati, formano già un notevolissimo numero di composti, sebbene non contengano che due elementi. La natura sembra inesauribile in queste combinazioni.

La maggior parte degli idrocarburi ricordati si possono ricavare del carbon fossile. Il gas che sfugge dai pozzi d'estrazione del petrolio è una miscela di idrocarburi, che sono i termini inferiori delle serie nominate, e perciò, avendo un punto di ebollizione molto basso, sono gassosi alla temperatura ordinaria. Questi gas si svilup-

pano spesso in quantità enormi, specialmente nelle cave di petrolio del Nord-America, tanto che la città di Pittsburg è illuminata dal gas naturale emanato dalla terra, che serve anche ad officine di ferro. Del metano, che si svolge dal carbon fossile e produce talvolta nelle miniere le terribili esplosioni, già abbiamo parlato. Qualche volta questi gas affiorando alla superficie del suolo, si infiammano spontaneamente formando gigantesche colonne di fuoco che si vedono a grande distanza, e per il calore che emanano fanno nascere intorno una rigogliosa vegetazione simile a quella tropicale. A Baku, ai piedi del Caucaso, dove si trovano ricchissime regioni petrolifere, si conoscono fino da tempi remoti questi fuochi perpetui, che un tempo si adoravano come sacri. Intorno ad essi si costruirono dei templi, dalle cui cupole costantemente salivano fiamme al cielo.

Come tutti questi gas terrestri, anche gli olî minerali, il petrolio, la nafta, ecc., sono formati da una miscela di diversi idrocarburi saturi; da quelli superiori che alla temperatura ordinaria son liquidi, fino alla paraffina, che nella distillazione, finalmente rimane come massa solida. Non si può, dunque, per il petrolio dare alcuna determinata formula chimica; ma solo dire che è formato da idrocarburi della serie del metano e dell'etilene; per solito, negli strati più profondi, appartenenti ad un periodo più antico nello sviluppo terrestre, si trovano idrocarburi inferiori, mentre negli strati posteriori più recenti, si trovano i più elevati delle serie o appartenenti a serie più elevate. I petrolî greggi americani, che provengono da

strati molto profondi, contengono solo idrocarburi della serie del metano; cioè, dall'etano, che è il primo vero rappresentante di questa serie, fino all'ottano. I petroli del Caucaso, invece, provenienti da strati del periodo terziario, appartengono esclusivamente alla serie dell'etilene, fino alla paraffina. Gli strati petroliferi di Baku, si trovano a 40-50 m., sotto al livello del terreno, in una zona assai limitata, ma che contiene sorprendente quantità di petrolio. Il liquido è estratto per mezzo di pozzi, e di trombe potentissime tali da produrre una pressione di 12 atmosfere e da sollevare il petrolio in fontane alte 40 metri (fig. 404). Ma questo petrolio naturale contiene una quantità relativamente piccola di petrolio utilizzabile, di fronte a quello proveniente dalla Pensilvania.

Il petrolio, per bruciare bene senza pericolo di esplosione, deve contenere solo alcuni idrocarburi di una data serie, senza oltrepassare certi limiti; perchè gli idrocarburi inferiori e leggeri sono troppo volatili e possono, mescolandosi con l'aria, produrre esplosioni violente; mentre gli idrocarburi solidi che non diventano gassosi al calore sviluppato dalla fiamma, restano, per l'illuminazione,

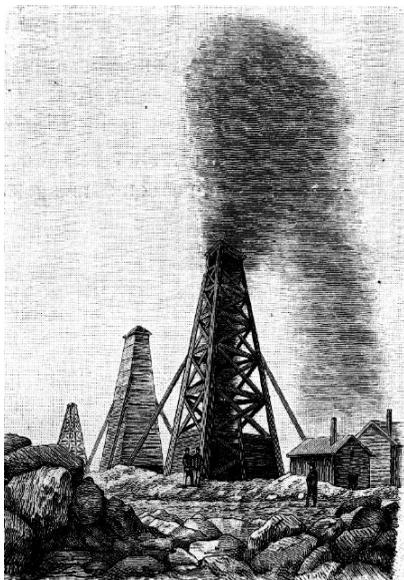


Fig. 404 – Pozzo di petrolio a Baku.

inutilizzabili. Per questa ragione, il petrolio greggio si assoggetta ad una accurata distillazione per raffinarlo. Il procedimento consiste nel far evaporare successivamente i varî idrocarburi, andando dai più bassi ai più alti, e poi nel condensare quelli utili, per separare gli idrocarburi solidi, come la paraffina. Per mezzo di questa *distillazione frazionata*, si possono ottenere separatamente i diversi derivati, e distinguere così gli olî pesanti da quelli leggeri.

Ma gli idrocarburi più elevati della serie, quelli liquidi e solidi, non sono contenuti soltanto nel petrolio, bensì anche nell'*asfalto* e nel bitume, dai quali si può ottenere direttamente la paraffina, oppure un'altra sostanza molto simile alla cera d'api.

Il petrolio si ricava anche dal carbon fossile, in cui talvolta si trova anche allo stato liquido. Ma i veri campi petroliferi non hanno alcuna nota relazione cogli strati di carbon fossile, tanto che per questi due prodotti naturali si è dovuto supporre origine diversa. Il carbon fossile, la lignite e la torba si sa bene che sono vegetali più o meno carbonizzati; e contenendo idrocarburi, non c'è da meravigliarsi se si trova del petrolio anche nel catrame di carbon fossile. Ma, per esempio, nel Caucaso, quantità straordinarie di petrolio provengono da strati terrestri che non contengono avanzi vegetali, tranne alcune isolate pietrificazioni; anche nei dintorni, per un raggio molto esteso, non s'incontrano giacimenti di carbon fossile. Si può supporre che il petrolio formi delle vene liquide che corrono a lungo nel sottosuolo, come fa l'acqua, e

che non sia perciò molto facile scoprirne la vera origine. Ma tutte le circostanze concorrono a far credere che il petrolio sia un *prodotto di decomposizione di sostanze animali*, le quali contengono pure idrocarburi in quantità. Oggigiorno si osserva la formazione di petrolio al Mar Morto, dove esso si forma sull'acqua per la decomposizione di diversi organismi.

È poi significativo il fatto che il petrolio è quasi sempre accompagnato, o è in vicinanza, di giacimenti di salgemma; il che sarebbe in appoggio della teoria, ch'esso provenga dalla decomposizione di pesci o animali marini.

Il più noto dei prodotti del carbon fossile è il *gas illuminante*, che è pure un miscuglio di idrocarburi gassosi, e, per lo più, per quasi per la metà (45%), di idrogeno libero: 35% sono di metano. Questi due gas però non darebbero una fiamma luminosa contenendo troppo poco carbonio; basta invece il 5% di idrocarburi delle serie dell'etilene e dell'acetilene per renderlo luminoso. Il rimanente, ossia circa il 15%, è composto di materie estranee ed inutili alla illuminazione, e sono l'ossido di carbonio, l'azoto, e l'anidride carbonica, dei quali solo il primo è ancora infiammabile.

Vogliamo dare un cenno sulla fabbricazione del gas illuminante. Il carbone fossile adoprato in questa fabbricazione ha un maggiore o minore contenuto in gas infiammabili, secondo la sua origine, come i petrolî si distinguono per la varietà degli idrocarburi che contengono. La miglior materia greggia, astraendo da altre pro-

prietà esterne relative alla lavorazione, è quella che contiene maggior quantità di derivati della serie dell'acetilene, i quali per il loro abbondante contenuto di carbonio danno alla fiamma la maggior luminosità.

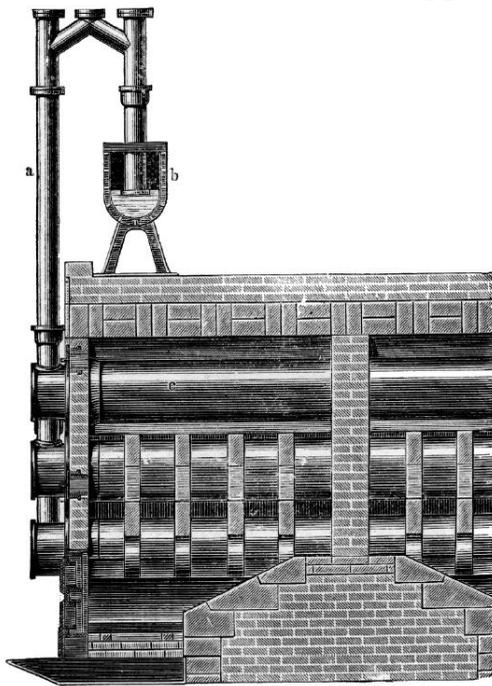


Fig. 405.

Distillazione del carbone fossile. Mentre il carbone detto *Coke* rimane nella storta i gas sfuggono per il tubo; ma in questo stato non sono ancora utilizzabili, contenendo oltre alle sostanze surricordate, un gran numero di composti che nel loro assieme formano il catrame, inoltre, idrogeno solforato, ammoniaca, vapor d'acqua. Questi corpi nella combustione sarebbero nocivi e devono essere eliminati. Acqua e catrame rimangono nel re-

Il carbone inglese di Newcastle, per esempio, contiene il 10% di questi derivati, mentre quello tedesco non ne ha che il 5%. I prodotti gassosi del carbonio vengono innanzi tutto estratti per distillazione secca, portando il carbone spezzato nei forni e storte (Fig. 405), e sottoponendolo, fuori dell'aria, ad un forte riscaldamento fin quasi al calor bianco.

recipiente *b* nel quale passano da prima i gas uscenti dalle storte. Da questo poi, il gas passa nel cosiddetto *condensatore*, ch'è un sistema di tubi in cui il gas si raffredda e cede gli ultimi resti di catrame e di ammoniaca, la quale è assorbita dall'acqua che si trova in basso nel recipiente di raffreddamento. Quindi il gas viene mandato nella *torre di lavaggio* (Fig. 406) penetrando dal basso per l'apertura *a*. Questa torre è ripiena di carbon coke, che è continuamente irrorato con acqua per mezzo dell'apparecchio *c*. Con questa operazione si eliminano l'ultima ammoniaca e le altre impurità. Ma il gas, uscendo dal tubo *b*, contiene ancora dell'idrogeno solforato, che deve essere con ogni cura eliminato, poichè bruciando forma anidride solforosa che è dannosissima. Ciò si compie nelle *camere di purificazione* disposte in serie, una dietro all'altra, che, nei varî scompartimenti, contengono materie che assorbono l'idrogeno solforato. Così il gas traversandole si spoglia di questo composto dannoso, che si trasforma per lo più in *solfuro di ferro*.

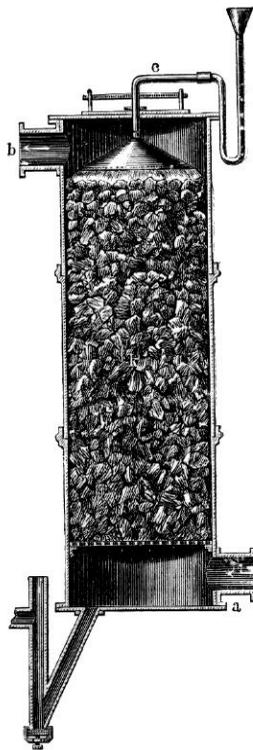


Fig. 406. – Torre adibita alla purificazione del gas illuminante.

Dopo questa purificazione, il gas illuminante passa finalmente nel gazometro (Fig. 407), che è una grande

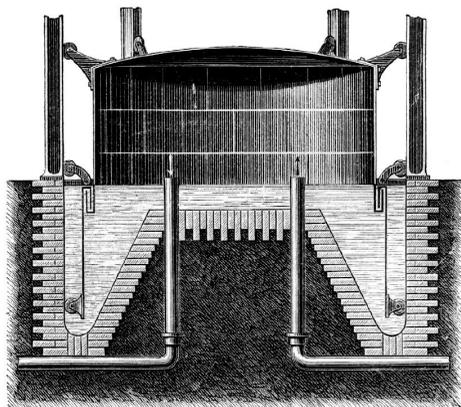


Fig. 407. – Gasometro a campana.

nei tubi di conduzione. Come prodotti secondarî nella fabbricazione del gas, abbiamo dunque: il *carbone Coke*, ottimo per la combustione; il *catrame*, prima considerato come materia inutile e da cui oggi si ricavano invece una quantità di utilissime sostanze; e finalmente l'*ammoniaca*.

campana di ferro, rovesciata ed immersa inferiormente nell'acqua, in modo che si solleva sul livello di questa più o meno secondo la pressione del gas che contiene. Dal gazometro poi il gas passa, con una determinata pressione,

b) Gli alcool.

Siamo ora giunti ad una nuova grande serie di interessanti composti, che si formano aggiungendo un atomo d'ossigeno ai vari idrocarburi. Così dal *metano* (CH_4) si ha lo *spirito di legno* (CH_4O), e dall'*etano* (C_2H_6), l'alcool etilico ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$), conosciuto da tutti col nome di spirito di vino o semplicemente di spirito. La formula di struttura dello spirito di legno o alcool *metilico* si deve scrivere $(\text{CH}_3)\text{—O—H}$.

Il gruppo —OH , che abbiamo già chiamato *idrossile*, come pseudo-elemento monovalente, è caratteristico di

tutti gli alcool. La formula dello spirito di vino, o alcool etilico, si deve scrivere $(\text{CH}_3)-(\text{CH}_2)_2-\text{OH}$; e così, secondo la norma data, si possono teoricamente costruire altrettanti alcool quanti idrocarburi conosciamo. Ne riportiamo qui alcuni, colle loro formule di struttura.

		Punto d'ebollizione
Alcool metilico	$\text{CH}_4\text{O} = (\text{CH}_3)-\text{OH}$	66°
Alcool etilico	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O} = (\text{CH}_3)-(\text{CH}_2)-\text{OH}$	78°
Alcool propilico	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O} = (\text{CH}_3)-(\text{CH}_2)_2-\text{OH}$	97°
Alcool amilico	$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O} = (\text{CH}_3)-(\text{CH}_2)_4-$ OH	132°
Alcool eptilico	$\text{C}_7\text{H}_{16}\text{O} = (\text{CH}_3)-(\text{CH}_2)_6-$ OH	175°
Alcool cetilico	$\text{C}_{16}\text{H}_{34}\text{O} = (\text{CH}_3)-(\text{CH}_2)_{15}-$ OH	344°

Anche in questi alcool il punto di ebollizione è tanto più alto quanto maggior è il numero dei gruppi (CH_2) che vi prendono parte: i composti divengono perciò sempre più resistenti e inerti.

Nella formula di struttura degli alcool è caratteristico il gruppo CH_2-OH , che si chiama appunto *gruppo alcoolico*. Col raddoppiare o triplicare questo gruppo si ottengono nuovi alcool bivalenti o trivalenti, ai quali appartiene anche la *glicerina* ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$), la cui formula di struttura è $(\text{CH}_2-\text{OH})-(\text{CH}-\text{OH})-(\text{CH}_2-\text{OH})$.

Le proprietà dell'alcool etilico, o spirito di vino, il

rappresentante principale del gruppo degli alcool, sono generalmente conosciute. Dal lato chimico notiamo che lo spirito si combina coll'acqua come gli acidi inorganici. L'alcool non è assolutamente privo d'acqua; anche il cosiddetto *alcool assoluto*, contiene sempre un poco d'acqua combinata, che non si può allontanare colla distillazione. Una sua importante proprietà è quella di sciogliere un gran numero di sostanze insolubili nell'acqua, per cui serve alla composizione di *tinture*.

La *glicerina*, è un liquido denso, grasso-oleoso, chiaro come l'acqua, che non brucia. Quando è pura si congela a 0° come l'acqua; ma allungata con acqua abbassa il suo punto di congelamento fino a - 30°. Anche il punto di ebollizione, che nella glicerina pura è a 290°, si abbassa notevolmente quando è mista con acqua, tanto che appena l'acqua comincia a bollire passa subito anch'essa allo stato gassoso. Si usa in farmacia e in moltissime industrie. Della sua formazione, come di quella degli alcool stessi, diremo più avanti.

Nelle sostanze organiche entra talvolta anche l'azoto. Dobbiamo appunto ora occuparci di uno di questi composti, di quel noto e violento esplosivo che si chiama *nitroglicerina*, o anche, in una certa forma, *dinamite*, che ha la formula $C_3H_5(NO_3)_3$. Ciascuno dei tre idrossili della glicerina è dunque in questo composto sostituito dal gruppo nitrico NO_3 .

Agli atomi dell'azoto, così inerte, sono qui uniti tanti atomi di ossigeno quanti ne può fissare la valenza dell'azoto; per cui si comprende, che la minima causa basta

a dissociarli. Ciò può avvenire senza l'intervento di una nuova sostanza, poichè è sufficiente un cambiamento nella disposizione dei gruppi atomici, per trasformare il corpo solido in gas, ossia in anidride carbonica, vapor d'acqua e azoto libero. Questa trasformazione avviene istantaneamente, e il volume del corpo solido diviene così ad un tratto oltre 1000 volte maggiore, il che spiega la sua terribile forza esplosiva.

c) Acidi.

Se ai radicali studiati fin qui, si aggiungono, secondo il numero degli atomi di carbonio che contengono, *uno o più atomi di ossigeno*, si formano i cosiddetti *acidi organici*, i quali pure sono ordinati in serie. Anche questi, come gli alcool, hanno il loro gruppo caratteristico COOH, ovvero $-\overset{\text{O}}{\underset{\text{OH}}{\text{C}}}$, detto *carbossile*, che è, come si vede, monovalente. Da questo derivano i seguenti acidi semplici:

Acido formico	$\text{C H}_2 \text{O}_2$	ossia	$\text{H} - \text{COOH}$
Acido acetico	$\text{C}_2 \text{H}_4 \text{O}_2$	»	$\text{H} - \text{CH}_2 - \text{CO OH}$
Acido propionico	$\text{C}_3 \text{H}_6 \text{O}_2$	»	$\text{H} - (\text{CH}_2)_2 - \text{CO OH}$
Acido butirrico	$\text{C}_4 \text{H}_8 \text{O}_2$	»	$\text{H} - (\text{CH}_2)_3 - \text{CO OH}$
Acido valerianico	$\text{C}_5 \text{H}_{10} \text{O}_2$	»	$\text{H} - (\text{CH}_2)_4 - \text{CO OH}$
ecc. ecc.			
Acido palmitico	$\text{C}_{16} \text{H}_{32} \text{O}_2$	»	$\text{H} - (\text{CH}_2)_{15} - \text{CO OH}$
Acido stearico	$\text{C}_{18} \text{H}_{36} \text{O}_2$	»	$\text{H} - (\text{CH}_2)_{17} - \text{CO OH}$
ecc. ecc.			



Flora del periodo carbonifero.

I. Felce (*Odontopteris*). – 2. Palma (*Lepidodendron*). – 3. *Cordaites borassifolia*. – 4. *Pecopteris cyathea*. – 5. Calamiti. – 6. *Sigillaria*. – 7. Rizoma di *Sigillaria* nell'acqua. – 8. Foglie stellate di *Annularia*.

Anche in questi composti osserviamo lo stesso principio di costruzione che nei corpi precedentemente esaminati; si tratta sempre di un gruppo costante a cui vengono successivamente aggiunti sempre più gruppi CH_2 . Vi sono poi acidi con più carbossili, come l'*acido ossalico* $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ o $(\text{COOH})_2$; l'*acido succinico* $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4$ o $(\text{CH}_2)_2 - (\text{COOH})_2$; l'*acido malico* $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5$ e l'*acido tartarico* $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$.

La vera acidità nel senso chimico è in un composto tanto più forte quanti più atomi di ossigeno esso contiene rispetto agli altri atomi. L'*acido* più forte, in questo senso, è dunque quello *formico*, che si trova nelle formiche, e forma nell'*ortica* quel succo irritante a tutti noto. Si trova anche combinato con altre sostanze nel regno animale e vegetale, per esempio, nel sudore. Allo stato puro è un liquido sottile, molto acido, che manda vapori, e che si congela e bolle quasi alla stessa temperatura dell'*acqua*. Mescolato coll'*alcool* si usa in medicina. Si combina coi metalli, come gli acidi inorganici, e forma dei *sali* detti *formiati*.

Più conosciuto è l'*acido acetico*, il quale, diluito in *acqua* insieme con altre sostanze, forma l'*aceto*. Anch'esso, insieme con altri acidi organici si trova nel sudore. Cristallizza sotto 0° , ma per ridisciogliersi richiede poi circa $+17^\circ$: si chiama perciò anche *aceto glaciale*.

L'*acido butirrico*, ha questo nome perchè si trova nel burro rancido.

L'*acido valerianico* si trova nelle radici della *Valeriana*: gli acidi *palmitico* e *stearico*, nei grassi naturali.

mano *asimmetrici*. Della connessione di questo fatto, colle proprietà ottiche di polarizzazione, abbiamo già parlato nel cap. 7.

Ma vi è un'altra osservazione da fare, ancora più sorprendente. Coll'acido tartarico si può formare un sale che cristallizza nelle forme disegnate nella Fig. 408. I due cristalli sono perfettamente uguali; solamente hanno entrambi una smussatura che li

rende l'uno l'immagine speculare dell'altro. Come è noto, le immagini speculari non si possono in alcun modo portare a combaciare tra loro. Se si fanno due so-

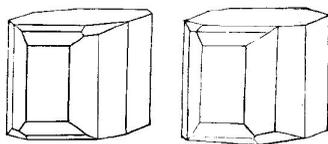


Fig. 408. – Acido tartarico. Cristalli asimmetrici.

luzioni separate, di cristalli delle due qualità, l'una è destrogira, l'altra levogira. Da questo si comprende quale intima e profonda connessione debba esservi tra quelle appariscenti forme cristalline e l'invisibile misterioso tessuto atomico, che solo l'occhio indagatore dello spirito può intravedere e che regola e determina le proprietà fisiche dei corpi. La natura ci dà, specialmente in questo caso dell'acido tartarico, una chiara prova dell'influenza che l'asimmetria nella costruzione delle molecole, ha sulle qualità fisiche dei corpi.

Un composto dell'acido tartarico è il *cremor di tartarico*, che si forma nelle pareti dei recipienti da vino; esso si genera per la sostituzione di un atomo di potassio ad uno di idrogeno dell'acido tartarico, e la sua formula è $C_4H_5O_6K$.

Proprietà ottiche simili all'acido tartarico presenta anche l'*acido lattico*.

L'*acido citrico* è solido a temperatura ordinaria ed ha gradevole sapore acido. Si estrae dagli aranci, dai limoni e da altri frutti, che anche maturi non hanno mai succo dolce, ma si mantengono un po' aspri, come in generale gli agrumi ed alcune bacche. In questo acido sono riuniti tre carbossili.

L'*acido oleico* contenuto nell'olio d'oliva, sopra 18 atomi di carbonio ne ha soltanto 2 di ossigeno, con doppio collegamento. Eliminando questi e sostituendovi atomi di idrogeno, si avrebbe un corpo solido simile alla stearina. L'acido oleico si congela difficilmente, ma non torna allo stato liquido che a 14°. Appartiene agli acidi non saturi, perchè in esso un atomo di carbonio deve essere doppiamente legato; perciò facilmente passa ad altri composti.

Si ha inoltre, una intera serie di acidi oleici, che trovano svariate applicazioni: così l'acido *linoleico*, che ha due atomi di idrogeno di meno del vero acido oleico, ed è dunque $C_{18}H_{32}O_2$; l'acido *ricinico* che ha un atomo di ossigeno di più, e corrisponde alla formula $C_{18}H_{34}O_3$.

d) Eteri e grassi.

Si chiamano *eteri* certi isomeri degli alcool, che non contengono il gruppo idrossilico. Così per contrapposto all'alcool etilico $C_2H_6O = (CH_3)-(CH_2)-OH$ abbiamo l'etere metilico $C_2H_6O = (CH_2)-O-(CH_3)$; all'alcool bu-

tilico $C_4H_{10}O = (CH_3)-(CH_2)_3-OH$, corrisponde l'etere etilico (il comune etere) $C_4H_{10}O = (CH_3)-(CH_2)-O-(CH_2)-(CH_3)$; e così per gli altri alcool. La caratteristica di questi eteri semplici è *l'atomo di ossigeno* isolato che sta nel mezzo ai gruppi atomici.

L'etere etilico è un liquido leggiero, volatile, infiammabilissimo e pericoloso, perchè bolle già a 35° . Anche qui si dimostra la grande influenza che l'aggruppamento degli atomi ha sulle proprietà fisiche: l'alcool butilico, che ha stessa formula complessiva bolle solo a 116° .

Quest'atomo di ossigeno che si trova solo nella formula degli eteri, mentre in quello degli alcool è legato con un atomo d'idrogeno, significa la poca stabilità degli eteri.

L'etere etilico bolle già alla temperatura ordinaria, e produce perciò un forte raffreddamento, per cui si adopra nei miscugli refrigeranti, ed anche come *anestetico*, poichè i suoi vapori inebriano più presto ancora di quelli dell'alcool e fanno perdere la coscienza.

Facendo agire sopra un alcool, un acido sia minerale sia organico, il residuo acido si combina col radicale alcoolico, e se ne forma un etere composto con una o più molecole d'acqua. Questi eteri corrispondono dunque ai sali degli acidi minerali. Abbiamo veduto che in ogni alcool si trova il gruppo idrossilico OH, ed in ogni acido organico il carbossile COOH. La reazione avviene così, che al posto dell'idrogeno in ogni gruppo carbossilico, subentra l'alcool senza il suo idrossile, mentre questo, unendosi all'H staccatosi dall'altro gruppo, forma una

molecola d'acqua. Così dunque: acido acetico + alcool butilico = acqua + etere etilacetico.

In questo modo si può, associando le varie qualità degli alcool e degli acidi, dare origine a molti composti che hanno proprietà interessantissime ed esercitano una parte molto importante in natura. Per esempio, tutte le essenze profumate dei frutti sono eteri composti.

Così vediamo che anche queste essenze destinate a eccitare i nostri sensi del palato e dell'olfatto nella maniera più squisita, non sono altro che composti di quei tre elementi contenuti nell'acqua e nel carbonio. Sembrerebbe quasi incredibile che tutti questi svariati composti, che distinguiamo bene al loro profumo, debbano esser formati da quei pochi elementi senza odore nè sapore. Ma una riprova che questo fatto sorprendente è però vero, ce la dà il chimico, il quale è riuscito a ricomporre alcune di quelle essenze coi loro primitivi elementi costitutivi.

Anche gli *alcool polivalenti* formano eteri composti, tra i quali acquistano particolare importanza quelli di glicerina, poichè danno origine ad *oli grassi* (non aromatici) ed a *grassi naturali*. La formula della glicerina, come abbiamo visto è $C_3H_5(OH)_3$; devono qui dunque subentrare al posto dei tre idrossili, tre residui acidi, e tre molecole d'acqua devono liberarsi.

Combinando per esempio, la glicerina coll'acido butirrico, si forma il composto $C_3H_5(OC_4H_7O)_3 + 3(H_2O)$; in questo composto ritroviamo la glicerina senza i tre atomi di idrogeno nei loro idrossili, e tre volte il residuo

dell'acido butirrico C_3H_7CO , in cui i tre idrossili staccatisi dal primo gruppo si uniscono coi tre H della glicerina. La formula complessiva di questo composto è dunque $C_{15}H_{26}O_6$, e si chiama *butirrina*. Il comune burro consta essenzialmente di butirrina, ma contiene poi anche *gliceridi* più elevati.

Tutti gli altri grassi e oli grassi si formano nello stesso modo, ed appartengono dunque alla serie $C_nH_{2n} - 4O_6$.

Se si lascia il burro esposto all'aria, dopo un certo tempo diviene *rancido*. In questo caso il composto riprende dall'aria l'acqua che si era liberata nel precedente processo, e i due primitivi componenti, la glicerina e l'acido butirrico si dividono: quest'ultimo dà il sapore rancido.

È chiaro che da un miscuglio di diversi gliceridi, come si trovano nei grassi naturali, si possono scegliere quei composti che si vogliono; nello stesso modo che da un miscuglio di vari idrocarburi, come il petrolio greggio, si scelgono quelli per noi più utili. Si capisce quindi che si possa dal grasso di bue ottenere, con un adatto trattamento un burro artificiale, *la margarina*, che si adopra come commestibile. Lavorando questo burro con molta cura, anche chimicamente non si distingue dal burro naturale. Per poterli facilmente distinguere fu stabilito per legge, che al burro artificiale del commercio fosse aggiunto un certo olio (l'olio di sesamo), che non altera il sapore del burro, ma è facilmente riconoscibile all'analisi chimica.

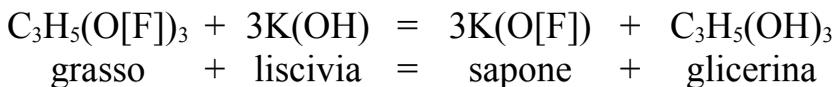
I grassi sono, come è noto, affatto insolubili nell'acqua, ma possono rimanervi sospesi in piccolissime sferette, specialmente se si rende l'acqua viscosa aggiungendovi albumina o gelatina. Si formano così le emulsioni, un esempio delle quali ce lo offre il *latte*, che è un'emulsione naturale butirrica, la cui parte albuminosa fornisce il *formaggio*.

Si hanno olî *liquidi*, *pastosi*, e *solidi*. Quelli liquidi sono i veri e propri olî: *olio d'oliva*, di *lino*, di *noce*, di *rapa*, di *papavero*. Gli olî o grassi pastosi fanno parte del corpo dei *mammiferi carnivori* e degli *uccelli*. I grassi solidi, come il midollo di bue, ecc., si trovano negli *erbivori*.

Anche la *stearina* appartiene a questa serie, e così si deve porre tra i corpi grassi la *cera*, sebbene essa sia un etere più elevato della glicerina.

Dalla combinazione di acidi grassi con sodio o potassio si formano i *saponi*. Essendo i grassi naturali, composti dei diversi acidi grassi (tutti gli acidi organici fin qui nominati sono acidi grassi) colla glicerina, si può scrivere una *formula complessiva per i grassi naturali*. Indicando il radicale dell'acido grasso col segno speciale F, che corrisponde a $C_nH_{2n-1}O$, i grassi naturali hanno per formula generale $C_3H_5(O[F])_3$.

Facendo agire con essi l'idrato potassico, la comune *liscivia* $K(OH)$, il potassio, avendo maggiore affinità coll'acido, lo fissa abbandonando l'idrossile che si unisce al residuo del grasso, per formare nuovamente glicerina. La reazione avviene così:



Il sapone così composto rimane misto alla glicerina e perciò è molle e pastoso: si trova in commercio col nome di sapone tenero, ed ha colore per lo più scuro, e odore cattivo in causa dei grassi da poco prezzo (anche grasso di balena) che si adoprano nella sua fabbricazione. Spesso gli si dà un colore artificiale, giallo o verde.

Se invece di liscivia potassica si usa liscivia sodica, si ottiene un prodotto insolubile nell'acqua che si può separare dalla mescolanza e che serve alla fabbricazione del sapone per gli usi domestici; la glicerina rimane nel residuo. Altri diversi grassi o olii forniscono i *saponi duri*. I saponi di piombo danno la pasta per gli impiastri o cerotti.

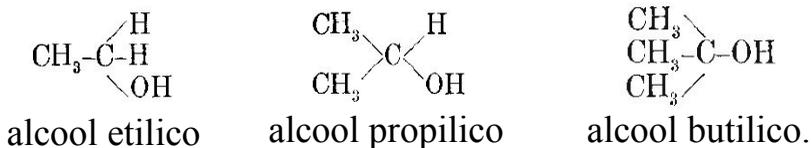
Si può infine ricordare che la *nitroglicerina* (dinamite), è un etere dell'acido nitrico e che quindi il suo nome, secondo la nomenclatura d'oggi, è sbagliato.

e) Aldeidi e chetoni.

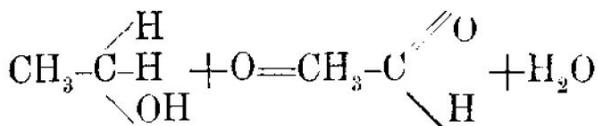
Dobbiamo ora parlare di una classe di corpi che ultimamente hanno trovato svariate applicazioni, e che probabilmente acquisteranno una parte importantissima nella chimica futura. Sono questi le *aldeidi* e i *chetoni*.

Gli alcool si possono dividere in *primari*, *secondari*, *terziari* secondo che essi contengono uno, due, o tre gruppi metilici CH_3 ; le loro formule di struttura sono

queste:



Il primo contiene due atomi di idrogeno isolati e uniti al carbonio; il secondo ne contiene uno solo; il terzo nessuno. La grande attrazione dell'idrogeno verso l'ossigeno per formare l'acqua, fa sì che coll'aggiunta di un atomo di ossigeno all'alcool etilico, i due atomi d'idrogeno legati al carbonio, si stacchino da questo per unirsi ad un atomo di ossigeno, formando una molecola d'acqua; allora l'idrossile che rimane solo si scinde e le due valenze dell'atomo di ossigeno si fissano entrambe al carbonio. La reazione avviene così.

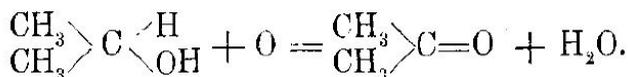


alcool etilico + ossigeno = aldeide etilica + acqua.

Questa sostanza $\text{C}_2 \text{H}_4 \text{O}$ si chiama un'*aldeide*, nome derivato dall'abbreviazione di «alcool deidrogenato». Si distinguono dunque le aldeidi dagli alcool per un minor contenuto di due atomi d'idrogeno; e dagli acidi per la mancanza di un atomo di ossigeno. Per cui si ha:



Dagli alcool secondari si può pure formare acqua col-
l'aggiunta di O, se l'atomo d'idrogeno isolato e quello
contenuto nell'idrossile sono spostati o uniti al nuovo
atomo d'ossigeno, mentre il rimanente O si lega ancora
con entrambe le sue valenze al carbonio:



Questo nuovo composto C₃H₆O si chiama un *chetone*.

Negli alcool terziari un processo simile non è più pos-
sibile, non avendosi in questi alcun atomo d'idrogeno
isolato.

Le aldeidi, come corpi intermedi tra gli alcool e gli
acidi, hanno la proprietà di unirsi prontamente all'ossi-
geno, che sottraggono da alcune sostanze. Da ciò il loro
potere disinfettante. Esse sottraggono atomi d'ossigeno
alle sostanze organiche, fino a che questo è possibile, e
disgregano così i composti e distruggono i microrgani-
smi.

Il gruppo caratteristico di tutte le aldeidi è COH. Tra
queste ricordiamo la *formaldeide* CH₂O ovvero H-
COH, e la *paraformaldeide* che consta di tre molecole
della prima riunite (H-COH)₃.

Se si fa evaporare la formaldeide disciolta nello spiri-
to di legno (cioè la cosiddetta *formalina*) la formaldeide
compenetra le sostanze a contatto del suo vapore, di-
struggendone i microrganismi: perciò trova molta appli-
cazione come disinfettante.

L'*aldeide acetica* C₂H₄O ci interessa in quanto che da

essa provengono tre note ed usate sostanze medicinali. Nella maggior parte dei composti organici, che contengono un atomo d'idrogeno isolato, facendovi agire per un certo tempo il cloro, questo sposta e sostituisce l'atomo di H. Se all'acetaldeide $C H_3-COH$, sostituiamo i tre H dei gruppi metilici CH_3 con tre Cl, abbiamo CCl_3-COH , la tricloraldehyde o il *cloralio*, conosciuto come narcotico.

Per azione dell'idrossido di sodio, si può a questo composto sottrarre CO; rimane allora CCl_3-H , che è il *triclorometano* o *cloroformio*, la cui azione come anestetico è a tutti nota. Ma per il suo contenuto di cloro il suo uso non è senza pericolo, per cui oggi si tende a tornare all'etere.

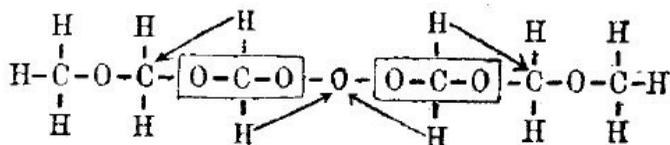
Collo stesso procedimento chimico si può adoperare l'*iodio* invece del *cloro*, e si forma allora l'*iodoformio* CHJ_3 , che si adopera come antisettico per la medicazione di lesioni e ferite. L'iodoformio è solido; il cloroformio è un liquido incolore.

f) Idrati di Carbonio.

I composti del carbonio coll'idrogeno e l'ossigeno sono tra i più importanti del regno naturale, formando la maggior parte dei nostri alimenti. Si chiamano *carboidrati* o *idrati di carbonio*, invero un po' arbitrariamente, perchè in essi si hanno sempre uniti a qualsivoglia numero di atomi di carbonio un *numero di atomi di idrogeno doppio degli atomi di ossigeno*. La loro formula è

$C(H_2O)_n$. Essendo l'acqua H_2O , si considerano come idrati, ma la cosa va intesa in modo diverso di quando si dice che l'acido solforico o l'alcool assorbono in sè acqua. Nei carboidrati gli atomi d'idrogeno non sono uniti a quelli di ossigeno formando molecole d'acqua. Si capisce bene come la natura produca con tanta ricchezza questi composti, trovandosi l'acqua dappertutto, onde i suoi componenti misteriosamente divisi possono poi tornare a far parte di quelle meravigliose sostanze che servono a mantenerci in vita.

Innanzitutto appartengono a questa classe le varie specie di *zuccheri*. Lo zucchero d'uva (*glucosio*) ha la formula $C_6H_{12}O_6 + H_2O$. Questo H_2O staccato significa che accanto agli altri H e O variamente collegati, questa sola molecola deve considerarsi come vera acqua di cristallizzazione fisicamente unita allo zucchero. La formula di struttura dello zucchero si potrebbe scrivere così:



Questa formula in cui è contenuta la molecola d'acqua, è perfettamente simmetrica. I due gruppi chiusi nelle parentesi sono di anidride carbonica CO_2 . Se in qualsiasi modo si tolgono questi gruppi, allora, come indicano le frecce, due dei 4 H che non hanno più legame col carbonio, cioè quelli centrali inferiori, vanno a unirsi

con un atomo di O a formare H_2O ; e gli altri 2 si uniscono ai due gruppi a destra e a sinistra, rimasti ora divisi. Ciascun gruppo diviene allora C_2H_6O , cioè alcool etilico o spirito di vino. Vediamo dunque che lo zucchero d'uva, senza aggiungergli o toglierli nulla si può scomporre spontaneamente in *alcool*, *anidride carbonica* e *acqua*. Questo è il processo spontaneo della fermentazione, per cui dalle uve dolci si ottiene il vino, col suo contenuto di anidride carbonica che lo rende spumante e frizzante $C_6H_{14}O = 2 C_2H_6O + 2CO_2 + H_2O$.

Ma questa trasformazione non potrebbe esser compiuta in un laboratorio chimico in cui pur tanti corpi si scompongono. È necessario l'intervento di uno speciale microorganismo, (*Micrococcus cerevisiae*), che si trova sempre nell'aria, e dappertutto dove trova condizioni proprie al suo alimento e sviluppo, dà origine al processo di fermentazione che compie poi scomposizioni impossibili a prodursi con qualunque altro processo puramente chimico.

Tutti sanno come si fa il vino. Si pigiano le uve in modo da farne uscire il succo e poi si lasciano per qualche tempo in recipienti aperti. La moltiplicazione dei micrococchi e quindi la fermentazione, avvengono, a temperature basse più lentamente, ma il vino viene migliore. Il processo in ambienti molto freddi dura anche dei mesi, mentre ad alta temperatura si accelera sensibilmente. Nella fermentazione si sviluppa l'anidride carbonica, che compressa può esercitare una fortissima pressione, tanto da rompere i vasi chiusi. Per mantenere al

vino la sua anidride carbonica si mette il mosto in vasi di vetro o di legno abbastanza forti da sopportarne la pressione, ed allora si hanno i *vini spumanti*. A fermentazione compiuta si trovano le pareti dei vasi ricoperte di un precipitato denso formato dai fermenti, per cui è necessario travasare il vino in altri recipienti chiusi.

Il vino bianco ed il vino rosso non richiedono invero uve di diverso colore, non essendo il succo di queste diverso. Nel vino rosso si lasciano le buccie e i raspi dell'uva col mosto, e da ciò deriva non solo il colore ma anche molte delle qualità del vino: ma si può fare vino bianco anche con uve nere.

In alcune regioni vinicole, come quelle della Germania, la temperatura media non basta per rendere le uve molto dolci, e per ciò tutto lo zucchero che contengono può nella fermentazione esser convertito in alcool. I vini vengono forti e non dolci, e si formano anche in piccola quantità quegli elevati eteri, che danno, per esempio, il profumo speciale al vino del Reno. Ma questo avviene lentamente, nell'invecchiamento che può durare molti anni. Invece, le uve del sud hanno sovrabbondanza di zucchero, che nella fermentazione non può tutto trasformarsi in alcool ed i vini rimangono dolci. Ma non avendo modo di formarsi quegli eteri elevati, i vini del Sud, per lo più, non hanno profumo.

Da qualunque zucchero si può ottenere un liquore fermentato alcoolico; anche dal miele d'api si fa l'*idromele*. I vini di miele, di ribes, d'uva spina, ecc., si fanno in modo analogo al vino d'uva.

Se i liquidi alcoolici si lasciano lungo tempo esposti all'aria, divengono acidi; così come è noto, dal vino si ottiene l'aceto. Per trasformare lo spirito di vino C_2H_6O in acido acetico $C_2H_4O_2$, è necessaria l'aggiunta di 2 O, di cui uno si unisce a due H e forma una molecola d'acqua, e l'altro va a occupare il posto lasciato da questi due H. Abbiamo dunque $C_2H_6O + 2O = C_2H_4O_2 + H_2O$. Quei due atomi d'ossigeno l'alcool li prende dall'aria. Ma anche questa trasformazione avviene solo per opera di speciali *fermenti*, i quali promuovono il processo di fermentazione. Questa, a temperatura un po' elevata, procede più rapidamente che a quella ordinaria delle cantine, alla quale si compie invece assai bene la fermentazione del mosto. Nelle cantine e nei mesi d'inverno, si protegge facilmente il vino dell'acidità. Invece, nell'estate i fabbricanti di birra riescono solo con grande difficoltà ad impedire la fermentazione acetica e devono ricorrere a speciali apparecchi di raffreddamento. Ma in

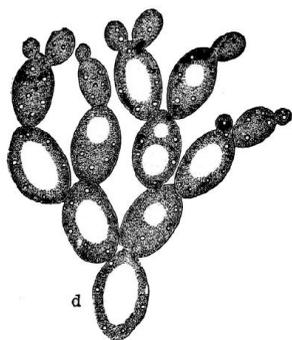


Fig. 409. – Cellule del lievito di birra.

recipienti assolutamente chiusi i liquidi alcoolici non divengono acidi perchè la fermentazione acetica ha bisogno dell'ossigeno dell'aria, a differenza di quella alcoolica del mosto, che separa invece l'ossigeno producendo anidride carbonica. Perciò il vino, dopo avere fermentato, deve essere a tempo riposto nei vasi chiusi e non troppo presto nè troppo tardi.

Nei processi di fermentazione agiscono diverse specie di batteri. Quello che provoca la fermentazione della birra è diverso da quello del vino, e quello dell'aceto è pure diverso. I batteri si moltiplicano straordinariamente durante la fermentazione senza subire alcuna alterazione. Essendo solo la loro presenza la causa della fermentazione, siamo tentati a credere che agiscano qui essenzialmente azioni fisiche. A questo proposito, è interessante a sapersi che la trasformazione dell'alcool etilico in aceto può compiersi anche per effetto della spugna di platino (di cui parliamo a pag. 133); questa, trovandosi in stato di estrema divisibilità, può provocare un tale condensamento delle sostanze con cui viene a contatto, che gli atomi di ossigeno necessari si combinano colla molecola dell'alcool. Forse i finissimi pori del tessuto cellulare di quei microrganismi esercitano lo stesso ufficio. Su questi ed altri processi fisiologici ritorneremo in seguito.

Vi sono parecchie specie di zuccheri, che si distinguono, sì per il loro diverso contenuto dei tre elementi che li costituiscono, sì per il diverso aggruppamento degli atomi. Lo *zucchero d'uva*, di cui abbiamo già parlato, non è quello che comunemente si intende per *zucchero*. Questo è invece il *saccarosio* o *zucchero di canna* ($C_{12}H_{22}O_{11}$), che contiene un po' più atomi di carbonio in rapporto agli altri due elementi. Aggiungendo allo zucchero di canna H_2O si hanno 2 molecole di zucchero d'uva, senza acqua di cristallizzazione



Lo zucchero di canna non si trova soltanto nella canna da zucchero, ma anche in altre piante da cui si estrae, come la barbabietola da zucchero. Tralasciamo di descrivere i metodi di estrazione dello zucchero da tali piante, consistendo questi soprattutto nella separazione e purificazione dello zucchero contenuto in esse, con procedimento non molto istruttivo, dal lato chimico.

Lo zucchero di canna fa girare a destra il piano di polarizzazione, e questa qualità serve appunto per determinare il grado di concentrazione di una soluzione zuccherina. La formula di struttura del saccarosio non si può dunque costruire regolarmente come quella dello zucchero d'uva, poichè nella sua molecola sono contenuti uno o più atomi di carbonio asimmetrici.

Se si aggiunge ancora un gruppo H_2O allo zucchero di canna, si giunge ad un prodotto intermedio fra questo e lo zucchero d'uva: $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O$. Se ne conoscono due isomeri, lo *zucchero d'orzo*, e lo *zucchero di latte*. Entrambi corrispondono a due molecole di zucchero d'uva senz'acqua di cristallizzazione, la quale nella caseificazione rimane nel siero. Lo zucchero di latte col calore e a contatto dell'aria, si converte presto, fermentando, in acido lattico, per cui il latte diviene acido. In quanto alla polarizzazione lo zucchero d'orzo e quello di latte si comportano precisamente come lo zucchero di canna.

Togliendo un gruppo H_2O allo zucchero di canna si ha un composto in cui i tre elementi sono contenuti in questa proporzione: $C_6H_{10}O_5$. Questa è la composizione anche dell'*amido*, la principalissima di tutte le sostanze nutritive, che si trova

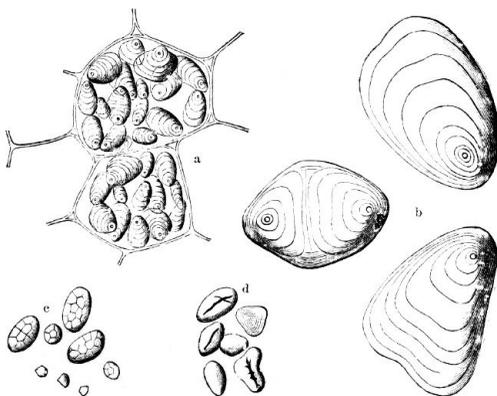


Fig. 410 – Granuli di amido. a) e b) Patata; – c) Avena; – d) Fava.

nel tessuto di tutte le piante e in modo speciale in quello delle patate, e dei cereali, in forma di piccoli grani che hanno forma diversa secondo le varie specie di piante (v. Fig. 410). Mentre è possibile la sintesi degli zuccheri, cioè la loro formazione artificiale dai loro elementi, quella dell'amido, benchè se ne conosca benissimo la struttura chimica, non si è ancora potuta ottenere.

Questo problema, di potere dall'acqua e dal carbone ricostituire artificialmente ed a basso prezzo il principale elemento di nutrizione, ha un'immensa e decisiva importanza civile e sociale.

L'amido ha la proprietà di gonfiarsi nell'acqua calda, mentre è insolubile in quella fredda: perciò si adopra anche per farne pasta da attaccare.

La *destrina* è molto affine all'amido, da cui si ottiene col riscaldamento, con un processo di fermentazione o con altri mezzi. Si scioglie facilmente nell'acqua, e la

sua soluzione, che è la colla forte, è *destrogira*, d'onde il nome di destrina.

Dall'amido si possono pure fabbricare liquori alcoolici, come dall'amido d'orzo si fa la birra, e da quello di patate l'acquavite. Per queste fabbricazioni la fecola deve prima trasformarsi in zucchero, che poi si trasforma a sua volta per fermentazione, come abbiamo veduto.

La fabbricazione della birra procede nella seguente maniera. Per trasformare l'orzo in *malto* o lievito, si lascia per circa una settimana, dopo averlo inumidito, in una cantina. Perchè si possa convertire in zucchero, l'amido d'orzo ha bisogno di un'altra molecola d'acqua, che acquista per opera di uno speciale fermento, la *diastasi*, ed allora l'orzo comincia a germinare; poi l'orzo germinato viene tolto via, asciugato, ed in questo stato, cioè di *malto*, è solubile nell'acqua. La soluzione si lascia fermentare e dopo alcuni giorni si pone in recipienti chiusi perchè rimanga anidride carbonica nella birra. Il *luppolo* si aggiunge soltanto per aumentarne il sapore, ma non è necessario per il processo di fermentazione.

Abbiamo detto di sopra, che la trasformazione dell'amido in zucchero si compie per un processo di fermentazione, ossia per opera di un microrganismo. Questo si può, perciò, col malto stesso, trasportare in un altro corpo amidaceo per produrne la fermentazione. Se, per esempio, nell'amido di segale si aggiunge un po' di malto, la trasformazione in zucchero avviene spontaneamente, e dopo può compiersi anche quella alcoolica. Ma

la birra di segale ha cattivo sapore; perciò se ne distilla l'alcool per farne dell'acquavite.

Lo stesso trattamento si può usare coll'amido di patate. Il liquore che se ne ricava contiene ancora più di quegli alcool incommestibili, di cattivo sapore e nocivi, che si possono eliminare con la distillazione frazionata, ottenendo in fine un alcool bevibile.

La stessa precisa composizione dell'amido ha pure un'altra sostanza da cui sono formate le vere ossature delle piante, cioè le *fibres legnose*, e l'involuppo delle cellule; è questa la *cellulosa*, corpo assolutamente insolubile nell'acqua. Il cotone, il lino, la canapa e la stessa carta sono fatti di cellulosa. Si crederrebbe mai che la carta, che contiene sempre un po' d'acqua, abbia la stessa composizione dello zucchero? Eppure, i diversi aggruppamenti dei componenti determinano i loro caratteri così dissimili.

La cellulosa forma coll'acido nitrico la *nitrocellulosa*, che somiglia alla dinamite e che ha la formula $C_6H_7(NO_3)_3O_2$. È questo il *cotone fulminante*, la cui esplosività si spiega come quella della dinamite. Dalla sua soluzione nell'etere si ottiene il *collodione*. Anche la *celluloide*, che serve industrialmente a tanti usi, è una soluzione di cotone fulminante nella canfora. La celluloida è dura ed elastica a temperatura normale, ma col riscaldamento diviene plastica e si può facilmente lavorare: però deve sempre tenersi lontana dal fuoco, essendo infiammabilissima.

g) Composti organici azotati.

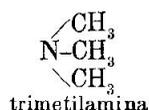
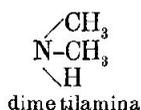
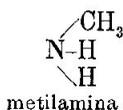
Come abbiamo annoverato l'anidride carbonica tra i composti inorganici, così dobbiamo assegnare a quella categoria un'intera serie di composti azotati, sebbene in alcuni casi il loro posto rimanga dubbio. Questo dicasi specialmente dei composti dell'*ammoniaca* e del *cianogeno*. Già, parlando di questi composti, abbiamo ricordato che il salnitro si forma nella decomposizione di *sostanze animali* con l'opera di microrganismi, cioè con un processo affatto simile a quello della fermentazione. Il salnitro e l'ammoniaca che ne derivano, dovrebbero dunque, a rigor di termine, già esser compresi tra le sostanze organiche, dovendo essi la loro origine all'azione di esseri animati. Anche i composti del cianogeno si formano naturalmente, solo dai corpi organici.

L'ammoniaca si combina con sostanze organiche conosciute, dando origine a composti importanti, dal lato fisiologico, nel regno animale, sebbene per lo più si presentino a noi sotto un aspetto poco simpatico.

La prima serie di queste sostanze è quella delle *amine*. Queste si formano dall'ammoniaca, NH_3 , per la sostituzione di uno, due o tutti e tre gli atomi d'idrogeno con radicali alcoolici.

Non contenendo questi ultimi, cioè alcool senza l'idrossile, alcun atomo di ossigeno, nelle amine si trovano solo i tre elementi carbonio idrogeno e azoto. Si possono formare tre specie di amine, secondo il numero di atomi d'idrogeno spostati, ed abbiamo allora le amine

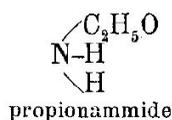
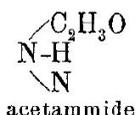
primarie, secondarie e terziarie. Così dall'ammoniaca si formano le seguenti sostanze



L'azoto, di cui abbiamo ripetutamente parlato, considerandolo come trivalente e pentavalente, in questo caso è trivalente.

Le amine hanno un odore che ricorda quello delle aringhe: si trovano infatti anche nella salamoia di aringhe.

Se invece di radicali alcoolici mettiamo, nel posto degli H dell'ammoniaca, dei radicali acidi, si formano i seguenti *ammidi*:



Abbiamo qui, per la prima volta, composti contenenti tutti e quattro gli *elementi organogenici*, se si eccettuano la dinamite e il cotone fulminante già ricordati, ma che non si trovano in natura. Prendendo il gruppo NH_2 come gruppo caratteristico delle ammidi, possiamo ridurre le formule antecedenti a questa forma: Acetammide = $\text{CH}_3\text{-CO-NH}_2$; Propionammide = $\text{CH}_3\text{-CO-CH}_2\text{-NH}_2$. Si possono poi formare queste altre sostanze: OH-CO-NH_2 , acido carboammico, e $\text{NH}_2\text{-CO-NH}_2$, carboammide.

Quest'ultima sostanza, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ è l'*urea*, la prima sostanza organica, che fu ottenuta sinteticamente da Federico Wöhler nel 1828 (Fig. 411). Si forma dal cianuro ammonico, che ha la stessa composizione chimica (NH_4CNO), per un semplice cambiamen-

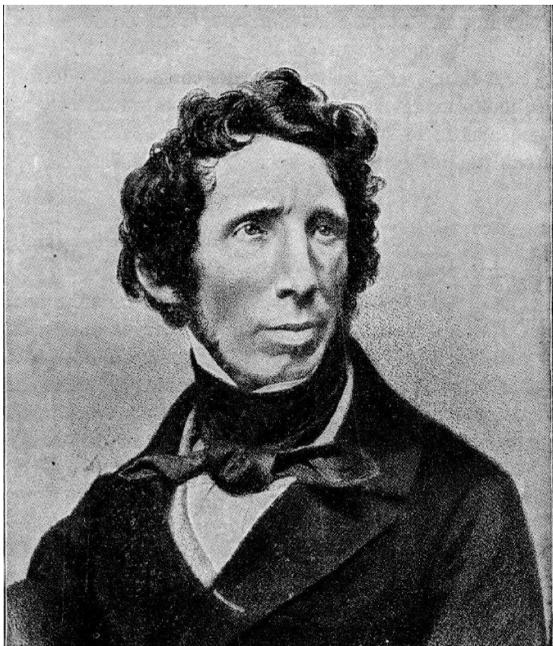


Fig. 411. – Federico Wöhler.

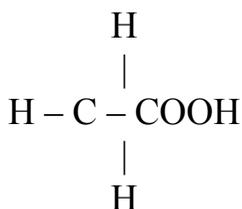
to nella disposizione degli atomi. Questa prima sintesi organica compiuta con intelligenza e acutezza meravigliosa, fece naturalmente a suo tempo molto rumore. Oggi però è lecito domandarci se veramente questi ed altri composti furono ottenuti senza l'intervento di organismi viventi, poichè il salnitro stesso non si può formare senza tali microrganismi. In tutte le operazioni importantissime della chimica moderna, che riesce a ricostruire i più complicati composti organici, si utilizzano in prima linea quelle sostanze che ci sono formate dalla natura, anche derivanti da decomposizioni.

L'urina decomponendosi produce ammoniaca, che si riconosce subito dall'odore forte. L'urea sciolta nell'ac-

qua, decomponendosi, si scinde in anidride carbonica e ammoniacca: $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + 2\text{NH}_3$.

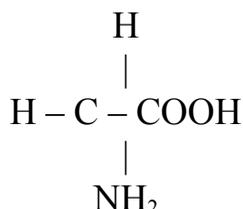
Ma anche il residuo ammoniacale NH , bivalente, può prender parte a combinazioni simili a quelle spiegate innanzi, se si scindono due H dall'ammoniaca.

Gli *ammido-acidi* si possono pure formare unendo questo residuo ammoniacale NH_2 con un acido che prende il posto di un H dell'ammoniaca: ma il gruppo caratteristico degli acidi organici COOH deve restare intatto.



Così l'acido acetico

diviene



acetato ammidico.

I diversi ammido-acidi che si formano mediante tali sostituzioni, esercitano probabilmente una importante funzione nel *ricambio organico animale*, poichè si trovano specialmente nei succhi gastrici e intestinali dei mammiferi.

A questi corpi azotati si devono aggiungere anche i composti del cianogeno (CN) dei quali, parlando dei composti inorganici, abbiamo già ricordato quel che era più necessario (pag. 457).

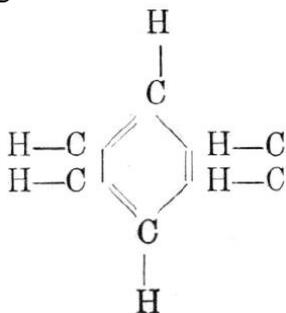
Appartengono a questi il velenosissimo *acido cianidrico* (CHN), il cianuro potassio (KCN) il ferrocianuro

potassico $\text{Fe}(\text{CN})_6\text{K}_4$, ecc.

B. – Corpi aromatici.

Mentre gli idrocarburi dei corpi grassi si possono ordinare nelle serie del metano ($\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$), dell'etilene (C_nH_{2n}) dell'acetilene ($\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$), e così fino alla serie dia-cetilenica ($\text{C}_n\text{H}_{2n-6}$) la più elevata, i corpi aromatici, invece, cominciano da quest'ultima serie, e il loro primo membro è C_6H_6 . Seguono poi altre serie di corpi aromatici, che contengono sempre meno idrogeno, $\text{C}_n\text{H}_{2n-12}$ $\text{C}_n\text{H}_{2n-14}$ ecc., fino a $\text{C}_n\text{H}_{2n-22}$ ed anche più oltre. La prima sostanza (C_6H_6) è ancora rappresentabile con una formula di struttura, simile a quelle adoperate mettendovi due atomi legati per tre valenze ciascuno. Si dovrebbe dunque scrivere: $\text{CH}\equiv\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}\equiv\text{CH}$; (dipropargile). Con questa formola di struttura questa sostanza appartiene ancora ai corpi grassi. Ma si conosce ancora un altro corpo della stessa composizione, il *benzolo*, la cui costruzione molecolare è però evidentemente diversa da quella surriportata, perchè la sua facilità a trasformarsi in svariati composti mostra che tutti i suoi sei atomi di idrogeno hanno una posizione simmetrica, con uguale facoltà di sostituzione mediante altri elementi o gruppi. Questi sei atomi di idrogeno devono quindi essere legati in maniera uniforme ai sei atomi di carbonio: e, data la tetravalenza di questo, non è facile trovare una simile disposizione. Anzi, da quel che abbiamo detto risulta

che nella formula del benzolo si deve avere sei volte il gruppo CH, che è trivalente. Non si può dunque scrivere questa formula altrimenti che così: $-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}-$, lasciando a capo e in fondo una valenza non saturata. Nel 1866 il Kekulè ebbe la buona idea di far saturare fra loro queste due valenze, trasformando la disposizione a catena, in una disposizione chiusa ad anello. D'allora in poi, entrò nell'uso il termine di *anello del benzolo*, e la formula di struttura si scrisse in forma di esagono, per mostrare meglio la posizione libera degli atomi d'idrogeno:



Peraltro, facciamo qui presente, che la disposizione della valenza e la formula stessa di struttura che ne consegue non sono che pure ipotesi, per darci una idea schematica della costruzione molecolare; mentre invece tutto fa credere che in questa non entrino mai quei rigidi legami accennati nelle nostre formule. Quasi in ogni parte di questa opera, abbiamo trovato argomento per supporre che le molecole siano piccolissimi sistemi cosmici in cui gli atomi si muovono con moto analogo a quello dei pianeti. Gli atomi non possono dunque esser

collegati tra loro da una, due o più linee fisse, e soprattutto anche questi collegamenti non possono giacere in un piano di due sole dimensioni, avendo la natura a sua disposizione l'intero spazio libero. Tuttavia queste formule di struttura ci forniscono un'idea, per quanto esteriore, della regolarità certamente esistente nella costruzione delle molecole, e in mancanza di meglio noi dobbiamo mantenerle o perfezionarle.

Se anche qui ci è lecito fare un parallelo tra lo sviluppo dell'astronomia e quello della chimica, si può confrontare lo stato attuale delle ricerche chimiche a quello degli studi astronomici al tempo di Keplero, il quale cercò la legge delle distanze planetarie, riferendosi a immaginari corpi geometrici interposti fra le orbite. Questi corpi geometrici non potevano avere alcun diretto rapporto con la vera costruzione del sistema planetario, ma avevano nei loro rapporti qualche analogia colle vere leggi delle distanze planetarie, scoperte più tardi dallo stesso Keplero. Così egli, pur partendo da una strada assolutamente falsa, poté in breve tempo giungere alla conoscenza della verità. Le odierne formule chimiche non sono che espedienti, di cui non possiamo per ora fare a meno, nella ricerca della vera costituzione molecolare, dovendo concretare in una qualsiasi forma le leggi già trovate, per applicarle ad una quantità di fenomeni; e su questo torneremo ancora.

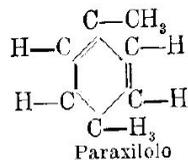
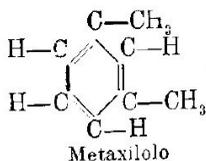
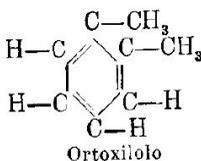
L'*anello benzoico* costituisce il punto di partenza di tutti i composti aromatici che si chiamano anche composti ad anello, e questa è infatti la distinzione fonamen-

tale fra i due gruppi principali dei composti organici, i quali solo per vecchia consuetudine si seguitano a distinguere in corpi grassi e corpi aromatici. Indicando i primi come corpi a *catena aperta*, i secondi come corpi a *catena chiusa*, useremo una nomenclatura molto più significativa.

Ci occuperemo brevemente dei composti di questo gruppo, sebbene il loro numero sia molto maggiore di quelli del gruppo precedente, perchè le leggi della formazione sono ancora le stesse. Si hanno quindi *idrocarburi benzoici*, *alcooli benzoici*, *acidi*, *eteri*, *aldeidi benzoiche*, ecc.

a) Idrocarburi benzoici.

Gli idrocarburi benzoici si possono riunire nella serie C_nH_{2n-6} e nelle seguenti. La prima serie è quella che comincia col benzolo stesso (C_6H_6); poi segue il toluolo (C_7H_8); il xilolo (C_8H_{10}). Il toluolo si forma sostituendo un H del benzolo col gruppo metilico CH_3 ; quale degli atomi d'idrogeno sia sostituito è indifferente, poichè l'effetto è il medesimo. Diversa è invece la cosa nello xilolo, per la formazione del quale due atomi d'idrogeno dell'anello benzoico devono esser sostituiti con due gruppi CH_3 . Ciò può farsi in tre diverse maniere ottenendo le tre formule seguenti:



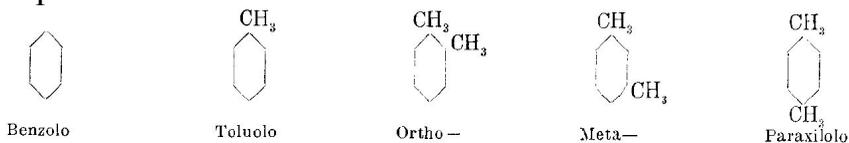
Ci troviamo davanti a 3 isomeri che si distinguono fra loro con le designazioni di *orto*, *meta*, *para* secondo il posto che occupano i gruppi. Più brevemente ci serviamo delle semplici lettere O, M, e P, per indicare i nomi dei corrispondenti composti. Altre combinazioni non sono possibili, perchè nella disposizione ad anello il cambiamento di posto, da destra a sinistra dei gruppi, non porta alcuna differenza.

Il *benzolo* non è dissimile dalla comune *benzina*. È un liquido trasparente, fortemente odoroso, che bolle a circa 80°, dando una fiamma chiara nella combustione, che facilmente dà fumo, quando non sia particolarmente alimentata da una corrente d'aria, essendo il benzolo molto ricco di carbonio.

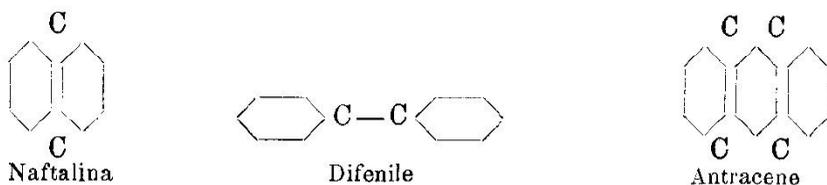
Precisamente come abbiamo veduto nei corpi grassi, gli omologhi superiori delle serie benzoiche hanno punti di ebollizione sempre più elevati; il toluolo bolle a 111°, ed è, come lo xilolo, un corpo molto simile al benzolo; e si ricavano tutti e tre, come quasi tutti gli idrocarburi, dal catrame di carbon fossile.

Un'altra serie di idrocarburi a catena chiusa ha per formula generale C_nH_{2n-12} . Il corpo più conosciuto di questa serie è $C_{10}H_8$, la *naftalina*, di cui sono noti i caratteri e gli usi, servendo comunemente per combattere

le tignole ed altri insetti dannosi. La sua provenienza dal catrame si avverte bene all'odore; è un corpo solido, ma già a 79° passa allo stato liquido, e a 218° a quello gassoso. Per rendere più facili e comode le formule di questi e degli altri composti che tratterremo, introduciamo questa semplificazione: Noi indichiamo solo l'anello, col simbolo  senza segnare i legamenti doppi, nè scrivere gli atomi di carbonio C agli angoli dell'anello, i quali del resto non mancano mai fino a che non sono sostituiti da qualche atomo di azoto. Intorno all'anello non si scrivono dunque che i gruppi CH₃, CH₂, e CH che subentrano al posto degli H. Le formule di struttura dei corpi fin qui ricordati prenderebbero dunque il seguente aspetto:



Nella naftalina due anelli benzoici si riuniscono, come mostra la prima di queste formule:

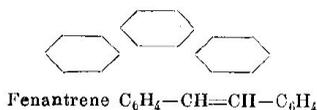
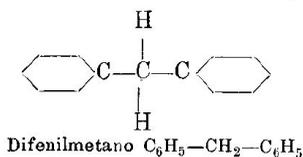


I C stanno qui a indicare che in quei punti si trovano solo atomi di carbonio doppiamente legati, mentre negli altri angoli che non sono contrapposti all'altro anello, resta sempre H unito con C.

La serie più prossima degli idrocarburi a catena aperta, cioè quella del *difenile*, ha per formula generale C_nH_{2n-14} e struttura analoga alla prima. Due anelli benzoici si incontrano in modo che un H è sostituito da un intero anello, nuovamente mancante di un H. La differenza dell'unione dei due anelli benzoici nella naftalina e nel difenile consiste in questo, che nella prima si hanno otto angoli degli anelli che si incontrano muniti di atomi H, nella seconda, invece, se ne hanno dieci, mentre il numero dei C rimane invariato.

Nell'*antracene* si uniscono tre anelli benzoici. L'antracene è il primo membro della serie C_nH_{2n-18} . È un corpo solido, che fonde a 213° , incolore di per sè stesso, ma con vive fluorescenze violette, e che si estrae pure dal catrame.

Due altre forme di unione di anelli sono le seguenti:



b) Fenoli, alcool e aldeidi benzoici.

Nei fenoli si hanno uno o più idrossili OH che subentrano negli anelli al posto degli H, come per gli alcool nei corpi grassi. Si potrebbero dunque chiamare questi corpi alcool benzoici, se non risultasse che i corpi benzoici con questo gruppo idrossilico si possono dividere

in due separate classi, delle quali la prima, quella dei *fenoli*, ha questi idrossili sempre direttamente legati all'anello; l'altra invece, quella dei veri *alcooli benzoici*, li ha disposti in una serie che si collega col centro della molecola.

Il *fenolo*, primo membro di questa serie, ha la formula $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$, ed è il comune *acido fenico*, $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$. Il fenolo, dunque, ha proprietà acide che non si riscontrano negli alcool. Gli acidi possono coi corpi alcalini formare dei sali, e ciò avviene pure per i fenoli, sebbene manchi il gruppo caratteristico degli acidi organici COOH . Perciò i fenoli, tra i composti del carbonio, assumono un posto tutto speciale.

Anche il prossimo fenolo, il *cresolo* $\text{C}_7\text{H}_8\text{O}$, o $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$, ha proprietà disinfettante e trova varie applicazioni. Secondo la maniera con cui sono distribuiti i due gruppi uniti all'anello, si hanno l'*orto*- il *meta*- e il *para*-cresolo, di proprietà differenti tra loro. Il primo in cui i due gruppi sono vicini, è il noto disinfettante.

Aggiungendo ancora un gruppo CH_2 si forma lo *xilenolo* $\text{C}_8\text{H}_{10}\text{O}$, ovvero $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$.

Non trattandosi qui che di spiegare il principio dell'aggregazione dei vari membri, non ci occupiamo dei corpi con più idrossili.

Il passaggio dagli alcool agli acidi è dato, come vedemmo, dalle aldeidi, il cui gruppo caratteristico è COH . Unendo questo gruppo ad un anello benzoico, si forma la *benzaldeide* o olio di mandorle amare, $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}$, ossia $\text{C}_6\text{H}_5\text{COH}$. Questo composto si ottiene facendo

agire un O sull'alcool benzoico, cioè per ossidazione dell'alcool. Questo O si combina con 2H della catena –CH₂–OH dell'alcool, mentre il rimanente C si unisce al gruppo idrossilico per formare l'aldeide.

c) Acidi aromatici.

Non c'è ora alcuna difficoltà a dedurre le formule degli acidi benzoici, sapendo già dai corpi grassi, che il gruppo caratteristico degli acidi è COOH. Basta ora unire uno o più di questi gruppi ad un anello o a diversi anelli benzoici già legati, e spostare un numero qualsivoglia di CH₂, per avere una quantità teoricamente illimitata di *acidi aromatici*, le cui formule si possono facilmente costruire, e dei quali anche realmente si è trovato un gran numero.

Il primo di questi, l'*acido benzoico* C₇H₆O₂, o  COOH, si forma per aggiunta di un O all'aldeide benzoica, ossia per la ossidazione di questa. Quest'acido si ricavava una volta dalla resina benzoica, ma oggi si estrae, con tante altre interessantissime sostanze, dal catrame.

Come esempio di formula già un po' più complicata diamo quella dell'*acido gallico*, C₇H₆O₅.

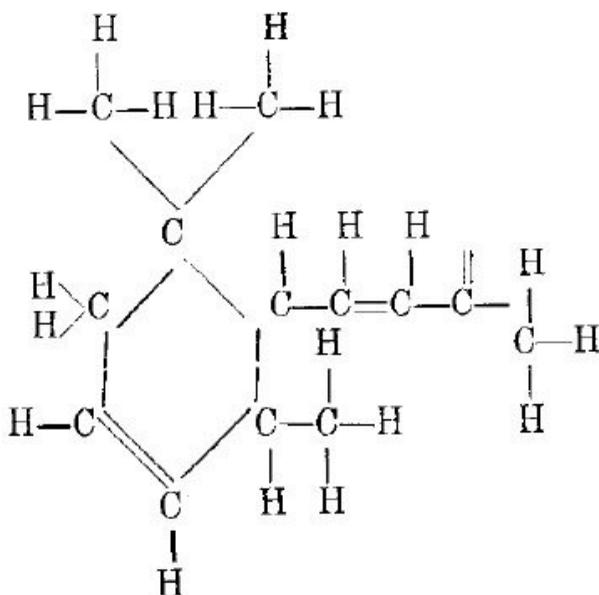
Simile a questo è l'*acido tannico* che si forma da due parti di acido gallico, con sottrazione di una molecola d'acqua, per cui ha la formula C₁₄H₁₀O₉. Combinato col ferro dà una sostanza che serve come colorante nell'inchiostro nero.

d) Olî eterei.

Conoscendo alcoli ed acidi benzoici, si deve poter da questi anche dedurre gli eteri. Ma la loro costruzione diviene sempre più complessa, per cui non sempre si può indicare con certezza a quale di queste classi di corpi, sotto l'aspetto chimico, appartiene una data sostanza che si trovi in natura. Ricordiamo qui alcune di queste sostanze:

L'*olio di terebentina* consta essenzialmente di un'idrocarburo $C_{10}H_{16}$, che si ricava dalle conifere: analoghi ad esso sono la maggior parte delle resine, il balsamo del Canada, l'ambra, il caoutchouch, ecc., i quali, a seconda del loro contenuto in olî eterei, nei quali si sciolgono, sono liquidi, o pastosi, o solidi.

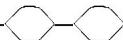
Gli *olî eterei o volatili* si distinguono da quelli grassi già ricordati, perchè possono volatilizzare completamente senza lasciare residui. I grati profumi di molti fiori e frutti appartengono a queste sostanze, che si sciolgono facilmente nell'alcool ed in questa forma servono alla fabbricazione dei liquori aromatici o delle essenze odorose. A queste appartengono l'essenza d'anice, di cedro, di garofano, d'arancio, di menta e di rosa. Alcune di queste si sono già potute riprodurre artificialmente, senza ricorrere alle piante che le forniscono naturalmente. Quanto debbano essere complicate le loro molecole si capisce da questa della deliziosa essenza di violetta, che pure è stata prodotta anche artificialmente: $C_{13}H_{20}O$.



Vediamo da questa formula, quanto involuppata sia la forma della molecola e come gli atomi siano situati asimmetricamente. Avvezzi alla mirabile armonia dell'universo fisico verrebbe fatto di considerare *innaturale* una tale irregolarità, e non senza difficoltà ammetteremo che essa corrisponda alla realtà. Se i chimici non avessero prove inoppugnabili, contro una triplice legatura degli atomi di C che renderebbe inutile l'anello benzoico, potremmo costruire per questa sostanza la formula di eccezionale simmetria ed eleganza, che qui trascriviamo:

questo l'amidobenzolo o *anilina*, sostanza di uso o conoscenza comune, e chimicamente di grande importanza.

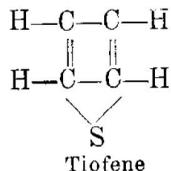
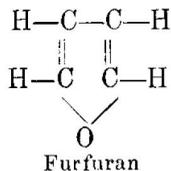
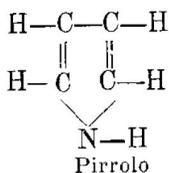
Anche questa si ricava dal catrame, che sembra destinato a trasmetterci i prodotti della natura vivente di un'epoca già per noi remotissima. Dall'anilina si ricavano sostanze che offrono una meravigliosa scala di colori; queste sono precisamente sali d'anilina.

Congiungendo all'anello benzoico due gruppi NH_2 si ha la doppia anilina; NH_2 —— NH_2 da cui deriva un'altra serie di composti.

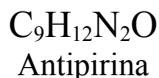
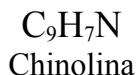
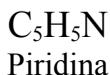
f) Sostituzioni nell'anello centrale.

In tutti i composti finora studiati, i sei atomi di carbonio dell'anello benzoico sono rimasti inalterati. Ma esistono anche dei corpi, la cui composizione non si può spiegare se non ammettendo che *atomi non di carbonio entrino a far parte dell'anello benzoico*, alterando quindi anche i legamenti interni di questo. Se al posto di un C subentra un N nell'anello, i legamenti coi vicini atomi C restano sempre gli stessi e per una sola valenza; inoltre all'atomo N, rimane sempre una valenza libera, come accadeva quando al suo posto vi era l'atomo C. Ma invece di N può trattarsi anche di un atomo di *ossigeno* o di *zolfo* che sono bivalenti, e perciò non hanno più valenze disponibili a cui si possano unire nuovi atomi. In questi ultimi due casi, l'esagono diviene un pentagono, dovendo anche qui due atomi C unirsi per due

valenze, cosicchè non rimane più alcuna valenza a cui poter unire un quinto C. Le formule seguenti dimostrano la struttura di queste tre classi di corpi:



Anche queste sostanze si trovano pure nel catrame. Il *pirrolo* per i suoi caratteri rassomiglia al cloroformio; ed il *tiofene* è molto simile al benzolo, benchè contenga un elemento affatto estraneo, lo zolfo, mentre il benzolo è un puro idrocarburo. Queste tre sostanze sono liquidi incolori. Il furfuran bolle già a 32°; il tiofene a 84° (il benzolo a 81°) ed il pirrolo a 131°. Inoltre si possono avere anche questi altri aggruppamenti:



Nel primo di questi, l'*indolo*, vediamo che una molecola di pirrolo si unisce con un anello benzoico. L'*indolo* ha un odore nauseante; si forma nella putrefazione delle uova e si trova anche negli escrementi umani. Nella *piridina* un N è entrato in un anello benzoico che nel resto si è mantenuto intatto, ossia sempre esagono: a questo atomo N non può essere unito alcun altro atomo, figurando sempre qui l'azoto come trivalente. La *piridina* ha pure odore poco gradevole, ed è la sostanza che si aggiunge all'alcool per denaturarlo, ossia per renderlo

incommestibile ed utile solo come *spirito da bruciare*. Nella *chinolina* sono unite una molecola di piridina con una di benzolo. La chinolina è simile al *chinino*, il febbrifugo che si ricava dalla scorza della china, la cui esatta costituzione non si conosce ancora. Si è cercato, con buon esito, di ottenere dalla chinolina, delle sostanze che avessero lo stesso potere febbrifugo. Tra queste è l'*antipirina*, ormai conosciutissima.

In questa maniera si possono formare ancora molti altri concatenamenti di anelli con catene laterali aggregate, ma ci sembrano già sufficienti gli esempi citati.

g) Alcaloidi.

Dobbiamo ora parlare di una serie di corpi di cui si conosce la composizione, ma non bene la costituzione molecolare. Chimicamente hanno uno spiccato carattere *basico*, formando cogli acidi dei sali, come fanno il sodio, il potassio, il calcio; ma essi non hanno l'energia di queste basi, per cui possono da esse essere spostati nei composti. Questo è anzi il metodo seguito per la loro estrazione, e perciò si dicono *alcaloidi*.

Gli alcaloidi hanno per lo più un'azione energica sull'organismo umano, o come potenti veleni, o come acute droghe, od anche come medicinali. Accenniamo qui ad alcuna di queste sostanze:

La *teobromina*, $C_7H_8N_4O_2$, che dà al cacao il suo sapore amaro; la *caffeina*, $C_8H_{10}N_4O_2$, che si trova nel caffè e nel the, ed è un eccitante del sistema nervoso:

essa si distingue dalla *teobromina* per l'aggiunta di un gruppo $C H_2$. Il benefico *chinino*, $C_{20}H_{24}N_2O_2$, e la terribile *stricnina*, $C_{21}H_{22}N_2O_2$, appartengono pure a questo gruppo. La stricnina si trova negli occhi delle cornacchie, e gli occhi di questi uccelli, pestati, servivano come medicina nelle stregonerie del medio evo. La composizione dunque del benefico chinino differisce da quella della micidiale stricnina solo per l'aggiunta di due H e la sottrazione di un C. Allo stesso gruppo appartengono pure la *piperina*, $C_{17}H_{19}NO_3$, la *morfina*, $C_{17}H_{19}N_4O_3$, + H_2O , l'*atropina*, $C_{17}H_{23}NO_3$, e la *cocaina*, $C_{17}H_{24}NO_4$. Abbiamo qui davanti a noi quattro sostanze di caratteri affatto diversi, la cui composizione percentuale è però somigliantissima; tutte e quattro contengono 17 atomi di carbonio, e tre di esse hanno costantemente il gruppo NO_3 . La piperina, l'essenza del pepe, si distingue chimicamente dalla morfina, il noto narcotico estratto dal succo dei papaveri, e che in alte dosi può produrre anche effetti letali, solo per l'aggiunta di una molecola d'acqua chimicamente combinata. L'*atropina*, che è pure un veleno estratto dalla belladonna, si forma dalla morfina o dalla piperina per sottrazione di un H. È noto che l'*atropina*, presa in piccolissime dosi, produce l'effetto di dilatare le pupille degli occhi. Se nell'*atropina* si sostituiscono due H con un O si forma la *cocaina*, che prende questo nome perchè si trova nella pianta di Koka; la cocaina serve come anestetico per attutire localmente la sensibilità nervosa. La *conidina*, $C_3H_{17}N$, e la *nicotina*, $C_{10}H_{14}N_2$, non

contengono ossigeno; la conidina si trova nella *cicuta*, la nicotina nel *tabacco* ed entrambe sono sostanze velenose; alcune qualità di tabacco contengono molta nicotina, fino a 8%, ma il tabacco avana non ne contiene più del 2%. Al gruppo degli alcaloidi appartiene inoltre un'altra sostanza, la ptomaina che si forma nella decomposizione dei cadaveri.

h) Albuminoidi.

Eccoci giunti alla classe più elevata dei composti organici, e che hanno una funzione importantissima nel mondo dei viventi, agli *albuminoidi*. La vera composizione atomica di questi corpi, ossia in sostanza dell'albumina, non è ancora ben nota e tanto meno la struttura delle molecole che senza dubbio contengono *più centinaia di atomi*. Una delle formule proposte è $C_{72}H_{112}N_{13}O_{22}S$. Secondo le ultime ricerche di Hoffmeister comunicate al congresso dei naturalisti, a Karlsbad nel 1902, questa e simili formule non rappresenterebbero che uno degli anelli, dei quali, la molecola completa dell'albumina conterrebbe un centinaio e più, collegati variamente tra di loro; cosicchè il peso molecolare ascenderebbe probabilmente a un numero di parecchie migliaia, 16000 o 17000. Con questo centinaio di elementi, che rimanendo invariati si aggruppano a formare l'albumina, la natura costruisce la multiforme sostanza delle sue creature, ed è anzi possibile che ciascuna specie animale abbia la sua

particolare molecola di albumina, per mezzo della quale si distingue dalle altre razze e che trasmette ai suoi successori. Il *mantenimento della specie* potrebbe essere un *fenomeno chimico*. Una composizione molto complicata si deve certo ammettere per l'albumina, poichè da questa, con svariati trattamenti, si ottengono una gran quantità di altri composti di cui abbiamo già trattato. Pare anche, che l'albumina contenga tutte le altre sostanze che si trovano nella natura vivente, o che queste possano tutte originarsi da quella.

La parte che nelle piante spetta ai carboidrati, specialmente all'amido, nel mondo animale spetta invece all'albumina. Mentre la massima parte del corpo delle piante consiste di amido e di suoi derivati, il corpo degli animali è composto principalmente di albumina, specialmente la carne, che, tolta l'acqua e le materie grasse, è composta esclusivamente di albumina. Ma in piccola quantità questa si trova anche nelle piante, specialmente

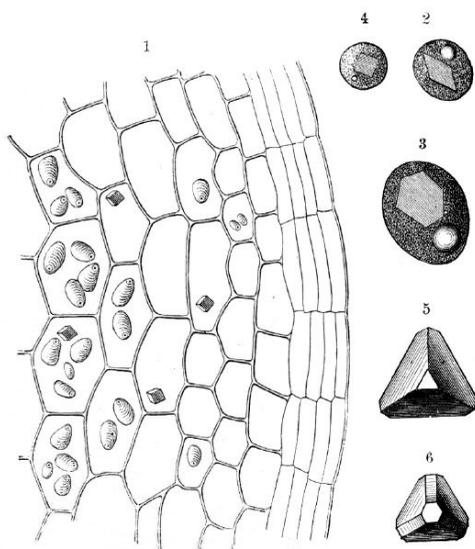


Fig. 412. – Cristalloidi.

1) Cristalloidi e granuli d'amido nelle cellule della patata – 2-4) Granuli con cristalloidi e globoidi – 5-6) Cristalloidi del ricino.

nei loro semi. Nelle cellule vegetali si osservano spesso, accanto ai grani d'amido, dei corpi cristalliformi che sono però rimasti molli ed elastici e contengono sostanze albuminose. Queste interessanti formazioni, che assumono diverse forme si dicono *cristalloidi* (fig. 412).

Come l'amido, di composizione relativamente tanto semplice, si presenta in svariatissime forme, così e in più alta misura, avviene per l'albumina che è un corpo tanto complesso.

L'albumine delle uova che tutti conoscono, consiste essenzialmente di albumina. Nell'acqua fredda, come si sa, essa si scoglie facilmente, ma nell'acqua calda si coagula separandosi e diviene insolubile. Allo stato di *fibrina* l'albumina costituisce una parte essenziale del tessuto animale, particolarmente dei muscoli. In questa forma è ancora liquida alla temperatura del sangue, ma solidifica a temperature inferiori, perciò le nostre membra nella morte o in un congelamento, divengono rigide e intirizzate. La *caseina* del formaggio è l'albumina contenuta nel latte, che si separa da questo mediante opportuno trattamento. Quella albumina che compare nelle cellule vegetali, specialmente nei legumi (fagioli, piselli, ecc.) si chiama *legumina*. Di questa sono composti i piccoli grani proteici che si trovano particolarmente inclusi nelle cellule dei semi ricchi di olio, accanto a globoidi cristallini di analoga composizione. Anche nel torlo dell'uovo si riscontrano questi grani. La *ptialina* della saliva, la *pepsina* dello stomaco, e le altre secrezioni mucose sono pure corpi albuminosi: lo stesso dicasi del-

la gelatina delle ossa, della *sostanza cornea* di cui sono composte le corna degli animali, le unghie, i capelli, ecc. Il sangue consta per la massima parte di albumina e fibrina; il *protoplasma* è, almeno in gran parte, albumina vivente priva di qualunque organo, e le sue vere proprietà chimiche restano a noi ancora più imperfettamente conosciute di quelle dell'albumina stessa.

i) Riassunto.

Diamo ora uno sguardo retrospettivo alle forme e maniere di legami che uniscono i pochi elementi chimici, da cui trae origine l'intera natura vivente.

Vediamo, innanzi tutto, che le grandi serie di corpi finora ricordati, i quali non sono poi che una piccola parte delle sostanze che si possono per la stessa via ottenere, constano solo dei quattro elementi organogenici, carbonio, idrogeno, ossigeno e azoto, a cui si aggiungono pochi altri elementi in piccolissime quantità: il cloro, lo zolfo, il fosforo. Il fosforo si trova come fosfato calcico nelle ossa ed anche nella materia albuminosa del cervello, nell'urina ed in diverse parti delle piante; inoltre il ferro, il potassio, il sodio, il silicio, e altri metalli in forma di sali; ma tali corpi devono sempre considerarsi come accessori per quanto talvolta abbiano anche proprietà importantissime nelle funzioni della vita. Solo però quei pochi elementi, in pochi gruppi, formano il quadro complesso del mondo vivente. Di questi gruppi principali ricordiamo sinteticamente i più importanti ca-

ratteri.

È notevole soprattutto il fatto, che i corpi organogenici formano certi gruppi caratteristici che durante gli spostamenti e le variazioni nelle reazioni chimiche, rimangono per lo più inalterati, formando così una speciale classe di corpi di determinate proprietà chimiche. Questi gruppi, i quali non sono che parte dei veri e completi corpi composti, e perciò restano sempre con una o più valenze libere per riunirsi agli altri gruppi, li possiamo chiamare *pseudoelementi*. Essi infatti, per la loro resistenza e costanza, come per lo speciale carattere che comunicano ai corpi di cui fanno parte, hanno una grande somiglianza cogli autentici elementi. Gli atomi di questi gruppi possono poi in certe circostanze separarsi, ed allora si alterano le proprietà dei composti in cui essi sono compresi. Questi gruppi sono:

– CH ₃	metile	o gruppo del metano
= CH ₂	etile	o gruppo dell'etilene
≡ CH	propile	o gruppo dell'acetilene
– OH	idrossile	o gruppo degli alcool
– COOH	carbossile	o gruppo degli acidi
– COH		o gruppo delle aldeidi
– COO		o gruppo dei sali eteri
– NH ₂		o gruppo delle amine
– NH		o gruppo degli ammidi
– C ₆ H ₅	fenile	anello benzoico monovalente

Le diverse specie di composti organici si distinguono

in questa maniera:

Tutti quelli che non contengono la catena chiusa o anello, si dicono *corpi grassi*; tutti quelli che hanno invece la formula ad anello si dicono *aromatici*.

Tutti i corpi contenenti solo gruppi CH_3 , CH_2 e CH o solo anelli, o questi e quelli insieme, sono *puri idrocarburi*, che non constano dunque che di C e di H e perciò combustibili, che si combinano con l'ossigeno nella combustione; la quale è tanto più difficile quanto più gruppi CH_2 essi contengono, poichè coll'aumento di questi si eleva gradatamente il punto di ebollizione degli idrocarburi.

Per conseguenza, gli idrocarburi composti di pochi membri sono gassosi in condizioni normali; quelli che ne contengono di più sono liquidi; e finalmente, quelli che ne hanno moltissimi sono solidi. Nei composti aromatici le serie cominciano già coi liquidi. Gli idrocarburi sono gas, oli o sostanze cerose o resinose. Gli oli delle serie a catena aperta sono caratteristicamente grassi; quelli invece delle serie a catena chiusa sono eterei e volatilizzano senza lasciare alcun residuo.

I corpi che contengono il gruppo OH (idrossili) si dicono *alcool* o, quando siano disposti a catena chiusa, *fenoli*; anche i più bassi membri della serie alcoolica sono già liquidi. Gli alcool sono infiammabili, subordinatamente al loro punto di ebollizione che, come in tutti gli altri composti organici, sale col numero dei membri della catena. Abbiamo alcool bivalenti e polivalenti, secondo che l'idrossile OH appare in essi una o più volte. I

corpi ad anello con gruppi idrossilici, si distinguono in due classi: quelle dei *fenoli*, nei quali l'OH si trova unito direttamente all'anello, e quelle degli *alcool*, in cui fra l'anello e l'OH si trovano frapposti uno o più altri gruppi. Questi rassomigliano nel loro comportamento agli alcool a catena, mentre i fenoli si avvicinano agli acidi, ed hanno per lo più azione disinfettante (acido fenico); gli alcool bruciano, i fenoli no. Nei primi viene dunque assorbito ossigeno per azione degli atomi d'idrogeno già presenti, mentre invece nei gruppi idrossilici direttamente uniti all'anello dei fenoli, gli atomi di idrogeno si trovano stabilmente fissati, e l'ossigeno può staccarsi, facilitando così l'ossidazione di altri corpi.

Se nella catena o nell'anello appare il gruppo COOH (carbossile), il corpo che lo contiene è un *acido organico*, perciò cede ad altri corpi dell'ossigeno, e favorisce la combustione (che è un'ossidazione), senza però essere esso stesso infiammabile. Il numero degli acidi organici, specialmente aromatici, è molto considerevole.

Se un corpo unito a un idrossile OH, si combina con un altro contenente un carbossile COOH, ossia un alcool con un acido, avviene allora, che si scinde una molecola d'acqua e rimane il gruppo -COO- che caratterizza un etere. Gli eteri hanno chimicamente proprietà saline, quindi reazione neutra, mentre poi, per il loro contenuto relativamente elevato di ossigeno, favoriscono la combustione. Questo caso si avvera specialmente negli eteri della glicerina, alcool trivalente, cioè nei corpi grassi.

Quando nella formula, tra i diversi gruppi, si trovano uno o più atomi di ossigeno isolati, si avrà un *etere semplice*. Questo ossigeno si unisce molto facilmente cogli atomi di idrogeno presenti nel composto, formando acqua; donde la grande infiammabilità degli eteri.

Un'altra serie di composti sono le *aldeidi*, caratterizzate dal gruppo COH, che stanno tra gli alcool e gli acidi, ed hanno spiccata tendenza a togliere ossigeno dai corpi con cui vengono a contatto, per formare acidi. Per questa loro azione, le aldeidi sono nocive alla vita dei microrganismi e hanno potere disinfettante.

Il gruppo NH₂ caratterizza i nitrocomposti e può entrare in altri composti unendosi per un H: gli *ammidi* poi si distinguono dal gruppo bivalente NH; a tali corpi, che hanno proprietà ammoniacali, spettano compiti importanti nelle funzioni dell'organismo.

Oltre questi gruppi, accennammo alla grande importanza degli *idrati di carbonio*, nei quali sempre abbiamo atomi di H in numero doppio di quelli di O, senza che mai però si uniscano in acqua; per cui sarebbe errato assegnar loro H₂O come simbolo caratteristico, che invece potrà definirsi in =(CH)–OH. Gli idrati di carbonio non si combinano con gruppi ad anello.

Anche gli *alcaloidi* e gli *albuminoidi*, speciali e complessi composti, debbono figurare fra queste sostanze. I primi, come indica il loro nome, hanno proprietà alcaline; l'albumina, invece, è un complicato miscuglio di tante diverse qualità e proprietà, che i suoi composti non si possono assegnare ad una determinata categoria di

corpi.

È molto importante il fatto, che corpi di composizione affatto uguale, in rapporto al numero e alla qualità degli atomi, hanno tuttavia proprietà differenti secondo il diverso modo di aggruppamento di questi atomi; cosicchè sono soltanto tali aggruppamenti, espressi dai rispettivi simboli, che determinano il carattere dei composti.

Noi li abbiamo chiamati *isomeri*, e i più caratteristici sono quelli dei composti ad anello, nei quali tutti i membri sono fra loro saturati. Al loro posto si potrebbe porre anche catene aperte, con atomi di carbonio uniti per tre valenze, che avrebbero il carattere dei composti non saturi, con tendenza ad unirsi ad altri atomi o gruppi, il che non accade invece nei composti ad anello.

Con queste disposizioni, relativamente molto semplici, la natura ha creato migliaia di diversi corpi organici, i quali hanno compiti svariatissimi nel mondo naturale; prova, anche questa, come, pure nella complicatissima attività degli organismi viventi, debbano dominare leggi semplici che il futuro sicuramente ci svelerà.

Nelle seguenti parti di quest'opera sulla cristallografia e sui rapporti delle forze chimiche col calore, la luce, l'elettricità, appariranno ancora più visibilmente quelle leggi che sono il fondamento comune dei processi fisici e chimici.

4 – Cristallografia.

Prima di occuparci dei rapporti tra fenomeni fisici e proprietà chimiche della materia, dobbiamo intrattenerci sopra uno dei più meravigliosi fenomeni nella formazione dei corpi, al quale abbiamo già accennato in altri capitoli, e che ha una importantissima parte nei processi chimici: la *cristallizzazione*.

Sappiamo già che elementi e composti chimici, nelle più disparate condizioni, possono cristallizzare; cioè nel passaggio dallo stato liquido o gassoso a quello solido, assumere determinate forme simmetriche che per lo stesso corpo sono per lo più uguali. Questa proprietà, che evidentemente è in relazione con la intima natura dei corpi, ci è di grande utilità per il loro riconoscimento.

Come nella introduzione alla chimica, crediamo utile anche qui dare un cenno schematico delle forme cristalline, aggruppandole secondo i loro caratteri esterni; più tardi ci volgeremo allo studio della genesi di questo fenomeno ancora tanto misterioso.

Benchè sia facile accorgersi, dalla semplice osservazione di un cristallo, che la sua particolare ed elegante forma corrisponde a determinate leggi di simmetria, pure è difficile rendersi conto di queste leggi, poichè i cristalli tendono a forme pure e precise, ma per lo più assumono aspetto risultante dalla fusione di diverse forme semplici. Si possono considerare questi cristalli come i fiori del regno minerale, per la loro attraente

simmetria e la bellezza dei colori. Come nei fiori, abbiamo deviazioni dal tipo normale, pur rimanendo forme tipiche, per le diverse specie, che permettono di aggrupparli in famiglie e ordini diversi. Anche i cristalli crescono e si sviluppano per effetto di energie naturali, come può dirsi dei fiori.

Abbiamo già veduto che le proprietà ottiche dei cristalli sono dipendenti dai loro assi di simmetria, come le loro proprietà elettriche o magnetiche, termiche ed elastiche. Dobbiamo ammettere, che la composizione dei cristalli sia strettamente connessa-

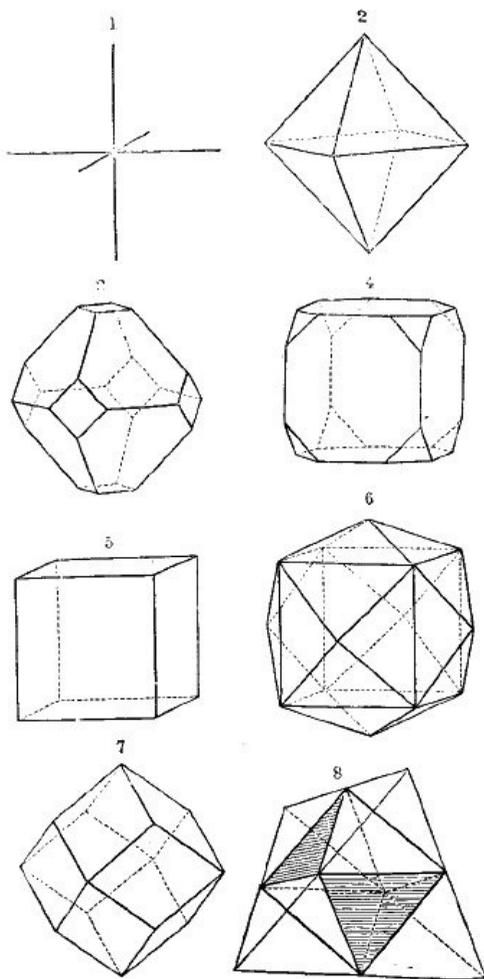


Fig. 413. – Forme semplici del sistema regolare. 1) i tre assi – 2) Ottaedro – 3) Ottaedro smussato – 4) Passaggio al cubo – 5) Cubo – 6) Cubo piramidato – 7) Rombododecaedro – 8) Forma emiedrica.

sa a queste direzioni di struttura, per cui risulta opportuno riferirsi ad esse per la loro classificazione.

Ogni cristallo, come corpo materiale, ha tre dimensioni, e quindi si devono distinguere in esso almeno tre assi. Il caso più semplice è che questi tre assi siano di uguale lunghezza e perpendicolari fra loro (fig. 413.1). Le estremità di questi tre assi formano sei punti che limitano angoli, superficie, spigoli di un corpo geometrico regolare. Diversi corpi possono soddisfare a queste condizioni: per esempio, se facciamo passare un piano per ogni tre di questi punti avremo un ottaedro limitato da angoli e triedri, uguali e con uguali angoli, superficie, e spigoli (fig. 413.2). In questa forma cristallizzano la magnetite e il diamante: ma per ottenere un maggior numero di riflessioni, viene data ai diamanti una sfaccettatura speciale. Il carbonio che dà origine all'intero mondo organico, cristallizza nelle forme più semplici, mentre poi nella grafite assume una forma assai meno simmetrica. Il carbonio, sotto ogni riguardo, si può considerare come il più trasformabile degli elementi naturali. La natura, nelle infinite trasformazioni con le quali si aggruppa la materia in elementi solidi, segue sempre quelle leggi di simmetria, che ci mostrano la regolarità delle sue leggi fondamentali. Se noi mozziamo i sei spigoli dell'ottaedro, formando in loro luogo sei superficie piane e perpendicolari agli assi fondamentali, avremo costruito un corpo con quattordici facce (fig. 413.3), senza alterare il rapporto fra i tre assi stessi.

Se si avvicinano queste sei nuove superficie al punto

d'incontro dei tre assi, fino a che esse si incontrino e si taglino fra loro, mantenendole sempre nella stessa posizione rispetto agli assi, avremo la forma rappresentata dal n. 4; in questa forma cristallizza il solfuro di piombo. Se le facce si avvicinano ancora, fino a fare sparire le più piccole rimaste agli spigoli nella fig. 4, avremo ancora un corpo regolare il cubo esaedro (fig. 413.5); così cristallizza il salgemma. Anche lo spatofluore ha questa semplice forma, che spesso è mascherata dall'aggruppamento di diversi cubi riuniti insieme. Applicando a ciascuna parte del cubo, una piramide a quattro facce, per gli apici delle quali passano i tre assi, abbiamo ancora un corpo regolarissimo a ventiquattro faccie uguali fra loro (fig. 413.6).

Possiamo anche smussare gli otto angoli diedri formati dalle facce dell'ottaedro e avremo allora, senza turbare i rapporti degli assi, il corpo rappresentato nella figura 415: facciamo svilunare anche queste nuove facce e avremo finalmente

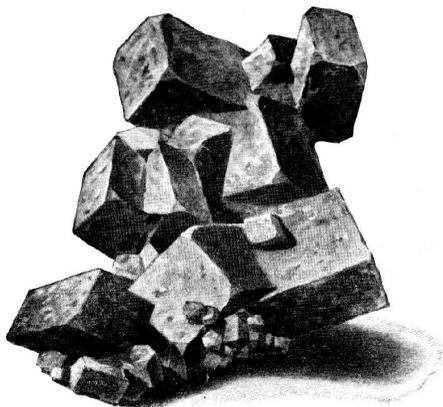


Fig. 414. – Cristalli di galena.

un rombododecaedro (fig. 413.7), ossia un cristallo a dodici facce uguali, ciascuna delle quali è un parallelogrammo.

Anche per altra via, la natura accresce il numero delle forme cristalline: essa lascia talora cre-

scere due facce di un cristallo, finchè le taglia con un'altra cresciuta altrettanto: tale fenomeno si chiama *emiedria*. Prendiamo ancora l'ottaedro, e allarghiamo quattro delle sue facce che non si tagliano tra loro, con angoli diedri, e ne risulterà una piramide triangolare che con la sua base costituirà dunque un tetraedro (fig. 415.2) a facce uguali e col solito rapporto degli assi. Sviluppando invece le altre quattro facce dell'ottaedro, avremo ancora un figura uguale in ogni parte, ma giacente diversamente (fig. 415.2); i due corpi sono congruenti fra loro come due immagini speculari.

Se uniamo un tetraedro con un cubo, quest'ultimo viene solo ad essere smussato a quattro dei suoi spigoli, mentre gli altri quattro rimangono invariati; questa figura di apparenza affatto irregolare ha pure ancora i tre soliti assi di uguale lunghezza e perpendicolari fra loro (fig. 415.3)

Riduciamo finalmente con la emiedria il cubo piramidato, di ventiquattro facce ad un corpo a dodici facce, ed

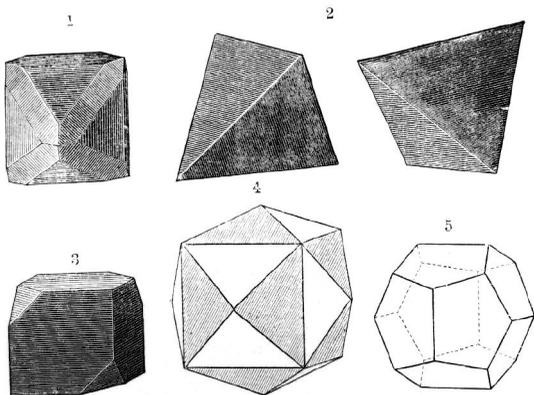


Fig. 415. – Forme del sistema regolare. 1) Ottaedro con spigoli smussati – 2) Tetraedri simmetrici – 3) Unione del cubo col tetraedro – 4-5 Passaggio dal cubo piramidale al pentagono dodecaedro.

avremo il pentagono dodecaedro, le cui facce ancora uguali hanno cinque angoli uguali (fig. 415.5).

Tutti i corpi che soddisfano alla condizione di avere tre assi uguali e perpendicolari fra loro formano il primo gruppo di cristalli, cioè il sistema monometrico o regolare o tesserale. Nonostante la diversità delle loro superficie, i cristalli appartenenti a questo sistema, per il semplice rapporto dei loro assi, hanno grande somiglianza dal lato fisico.

Altri rapporti di simmetria nascono se le forme cristalline sono costruite ancora su tre assi perpendicolari fra loro, dei quali però solo due hanno la stessa lunghezza, e l'altro è più lungo o più corto. Questo sistema si dice *tetragonale* o quadragonale, poichè i due assi uguali si possono considerare come diagonali di un quadrato; il terzo è l'asse principale ed è perpendicolare ai primi due (fig. 416).

La prima figura di questo sistema è ancora un ottaedro, che però in una direzione, quella dell'asse principale, è più lungo o più corto dell'ottaedro regolare, e si chiama quadrato ottaedro o doppia piramide tetragonale (fig. 416.2). L'asse principale non è qui, come in altri sistemi cristallini, in rapporto semplice con gli altri assi, cioè in tale rapporto che possa esprimersi con numeri interi; però per una stessa sostanza le proporzioni rimangono sempre uguali. Nei cristalli di ferrocianuro potassico, che appartiene a questa classe, il rapporto degli assi è di 1,77 (fig. 416.3).

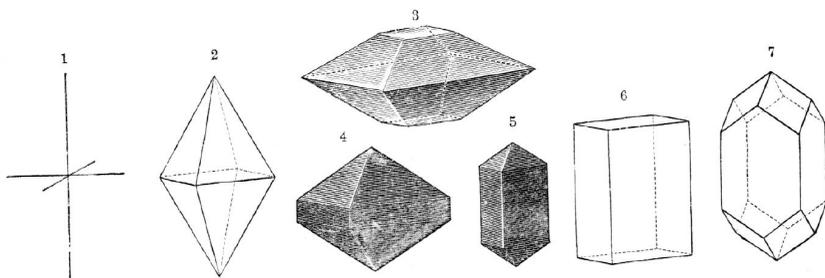


Fig. 416. – Forme del sistema tetragonale o quadratico.
 1) Gli assi – 2) Doppia piramide – 3) La stessa smussata – 4 e 5) Formazione del prisma – 6) prisma – 7) prisma e piramide.

Anche per questo sistema possiamo, pur mantenendo invariati i rapporti degli assi, procedere agli stessi cambiamenti di forma del cristallo fondamentale, che abbiamo già esaminati per il sistema regolare. Per esempio, smussiamo i quattro angoli diedri formati dalle due basi delle piramidi, e avremo le due forme n.° 4 e 5 della figura 416: in quest'ultima forma cristallizza l'*arseniato potassico*. Se infine, smussando anche i due spigoli all'estremità dell'asse principale nella fig. n.° 5, facciamo sparire affatto le due piramidi, avremo il prisma quadrangolare (n.° 6), che corrisponde al cubo di questo sistema. Se smussiamo gli otto spigoli di questo corpo, ricompariranno le piramidi composte col prisma (n.° 7); mentre avremo la forma (n.° 3.) in cui cristallizza il ferrocianuro potassico, se tagliamo gli spigoli superiori e inferiori del nostro quadratottaedro. Si potrebbero formar così molte altre combinazioni, le quali tutte sono rappresentate in natura, e soddisfano alle condizioni di questo sistema.

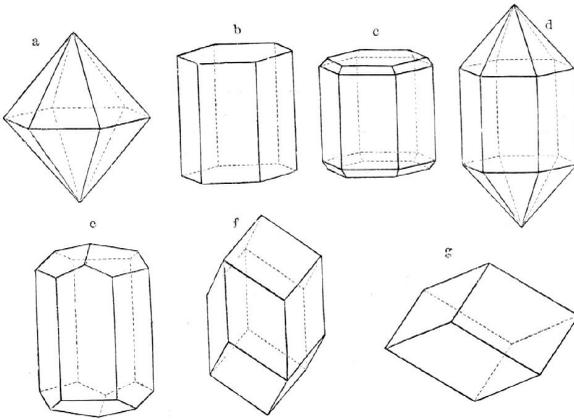


Fig. 417. – Sistema esagonale.

a) Piramide – b) prisma – c-d) prisma con piramide – e-f) prisma con romboedro – g) romboedro.

Nel terzo sistema vi sono quattro assi, dei quali tre eguali fra loro, nello stesso piano, si tagliano reciprocamente con angoli uguali, cioè di 120° ; mentre il quarto, che è l'asse principale, è perpendicolare al piano degli altri

tre, ed ha lunghezza diversa. Poichè in questo sistema i tre assi uguali originano un poligono regolare a sei angoli, esso prende il nome di *sistema esagonale* (fig. 417).

Alcune delle forme principali di questo sistema sono rappresentate nella fig. 417, e si sviluppano presso a poco come abbiamo veduto per i sistemi antecedenti. Cristallizzano in questo sistema il quarzo e molte pietre preziose, come il topazio, lo smeraldo, lo zaffiro.

Queste forme cristalline possono dare origine ad altre svariate, per emiedria: se, per esempio, lasciamo crescere una faccia ogni due della doppia piramide esagonale, dalla figura a dodici facce, ne nascerà, una a sei facce, il romboedro (fig. 417. g), il quale presenta poca somiglianza con la sua forma fondamentale, e che pure, man-

tenendo il rapporto degli assi ha grande analogia fisica con questa. In tal modo cristallizza la calcite, ben nota per la sua proprietà della doppia rifrazione.

Il quarto sistema, il sistema trimetrico o ortorombico, ha di nuovo tre soli assi e perpendicolari fra loro, ma a differenza dei due primi sistemi, tutti e tre gli assi hanno lunghezza diversa (fig. 419). La doppia piramide di questo sistema ha dunque un rombo per base, ed è come compressa da due parti. In questo

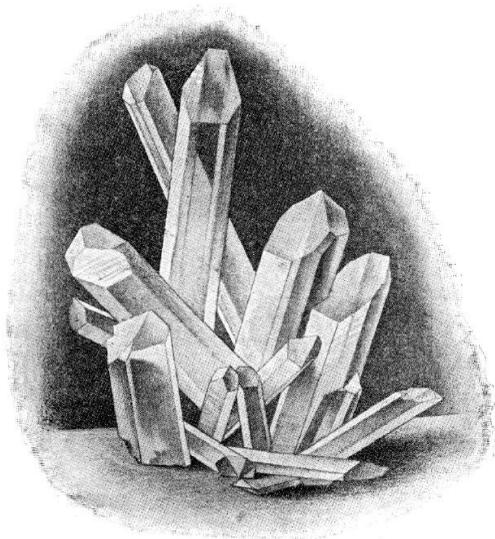


Fig. 418. – Cristalli di quarzo.

sistema cristallizza lo zolfo. Se la diagonale maggiore del rombo di questo sistema è 1, l'altra diagonale sarà 0,8 e l'asse principale 1,9; come si riscontra infatti nello zolfo, che cristallizza in questo sistema. Anche la piramide rombica, con lo smussamento degli spigoli orizzontali, si trasforma in prisma rombico, che ha quattro spigoli obliqui, mentre le facce superiore e inferiore, sono perpendicolari agli altri quattro (fig. 417 n. 3).

Fra le svariate combinazioni possibili in questo sistema, è degna di nota quella risultante dallo smussamento di due angoli diedri opposti, della piramide prismica

rombica, cioè la colonna esagonale, la cui sezione trasversale, diversamente da quella del sistema esagonale, può avere altri angoli, invece di quelli di 120° , formati dagli assi di quest'ultimo (fig. 419, n. 2).

Nel sistema rombico cristallizzano la tormalina, la barite, l'aragonite, ecc.

Un particolare interesse presentano qui le forme emiedriche, poichè formandosi l'una o l'altra coppia di facce, dalla doppia piramide rombica nascono tetraedri che non si sovrappongono come le forme precedenti, benchè presentino angoli affatto uguali; essi stanno fra loro come l'immagine speculare all'oggetto reale, in cui il lato destro corrisponde a quello sinistro (fig. 421, 1 e 2).

Vedemmo già, parlando dei tartrati, quanto siano interessanti queste forme accoppiate.

Il quinto sistema cristallino, detto *monoclino*, ha tre assi di diversa lunghezza, e uno di essi non è perpendicolare al piano formato dagli altri due, come mostra la doppia piramide (fig. 419, n. 5). Anche da queste piramidi possiamo formare altre figure, come negli altri sistemi. Il prisma monoclino si distingue dal rombico solo per questa posizione obliqua della linea mediana alla sua base (fig. 421, n. 3). In questo sistema il gesso forma i così detti *specchi*, e vi appartengono pure il solfato di ferro, il sale di Glauber, la soda, ecc.

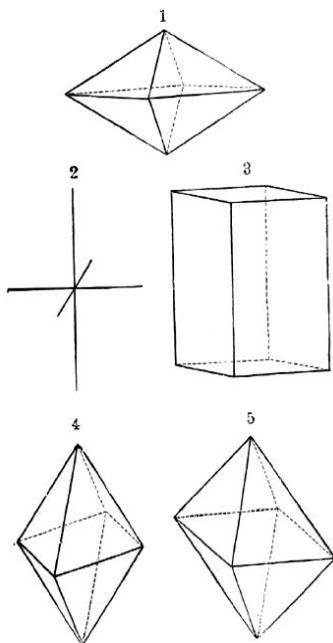


Fig. 419. - Forme del sistema

Il sesto sistema finalmente dicesi *triclino*, ed in questo tutti e tre gli assi sono disuguali di lunghezza e formano angoli obliqui a vicenda. L'unica regolarità che rimanga a questi cristalli, e che serve a dare posizione parallela a due facce, è che, anche in questo, come negli altri sistemi, gli assi si intersecano nei loro punti centrali.

La forma fondamentale è la doppia piramide triclina, che si distingue dalle altre solo in ciò, che la sua base, come nel sistema precedente, non è perpendicolare alla retta che unisce i due vertici delle piramidi, e in secondo luogo anche le diagonali di questa base non sono perpendicolari tra loro (fig. 419 n. 5). Anche da questo abbiamo *prismi triclini* (fig. 421, n. 4) e altre forme. Il solfato di rame ed alcuni feldispati sono triclini.

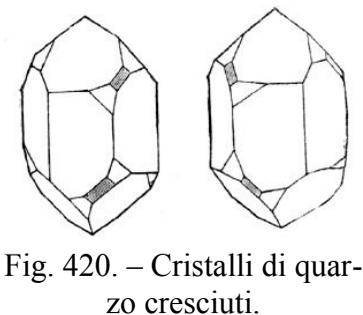


Fig. 420. - Cristalli di quarzo cresciuti.

Su questi sei gruppi principali è basata la classificazione dei cristalli, dei quali non abbiamo accennato qui che alle forme principali; senza poterci occupare delle innumerevoli forme secondarie e derivate che assumono le varie sostanze, allontanandosi dalla forma fondamentale per tante combinazioni di spuntature, allunga-

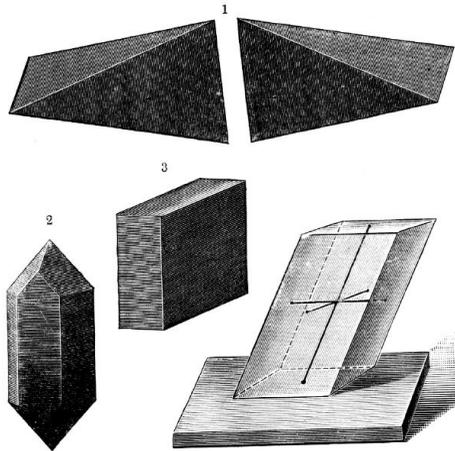


Fig. 421. – 1) Tetraedri rombici. 2) Piramide esagonale. 3) Prisma monoclino. 4) Prisma triclino.

ture, smussamenti, emiedrie, spostamento delle facce, ecc., per cui spesso è difficilissimo definire il sistema di un cristallo di cento o più facce. Anche nei due cristalli di quarzo (fig. 420), che si riconoscono subito appartenenti al sistema esagonale, la loro origine è mascherata da smussamenti, ecc., benchè ogni faccia, angolo e spigolo abbia la sua simmetria costante; e ponendoli accanto, nonostante la complicazione della loro struttura, si presentano come due perfette immagini speculari. Può dirsi che non si può immaginare alcun corpo simmetricamente limitato da superficie piane, che non sia rappresentato in natura da qualche cristallo.

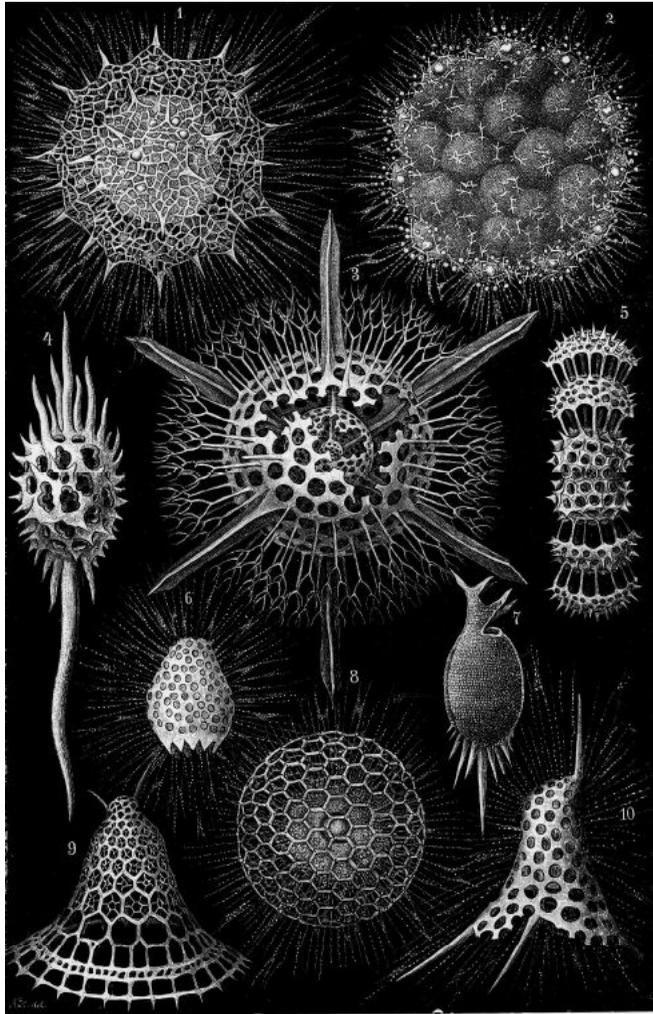
Questa esatta legge matematica, secondo la quale vediamo la materia disporsi allo stato solido, ci dimostra che in quei mondi molecolari che si uniscono in sistemi

fissi e immutabili, domina una direzione costante, che si potrà un giorno definire matematicamente dalle forme dei cristalli, come dalle figure epicicliche del sistema planetario Tolemaico siamo giunti a dedurre la legge che governa i movimenti dei pianeti, cioè quella della gravitazione universale. Torneremo a parlare dei rapporti scoperti finora tra le forme dei cristalli e le loro proprietà fisiche e chimiche.

5. – Peso atomico e struttura molecolare

Studiando le leggi dei fenomeni chimici ci troviamo subito di fronte ad una regola che domina tutte le combinazioni chimiche; quella che definisce i semplici rapporti numerici fra le più piccole particelle dei corpi che formano fra loro i composti stabili, distinti dai miscugli fisici, possibili coi medesimi rapporti di quantità. A quello che abbiamo detto a questo proposito, nell'introduzione alla nostra parte chimica, aggiungiamo ora quello che ha relazione colle generali leggi fisiche.

Ci si può domandare in che modo siamo giunti a sapere, per esempio, che due atomi di idrogeno con uno di ossigeno formano la molecola d'acqua, e fino a che punto abbia valore questa affermazione.



Radiolarie.

1. *Rhizosphaera leptomita*. – 2. *Sphaerouzoum Ovodimare*. – 3. *Actinomma drymodes*. – 4. *Lithomespilus flammabundus*. – 5. *Ommatocampe nereides*. – 6. *Carpocanium Diadema* -7. *Challengeron Willemoesii*. – 8. *Heliosphaera inermis*. – 9. *Clathrocyclas Ionis*. – 10. *Dicthyophimus Tripus*.

Ecco il fatto su cui si appoggia questa teoria: se scomponiamo 18 grammi d'acqua per mezzo della corrente elettrica, risulta che 16 parti in peso sono di ossigeno e 2 di idrogeno. Come volume, però, l'ossigeno occupa solamente la metà di quello dell'idrogeno, e da ciò apprendiamo che l'ossigeno è 16 volte più pesante dell'idrogeno. Ma sappiamo già che questo numero 16 rappresenta anche il peso atomico, cioè la più piccola parte, non più divisibile, ma pure non infinitamente piccola, di ossigeno; questa particella capace di combinarsi con altre di corpi diversi, è dunque 16 volte più pesante di una simile parte di idrogeno.

Ciò è già qualche cosa di diverso da quel che abbiamo potuto affermare sul peso specifico di questa sostanza, non essendovi per il peso specifico alcun limite di divisibilità. Ammettendo determinati rapporti di unione degli atomi, poichè uno di questi può combinarsi con numero diverso di atomi differenti, è tuttavia verosimile ammettere che tali rapporti siano molto semplici, potendosi esprimere con numeri interi.

Non conosciamo ancora le leggi che regolano l'affinità e le combinazioni dei corpi chimici, ma supponiamo, che, analogamente a tutte le altre leggi naturali, siano semplici e tendano alla costituzione di corpi sempre più complessi. E poichè tale semplicità di rapporti è confermata nelle combinazioni chimiche, è veramente probabile che questi atomi esistano e siano non infinitamente piccoli, ma per noi indivisibili. Qualche cosa di simile risulta anche dallo studio delle proprietà fisiche; con la

differenza, che allora si tratta solo di molecole che fisicamente agiscono sempre come un tutto, mentre nella chimica si scompongono e ricompongono le molecole, e così dobbiamo occuparci del peso atomico delle sostanze fondamentali.

Per poter però dimostrare assolutamente, che i pesi atomici dell'O e dell'H stanno solo e sempre in quel rapporto di 16 a 1, non basta l'esperienza sopra citata; ma occorre provare che nella combinazione dell'acqua si ha sempre un atomo di O per due di H, e non per esempio il composto HO invece di H₂O. Se ammettiamo che il peso atomico dell'O sia 8 invece di 16, i risultati del nostro esperimento sarebbero gli stessi, poichè gr. 1 di H più gr. 8 di O danno insieme gr. 9 di acqua che è appunto la metà della somma dei componenti nell'esperienza precedente. Ma qui l'atomo di O ha la metà di grandezza che nel primo esperimento. Solo una serie di esperienze può quindi decidere quale sia il minimo rapporto numerico di combinazione, quindi il vero peso atomico.

Così vediamo che da gr. 44 di anidride carbonica si separano gr. 32 di O e gr. 12 di carbonio: si potrebbe credere da questa esperienza che il peso atomico del carbonio sia 12, quello dell'ossigeno 32, e la formula del carbonio CO. Ma abbiamo già veduto che nell'acqua si separa una quantità di O minore di questa; quindi la formula CO è falsa, e la vera deve essere almeno CO₂; il che significa che nell'anidride carbonica 2 atomi di O sono legati con 1 di C. In realtà, esiste anche, come sap-

priamo, il composto CO, l'ossido di carbonio, nel quale sono unite 12 parti in peso di C con 16 di O.

Per quanto si esaminino gli innumerevoli composti dell'ossigeno, questo non è mai rappresentato da un rapporto minore di 16; per cui accettiamo questa cifra come peso atomico dell'O, e ne deduciamo che nell'acqua si trovano uniti ad un atomo di O, due di H: quest'ultimo si trova poi in molti composti in proporzione, che è metà di quella dell'acqua. Così nel biossido di idrogeno, il suo rapporto coll'ossigeno è 1:16. Possiamo dunque scrivere la formula di questo composto HO, se altre conoscenze sulle valenze chimiche non ci portino a ritenere che qui, con gli stessi rapporti di peso, due atomi dei due elementi siano uniti con la formula H₂O₂.

Lo studio di queste proporzioni di peso, importantissimo anche per determinare praticamente le quantità degli elementi necessari alla formazione di composti chimici, dicesi *Stechiometria*. Coll'aiuto di questa possiamo, per esempio, determinare quanto ferro si può ricavare dal solfuro di ferro FeS₂, separandone lo zolfo. Sapendo che il peso atomico dello zolfo è 32, su 120 gr. di solfuro di ferro avremo un contenuto di puro ferro di $120 - (2 \times 32) =$ gr. 56: questo 56 è anche il peso atomico del ferro. Nello stesso modo si risolve qualunque altro simile problema, mediante una proporzione. Avendo per es. gr. 200 di FeS₂, questa quantità sta al peso molecolare 120 come 5 a 3 perciò lo zolfo contenutovi sarà $\frac{5}{3} \times 64$, e togliendo questo prodotto da 200 si avrà gr. 93,33 che è la quantità del ferro. Se da questa volessimo

di nuovo ritrovare il peso atomico del ferro, dovremmo moltiplicare questo numero per $\frac{3}{5}$, e riottenremo 56.

Le proprietà fisiche e chimiche delle sostanze sono strettamente collegate ai loro pesi atomici e molecolari, e questa relazione vogliamo ora studiare; perciò, prima di tutto, esamineremo le relazioni che passano fra i pesi atomici degli elementi e che più facilmente appaiono.

Dalton aveva già nel 1808 compilato una prima tabella di pesi atomici, e Avogadro, nel 1811, aveva definito con precisione maggiore il concetto di peso molecolare, ed enunciata la legge che da lui prende il nome; cioè, che la più piccola quantità di un elemento che entra nelle sue combinazioni, corrisponde al suo peso atomico. Le teorie moderne della Chimica son tutte fondate su questo principio e sulle leggi termodinamiche delle quali già abbiamo detto.

Abbiamo già dato la tabella dei pesi atomici secondo le più recenti determinazioni. Nelle antiche tabelle, il carattere di questi pesi relativi di combinazione appariva anche più evidente, perchè esse erano formate quasi esclusivamente con numeri interi approssimati. I numeri moderni devonsi considerare come numeri corretti, esprimenti le deviazioni che circostanze non conosciute producono nella legge semplice fondamentale. Del resto, questi rapporti chimici non possono tradursi in numeri con quella esattezza e costanza a cui siamo abituati in fisica e in astronomia: per esempio, se nella rifrazione della luce nell'aria si trascurassero certe correzioni, ne verrebbe a sparire la semplicità delle leggi del movi-

mento degli astri. La nostra scienza chimica è ancora nel primo stadio, in cui si può bene presupporre la non conoscenza di queste equazioni di correzione.

Se, prendendo come unità il peso atomico dell'idrogeno, che è l'elemento più leggero, troviamo che i pesi atomici degli altri elementi sono esprimibili con numeri interi, cioè multipli di quello, potremo subito supporre, con ipotesi assai plausibile, che tutti i corpi semplici siano combinazioni di più atomi di questo elemento primitivo, sebbene a noi manchi per ora il mezzo di dissociarli. Realmente col progresso della chimica il numero di tali supposti elementi, è diminuito, mentre d'altra parte si è accresciuto enormemente il numero dei composti con gli elementi già noti, e moltissimi altri elementi sono stati scoperti. Davy dal 1807 al 1808 scopriva il potassio, il sodio, il calcio, il bario, lo stronzio, il magnesio; e Wöhler nel 1827 l'alluminio: mentre, prima, gli ossidi di questi metalli leggeri erano considerati come corpi semplici.

Ora, per chiarire le idee, senza per altro affermare che le cose stiano proprio così, potremo, per esempio, supporre che questo elemento primitivo sia proprio l'idrogeno; e allora l'helium, il cui peso atomico è 4, sarebbe una combinazione di 4 atomi d'idrogeno: e il litio di 7; il carbonio di 12, l'ossigeno di 16 e così via. Che l'aggruppamento di più atomi omogenei possa produrre nella materia qualità diverse, lo abbiamo più volte veduto, in particolare nei diversi stati allotropici che la medesima sostanza può assumere; così l'ossigeno la cui mole-

cola è biatomica, diventa l'ozono quando si uniscono insieme tre atomi; e l'ozono sarebbe certamente considerato come un nuovo elemento, quando non fosse stato possibile decomporlo e ridurlo di nuovo in ossigeno.

Avremo dunque, in base alla nostra ipotesi, un solo unico elemento, i cui atomi primitivi sarebbero da per tutto, e formerebbero nei loro svariati aggruppamenti e movimenti tutte le specie di materia.

Con tal punto di vista, è di somma importanza scoprire le relazioni e i rapporti che passano fra i pesi atomici dei vari elementi. A tal fine ecco come si possono ordinare gli elementi, secondo il peso atomico del sistema naturale o periodico che Mendelejeff e L. Meyer hanno stabilito.

Sistema naturale degli elementi chimici

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			
H 1							He 4 16			
Li 7 16	Be 9 15	B 11 16	C 12 16	N 14 17	O 16 16	F 19 16	Ne 20 20			
Na 23 16	Mg 24 16	Al 27 17	Si 28 20	P 31 20	S 32 20	Cl 35 20	A 40 (20)			
K 39 24	Ca 40 25	Sc 44 26	Ti 48 24	V 51 24	Cr 52 27	Mn 55 25	?(60) (22)	Fe 56	Co 59	Ni 59
Cu 63 23	Zn 65 23	Ga 70 19	Ge 72 19	As 75 19	Se 79 17	Br 80	Kr 82 (22)			
Rb 86 22	Sr 88 24	Y 89 25	Zr 91 27	Nb 94 26	Mo 96 31	?	? (104) (24)	Ru 102	Rh 103	Pd 106
Ag 108 25	Cd 112 25	In 114 24	Sn 118 22	Sb 120 24	Te 127 23	J 127 29	X 128			
Cs 133 3	Ba 137 4	La 138 35	Ce 140	Nd 144 39	Sm 150 34	Gd 156				
Er 166 31	Dp 171 29	Yt 173 31		Ta 183 25	W 184			Os 191	Ir 193	Pt 195
Au 197	Hg 200	Tl 204	Pb 207 25	Bi 208		—				
—	—	—	Th 232	—	U 240	—				

Questa tavola presenta *otto* serie orizzontali quasi complete, e ogni serie contiene, con qualche eccezione, *otto* termini. Se vogliamo considerare i tre elementi Fe, Co, Ni, e così gli altri Ru, Rh, Pd, e finalmente Os, Sr, Pt, i cui pesi atomici quasi coincidono, come un solo elemento che si presenta in vari aspetti ovvero misto con una sostanza ignota, (perciò a questi gruppi si è assegnata una colonna speciale) gli elementi che vengono

a trovarsi nella stessa linea orizzontale, differiscono poco nel peso atomico, pure avendo proprietà chimiche molto diverse. Ma gli elementi che si succedono nelle colonne verticali hanno proprietà chimiche analoghe: così nella prima si trovano il litio, il sodio, il potassio; poi il rame, l'argento, l'oro; nella 2.^a il berillio, il magnesio, il calcio; nella 3.^a i metalli terrosi del gruppo dell'alluminio; nella 4.^a il carbonio e il silicio, poi il piombo con parecchi metalli della sua famiglia; nella 5.^a l'azoto, il fosforo, l'arsenico, l'antimonio; nella 6.^a l'ossigeno, lo zolfo, il selenio; nella 7.^a il fluoro, il bromo, il cloro, l'iodo; e finalmente nell'8.^a l'elio, il neon, l'argon, il krypton, lo xenon, tutti i nuovi elementi scoperti di recente nell'aria. Accanto ai pesi atomici sono indicate le differenze progressive nel senso verticale, e si vede subito che queste differenze sono simili in tutte le colonne e vanno crescendo verso il basso insieme col peso atomico. Le proprietà chimiche degli elementi sono dunque funzioni periodiche dei loro pesi atomici, e si ripetono in gradi diversi secondo il diverso multiplo aggruppamento di quegli ipotetici atomi primitivi.

Se, per esempio, all'atomo di sodio si aggiungono 16 di questi atomi primitivi, si ottiene il potassio che ha analoghe proprietà, ma un po' meno energiche. Così l'aggiunta di 16 di tali unità atomiche fa passare dal magnesio al calcio; dal carbonio al silicio; dall'ossigeno allo zolfo; dal fluoro al cloro. Fra altri elementi predomina la differenza 20, poi 24, lasciando da parte alcune differenze che in parte possono derivare dalle incertezze

sul valore dei pesi atomici. Queste relazioni sono così evidenti e così semplici, che a suo tempo han potuto servire a far prevedere l'esistenza e anche, fino a un certo punto, le proprietà di elementi nuovi, che poi sono stati realmente scoperti e hanno riempito i vuoti.

Nella Tabella si vedono ancora alcuni vuoti; per esempio, quelli corrispondenti ai pesi 60 e 104, nella colonna dei gas inerti dell'aria.

Queste periodiche differenze fra gli elementi sono analoghe a quelle che osserviamo nei composti; per esempio, fra i pesi molecolari dell'ossido di carbonio CO e dell'anidride carbonica CO₂ c'è la differenza di 16, peso atomico dell'ossigeno: e la stessa differenza è fra l'anidride solforosa e la solforica, e in generale fra ossidi e ossiduli. Questo parallelismo fra composti ed elementi ci autorizzerebbe all'ipotesi che anche in questi elementi affini si tratta di combinazioni di altro ordine.

Molto notevole e interessante è un'altra relazione fatta conoscere da RYDBERG nel 1897, secondo la quale i pesi atomici leggermente corretti variano con progressione regolare da un elemento all'altro, con solo pochi vuoti nei gradi superiori, ove del resto restano ancora da conoscere nuovi elementi. La progressione sarebbe così: primo, l'idrogeno col peso atomico 1; poi l'elium con 2×2 ; quindi il litio con $(2 \times 3) + 1$, il berillio con $(2 \times 4) + 1$, il boro con $(2 \times 5) + 1$, il carbonio con 2×6 , l'azoto con 2×7 , l'ossigeno con 2×8 , il fluoro con $(2 \times 9) + 1$, il neon con 2×10 , il sodio con $(2 \times 11) + 1$, il magnesio con

2×12 , e così via. Tutti gli elementi il cui peso atomico è espresso da un numero pari, cioè senza il termine additivo + 1, hanno anche valenza pari, cioè di 2 o 4, come ossigeno, carbonio...; gli altri elementi hanno col peso atomico dispari, anche valenza dispari, cioè di 1, 3 o 5, come idrogeno, azoto.... Per renderci ragione di questa relazione fra il peso atomico e la valenza, noi possiamo fare un'ipotesi. Se gli atomi dei cosiddetti elementi sono realmente formati da un aggruppamento di quei supposti atomi primitivi, una costruzione formata da un certo numero piccolo e pari di tali atomi, dovrà dar luogo a condizioni di simmetria, le quali saranno pure esprimibili con numeri pari e inversamente. Immaginiamo, per esempio, che questi atomi primitivi siano sferici; noi potremo formare con 4 di essi un tetraedro, che presenta all'accrescimento quattro facce; mentre con tre sfere, formiamo un triangolo con tre sole possibilità per l'accrescimento ulteriore e così via.

La difficoltà, e forse anche l'impossibilità di dissociare gli elementi chimici negli atomi primitivi originari, può dipendere dal fatto che questi atomi originari son forse fra loro a contatto immediato, il che invece sappiamo non essere degli atomi ordinarî nelle molecole, e meno ancora delle molecole, le quali sono sempre in relativo movimento.

Tali gruppi di atomi primitivi formerebbero, dunque, realmente, corpi geometrici, cristalli elementari, risultanti da tutte le possibili disposizioni di questi atomi elementari, che in media potremo considerare come sferici.

Fra di essi, nella loro compagine, non c'è posto per alcun altro elemento materiale; l'urto degli atomi liberi che consideriamo come causa di tutti i fenomeni fisici e chimici, non produce alcun effetto in questi gruppi primitivi, e perciò tutti gli agenti fisici, luce, calore ecc. possono muoverli e trasportarli come un tutto, ma non alterarli e disfarli. Le azioni di questi atomi dei corpi semplici, gli uni sugli altri, non possono dipendere che dalla loro forma.

Che gli atomi dei corpi semplici si uniscano a formar molecole con leggi determinate dalla loro valenza chimica, lo abbiamo già veduto. Ma allora questi atomi non formano molecole solide cristalline; anzi sappiamo, dallo studio generale dei fatti fisici e chimici, che essi non stanno serrati e aderenti nelle molecole, ma legati in un sistema relativamente mobile, che può anche più o meno facilmente essere disfatto nelle reazioni chimiche e nella dissociazione. E, anche dai fenomeni calorifici, abbiamo ragione di credere che il movimento termico sia non solo movimento delle molecole, ma anche degli atomi nell'interno delle molecole stesse.

E qui è il momento di considerare quella caratteristica proprietà degli atomi o dei gruppi atomici detti radicali, che è la *valenza*. Gli atomi di certi elementi possono scambiarsi e sostituirsi nelle combinazioni; così, per esempio, un atomo di cloro, di bromo, di iodio, fluoro possono sostituirsi ad un atomo di idrogeno e prenderne il posto, per cui diciamo che questi atomi sono equivalenti chimicamente. Invece, un atomo di ossigeno non

può nei composti prendere il posto di un atomo di idrogeno; ma sono invece due atomi di idrogeno che possono scambiarsi con uno di ossigeno, mentre gli atomi d'ossigeno si scambiano con gli atomi di magnesio, di calcio, di zolfo, ecc. Queste sostanze hanno dunque valenza eguale a quella dell'ossigeno, ma doppia di quella dell'idrogeno, e si chiamano perciò bivalenti. E così abbiamo poi elementi trivalenti, tetravalenti e pentavalenti.

Inoltre, abbiamo, specialmente nella chimica organica, gruppi atomici o radicali che nelle reazioni si distaccano e passano da un composto all'altro con le stesse leggi, e perciò si può loro assegnare una determinata valenza, come agli atomi semplici. Per esempio, il gruppo CH_3 detto metile, che si può scrivere $-\text{CH}_3$ è monovalente, perchè delle 4 valenze del carbonio una sola ha libera; invece il metilene $=\text{CH}_2$ è un gruppo bivalente; sono pure monovalenti l'ossidrile $-\text{OH}$, il carbossile $-\text{COOH}$, il fenile $-\text{C}_6\text{H}_5$ che è un anello benzolico diminuito di un atomo di idrogeno.

Si è concluso da queste leggi sperimentali, che tali atomi o gruppi atomici non possono esercitare la loro forza di affinità chimica, se non in certe date direzioni, cioè una, due, tre, ecc. secondo quella che noi abbiamo chiamata valenza, rappresentata dalle linee nelle formule simboliche. Non si deve dimenticare che tutto questo non è che un artificio, un mezzo per facilitare lo studio sistematico dei composti e delle loro reazioni, e che in realtà questa valenza nulla ci dice delle vere proprietà degli atomi. Oltre di questo, si sa che neppure tutti i fe-

nomeni delle reazioni chimiche rientrano nelle leggi della valenza; poichè vi è un gran numero di composti *non saturi*, nei quali una o più valenze non sono soddisfatte; e per certi corpi, come l'azoto, la valenza è variabile: e anche quando è costante, la forza chimica attiva, varia secondo le circostanze esteriori, specialmente pressione e temperatura. Si deve dire ancora, che queste affinità o attrazioni chimiche presentano leggi assolutamente diverse da quelle ordinarie forze d'attrazione che abbiamo potuto conoscere ed esprimere con tanta sicurezza. Secondo queste, le molecole più complesse e pesanti dovrebbero avere la maggiore energia chimica e proprietà multiformi, mentre invece avviene che esse sono le più deboli, senza che tuttavia si possa anche in questo senso stabilire una regola sicura.

Una non dubbia relazione è invece fra l'affinità chimica e il peso atomico degli elementi. Se nella tavola del sistema periodico a pag. 486 percorriamo le linee orizzontali da sinistra a destra, troviamo elementi sempre più diversi fra loro, cosicchè gli estremi di destra e di sinistra sono come poli opposti.

Troviamo infatti nella prima linea, il litio, il berillio, il carbonio, l'azoto, l'ossigeno e il fluoro, mentre l'idrogeno sta solo e separato. Gli elementi più lontani, come idrogeno e fluoro, hanno la massima affinità, mentre hanno proprietà elettriche contrarie.

Si può quindi parlare di elementi positivi e negativi, e assegnare l'idrogeno e i metalli ai positivi, e gli alogeni coi metalloidi ai negativi. Fra gli uni e gli altri nella pri-

ma linea, sta il Carbonio che è talora positivo, talora negativo, e da ciò deriva la sua grande attitudine a formare composti. In questa prima serie, dove le differenze fra i pesi atomici sono relativamente grandi, anche gli elementi vicini fra loro hanno una notevole affinità; ma nelle linee inferiori essa diventa sempre più piccola. Gli elementi che si succedono nelle stesse linee verticali hanno eguale carattere o positivo o negativo; possono perciò scambiarsi facilmente fra loro, come il Sodio col Potassio, il Fluoro col Cloro, ecc., e lo scambio avviene con tanta maggiore energia quanto minore è il peso atomico; il Sodio scaccia il Potassio, il Fluoro scaccia il Cloro, ma non succede il contrario o almeno non nelle stesse condizioni. Ne possiamo inferire che un elemento leggero è più mobile di un altro più pesante, come se fosse attratto di più.

Veramente le leggi della gravitazione, alle quali vorremmo ricondurre anche le forze chimiche, ci dicono che tutti i corpi sono egualmente attratti da masse eguali, e che una piuma come una pietra cadono egualmente nello spazio vuoto. Ma nel mondo molecolare pare che le cose succedano in maniera diversa. Gli atomi originali, da cui derivano i movimenti degli atomi chimici, sono, rispetto ad essi, immensamente più grandi, di quel che siano rispetto a questi i corpi celesti, dai quali abbiamo appreso le leggi della gravitazione. Se conformemente ai concetti già da noi svolti, ci rappresentiamo l'attrazione di una massa, derivante dal fatto che essa riceve una parte degli urti degli atomi eterei, e forma

quindi un'ombra verso i corpi che attira, possiamo intendere che le condizioni e i rapporti del fenomeno cambieranno, quando la massa sia così piccola che questi urti diventino relativamente pochi. E ne risulta, che per masse dell'ordine di grandezza degli atomi chimici, la forza d'attrazione deve diminuire più rapidamente che in proporzione delle masse medesime; ossia la velocità degli atomi, per l'urto degli atomi primitivi o eterei, crescerà tanto più quanto più essi saran piccoli. Tal velocità non sarà sempre diretta verso quel complesso atomico a cui l'atomo deve adattarsi, ma la maggiore mobilità gli faciliterà questo adattamento, quando quella tale struttura atomica sia determinata dalle circostanze. E ciò vedremo più chiaramente.

In ogni caso, due azioni sono in contrasto; il peso atomico e la polarità elettrica. Donde una brusca differenza fra le serie orizzontali nel sistema periodico degli elementi, in cui al Fluoro fortemente negativo segue il Sodio fortemente positivo, nella prossima linea. Se si riferisce l'azione totale ad un elemento medio, allora essa può essere rappresentata da una curva, che cominciando con gli elementi di piccolo peso atomico, sale con onde sempre più ampie, tante volte quante sono le serie orizzontali del sistema. Questa curva è collegata alle proprietà degli elementi e sarà oggetto del nostro studio un po' più avanti.

Ora vogliamo cercare di farci un'idea del modo di unione degli atomi secondo le loro valenze, restando bene inteso, che siamo in un campo assolutamente ipo-

tetico. Ma ogni ipotesi che possa costruirsi sulla base dei fatti, intorno alla natura delle forze e dei movimenti atomici, avrà sempre per noi più valore di quella semplice e astratta rappresentazione schematica di forze di affinità che agiscono solo in direzioni determinate, cosa che non avviene per alcun'altra forza naturale conosciuta.

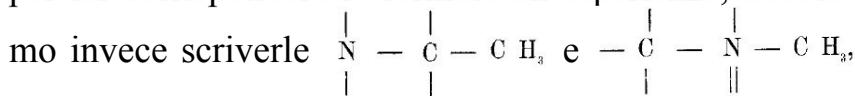
La formula chimica di struttura ci dice certamente qualche cosa sopra la costituzione della molecola; ma in parecchi casi sono possibili diversi modi di collegamento dei vari atomi secondo le loro valenze, e si tratta di scegliere quelli che convengono meglio alle qualità della sostanza, che dovrebbero, il più possibile, essere rappresentate dalla sua formula. Già sappiamo che molti composti hanno identica la formula chimica, rispetto alla qualità e al numero degli atomi, e tuttavia hanno proprietà fisiche e chimiche diverse: sono i corpi detti *isomeri*, le cui differenti qualità dovrebbero essere definite dalle relative differenti formule. Tale esigenza rende ragione, specialmente nella chimica organica, della complessità di queste formule, e fa anche comprendere perchè spesso bisogna scrivere le formule in maniera difficile e complicata, invece che in forma sintetica, più breve, più facile e più simmetrica. Ne abbiamo già veduto un esempio (pag. 470¹³) per l'essenza di violette. Nella maggior parte dei casi queste formule razionali si

13 I riferimenti ai numeri delle pagine riguardano ovviamente l'edizione cartacea. [Nota per l'edizione elettronica Manuzio].

sanno scrivere; in altri pochi ancora mancano; ma in generale dobbiamo ammettere che esse ci danno un'esatta testimonianza, se non completa, della costituzione delle molecole. E alcuni esempi interessanti ce lo faranno meglio comprendere.

Vi son due corpi che hanno la medesima e relativamente assai semplice formula di costituzione C_2H_3N ; l'Acetonitrile e l'Acetoisonitrile. Essi differiscono in questo, che, nel primo, l'atomo di azoto può essere sostituito più facilmente da un altro, mentre nel secondo è un atomo di Carbonio che più facilmente si separa. Ciò può essere rappresentato dalle formule, scrivendo l'Acetonitrile $N \equiv C - CH_3$, e l'acetoisonitrile $C \equiv N - CH_3$, cioè facendo nel primo l'azoto trivalente, e pentavalente nel secondo e collocandolo in mezzo invece che ad un'estremità. Come possiamo rappresentarci questo aggruppamento degli atomi? Manifestamente in una sola maniera, cioè supponendo che gli atomi siano cristalli le cui faccie sono in una certa relazione con la rispettiva valenza. Il Carbonio tetraivalente sarebbe un tetraedro, cioè la più semplice figura solida. L'azoto può avere tre o cinque faccie libere, l'idrogeno una sola, e ce lo possiamo figurare come una mezza sfera. In un atomo di carbonio noi possiamo saturare tutte e quattro le faccie, tre con atomi d'Idrogeno, per cui si ha il metile CH_3 e la quarta faccia col nitrile $N \equiv C$ che ha ancora una valenza libera, e si forma l'aceto nitrile con la formula di struttura $N \equiv C - C H_3$; oppure, se l'azoto è pentavalente, $C \equiv N - C H_3$.

In tali formule di struttura tutte le valenze sono soddisfatte; ma non è probabile che ciò avvenga. Questi composti si devono piuttosto considerare come non saturi, e per far corrispondere le formule all'esperienza, dobbiamo invece scriverle

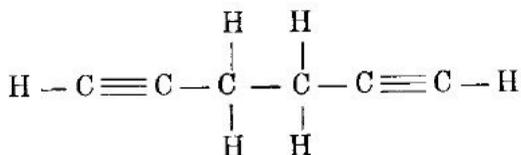


cioè con più valenze libere; quanto più un atomo è libero, tanto più facilmente potrà esser tolto nelle reazioni. Così appunto avviene per il carbonio e l'azoto nei due composti sopra indicati, e si riesce pure a saturare le valenze libere con altri atomi formando nuovi composti.

Ma non tutti gli isomeri per i quali si può stabilire la formula, sono presenti in natura: un esempio caratteristico e che serve molto bene al caso nostro è quello citato dal Nernst nella sua *chimica teorica*. L'acetonitrile si trasforma in acido cianidrico CNH quando gli si tolga CH₂; questo può bene avvenire nella molecola rappresentata da C ≡ N - CH₃, perchè tanto H come CH₃ sono monovalenti; la formula diventerebbe dunque C ≡ N - CH. Ma l'acido cianidrico secondo questa formula si dovrebbe decomporre in C e nel radicale NH appartenente ai radicali ammoniaci (NH₃, NH₂, NH) che combinandosi apportano proprietà ammoniacali ai composti che formano. L'acido cianidrico sarebbe allora un derivato dell'ammoniaca, mentre invece deriva dal radicale CN; perciò gli conviene meglio la formula di struttura N≡C-H nella quale N e C sono legati più stabilmente, ossia con meno valenze libere. Ed è notevole che

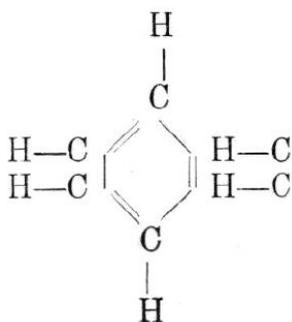
si ha solo un acido cianidrico, mentre si hanno due nitrili secondo le formule citate. In questo e in altri casi che sempre si riferiscono a composti non saturi, è possibile, che questi siano troppo instabili per poter essere preparati e studiati.

Si presta a interessanti considerazioni il Benzolo che ha la formula C_6H_6 . Se le valenze di questi dodici atomi fossero soddisfatte, si avrebbe la formula molto simmetrica.

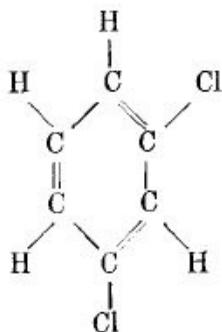


Questo corpo esiste infatti, come un molto instabile idrocarburo della serie grassa, il Dipropargile, il quale corrisponde alla formula, prima come catena aperta, poi come composto non saturo. Il Benzolo invece è stabile ed ha proprietà affatto diverse, e deve corrispondere ad una formula nella quale non deve comparire alcun triplo legame. Oltre di che la formula del Benzolo deve essere anche più simmetrica, perchè gli atomi dell'Idrogeno possono tutti egualmente essere sostituiti con elementi monovalenti, per esempio con atomi di Cloro. Con la formola sopra indicata lo scambio di un atomo di Cloro con uno di Idrogeno potrebbe avvenire in molti modi, e dar luogo quindi a diversi isomeri: per esempio, ponendo il Cloro ad una estremità, si dovrebbe poi poter separare il radicale ClC, il che non potrebbe succedere tanto facilmente quando il Cloro fosse unito con uno degli

atomi centrali di carbonio. Invece, si ha un solo Clorobenzolo C_6H_5Cl . La formula del benzolo deve dunque esser tale che tutti i 6 atomi di Idrogeno occupino la stessa posizione rispetto agli atomi di carbonio. A queste condizioni è difficile soddisfare altrimenti che con l'anello benzoico, cioè con la formula trovata genialmente da Kekulé e che ha portato immenso vantaggio a tutta la teoria della Chimica organica.



Benzolo

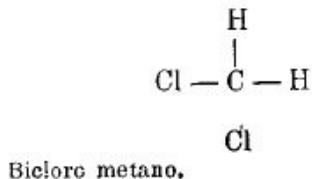
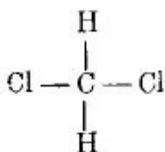
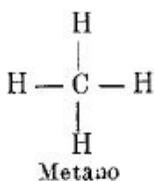


Clorobenzolo

Come ben si vede, la simmetria degli atomi di Idrogeno è completa, ed è indifferente che l'uno o l'altro venga sostituito con un atomo di Cloro. Ma quando sia avvenuta la sostituzione e si abbia il clorobenzolo, allora l'anello non è più simmetrico e non sarà più indifferente il posto dove si farà un'altra sostituzione. Avremo così degli isomeri (Orto-Meta-Para-isomeri) che già abbiamo ricordato.

Ma per la forma tetraedrica dell'atomo di Carbonio vi sono ancora altri argomenti. La formula di struttura del Metano è CH_4 che bisogna scrivere simbolicamente ap-

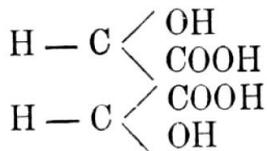
ponendo, in croce, ai quattro lati dell'atomo di Carbonio i quattro H. Gli atomi di Idrogeno possono essere sostituiti dal Cloro: e se per esempio la sostituzione si fa per due atomi, avremo due isomeri possibili che potremo così rappresentare.



In realtà abbiamo un solo corpo della composizione CH_2Cl_2 ; e questo si spiega, poichè in un tetraedro tutte le faccie sono simmetricamente disposte, e comunque si collochino, i due atomi di idrogeno sono sempre contigui l'uno presso dell'altro. Sarebbe invero molto strano il pensare che questi quattro lati o punti attivi dell'atomo del Carbonio debbano giacere in un piano e non nello spazio dove avvengono tutti i fenomeni e agiscono tutte le forze.

In favore della tetraedricità degli atomi del Carbonio, sta anche il fatto che già abbiamo ricordato, che oltre agli isomeri prevedibili e dipendenti dalla diversa posizione degli atomi nella molecola dei composti del carbonio, si hanno in più degli *isomeri ottici*. Ricordiamo l'acido tartarico di cui si ha il destrogiro, il levogiro, e una terza qualità otticamente indifferente, che cioè non fa rotare il piano di polarizzazione. Chimicamente tutti e tre questi acidi sono identici; e se l'ultimo, si fa cristal-

lizzare, si ottengono due forme cristalline del sistema regolare che si corrispondono come la mano destra e la sinistra, o come un oggetto e la sua immagine in uno specchio. Separando queste forme si hanno le soluzioni destrogire e levogire.



La formula di struttura dell'Acido tartarico fa vedere l'asimmetria dei due atomi di carbonio, da cui dipendono questi isomeri ottici, ma non ci dice come avvenga tale isomeria, perchè la serie degli atomi che son contigui non viene alterata. Questo

si intende invece considerando i due tetraedri della Fig. 422, le cui faccie sono numerate e una giace nel piano del foglio: le due figure sono come l'immagine l'una dell'altra e non è

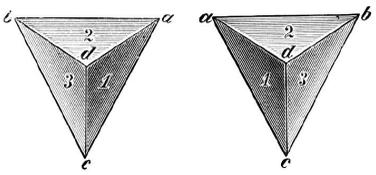


Fig. 422.
Asimmetria dei tetraedri.

possibile con una rotazione farle coincidere, cioè sovrapporre le faccie omonime, sebbene in ogni tetraedro le faccie siano egualmente le une accanto alle altre. Se immaginiamo che ad ogni faccia si attacchi un atomo e i quattro atomi siano diversi, avremo una molecola che anche meccanicamente non sarà in equilibrio, cioè il centro di gravità sarà fuori del centro di figura; ma la posizione del centro di gravità, rispetto al centro di figura

ra, sarà nelle due molecole contraria, e se per una causa esterna, tali molecole saranno messe in rotazione, o determineranno esse rotazioni in altre particelle, tali rotazioni saranno contrarie. E tuttavia chimicamente le due molecole saranno identiche. Così dunque l'isomeria ottica dell'Acido tartarico, come di altri composti del carbonio, è spiegata in modo mirabile e completo dall'ipotesi della forma tetraedrica degli atomi di carbonio.

Come forma degli atomi primitivi abbiamo ammesso la sferica, come la più semplice di tutte. Ci vorrebbero dunque almeno quattro di tali sfere per formare un atomo, che limitato da superficie piane rappresenti un tetraedro. Se fossero di più, tuttavia il loro numero dovrebbe sempre essere un multiplo di quattro, perchè il sistema sarebbe una somma di tali tetraedri; e il peso atomico degli elementi dovrebbe pure essere un multiplo di 4 riferendosi, sempre come unità, al peso dell'atomo primitivo. Questo avviene per il Carbonio, il cui peso è 12; e finalmente esso cristallizza nel sistema cubico, che facilmente risulta dalla sovrapposizione di tetraedri.

Negli ultimi tempi, queste nuove vedute sono state introdotte nella chimica col nome di stereochimica, e molte ricerche sono state fatte che porteranno indubbiamente a nuovi importanti risultati.

6. – Stato chimico e temperatura.

Come tutti i fenomeni fisici, tranne quello della gravità, così anche i fenomeni chimici, sono legati e dipendenti dal calore. Variazioni di temperatura producono cambiamenti chimici nei corpi; come viceversa, nei processi chimici si ha quasi sempre produzione o sottrazione di calore.

Le combinazioni chimiche sono possibili solo entro a determinati limiti di temperatura: a temperature troppo basse, la materia diviene inerte e le reazioni o non avvengono o avvengono con estrema lentezza; a temperature altissime, tutti i corpi composti si dissociano, e la materia torna nelle sue forme più semplici. Anche gli *stati d'aggregazione*, che abbiamo esaminato soltanto del punto di vista fisico, dipendono dalle proprietà chimiche dei corpi, e perciò dai rapporti di queste con la temperatura. Di tale argomento dobbiamo appunto ora occuparci.

a) Lo stato gassoso.

Per quanto vi siano molti elementi e anche composti che noi non sappiamo ridurre allo stato gassoso, è certo che ciò dipende solo dalla insufficienza dei nostri mezzi. Infatti, quanti più gradi di calore riusciamo coi nuovi sistemi a raggiungere, tante più specie di sostanze riusciamo a portare allo stato di gas, e tanti più composti possiamo scindere nei loro elementi; lo spettroscopio poi ci

insegna che nel sole, la cui temperatura è probabilmente intorno ai 6000° , si trovano sotto forma di gas, una quantità di corpi che sulla terra non riusciamo a fare evaporare, non essendo noi capaci di produrre temperature oltre i 3000° .

Abbiamo concluso, a proposito dei fenomeni fisici del calore, che coll'elevarsi della temperatura, prima le molecole dei corpi cominciano ad allontanarsi fra loro, quindi anche gli atomi, acquistando, infine, un movimento continuo rettilineo.

Tutte le cognizioni da noi apprese su questo argomento, hanno il loro fondamento in una *meravigliosa uniformità delle azioni fisiche in tutti quanti i gas*. Conoscemmo già la legge di BOYLE e MARIOTTE, secondo la quale il prodotto della pressione per il volume di un gas ad uguale temperatura è sempre una costante: e poi la legge di GAY-LUSSAC, che tutti i gas, per eguale aumento di temperatura aumentano in egual proporzione il loro volume. Si stabilì pure che il grado di -273° rappresentava lo *zero assoluto*, e che quindi, a quella temperatura, tutti i corpi dovevano trovarsi nello stato di massima densità, e cessare ogni reazione chimica. Abbiamo anche determinato il valore della cosiddetta costante dei gas R , con la quale siamo in grado di calcolare gli stati di tutti i gas in qualunque condizione di pressione e temperatura si trovino, entro certi limiti stabiliti, sempre sulle basi della *teoria cinetica dei gas*.

In un gas le molecole si muovono con grande rapidità, che si può misurare dal grado di temperatura. Ad

ugual temperatura, in tutti i gas la forza viva delle molecole è uguale, per quanto diverse possano essere le loro molecole. La pressione esercitata dal gas contro le pareti del recipiente che lo contiene, dipende dal numero degli urti di queste molecole, e poi dalla loro velocità e dalla loro massa, ossia dal peso molecolare.

Rimanendo la stessa, per tutti i gas, la forza viva delle molecole ad ugual temperatura, ne viene di conseguenza che in tal caso la pressione dipenderà solo dal numero degli urti. Se la densità di un gas si indica con d , il numero delle molecole nell'unità di volume con N , e il loro peso molecolare con m , avremo $d = Nm$, e così per un altro gas $d_1 = N_1 m_1$, e per conseguenza $d : d_1 = Nm : N_1 m_1$. Noi possiamo, quindi, dal rapporto della densità e del peso molecolare di due gas, calcolare quello del numero delle loro molecole contenute in un cm.³. Le ricerche fatte a questo scopo hanno portato alla importantissima conclusione, che il numero delle molecole contenute in un dato volume è *sempre uguale in tutti i gas, ad uguale temperatura e pressione*. Un cm.³ del leggerissimo idrogeno contiene quindi tante molecole quante un cm.³ di ossigeno, che è 16 volte più pesante; quanto alla cifra assoluta vedemmo già trattarsi di bilioni. Questa semplicissima legge, dalla quale si dipartono tutte le altre sui gas, si dice legge di AVOGADRO.

Ciò stabilito, ci è facile determinare dalla densità dei gas il peso molecolare ed atomico, con metodo facile e sicurissimo che abbiamo già applicato nella decomposizione elettrica dell'acqua. Da una parte del voltmetro si

sviluppa un volume di idrogeno doppio di quello dell'ossigeno, a uguale temperatura e pressione: ora, poichè nell'acqua si trovano due atomi di idrogeno per ognuno di ossigeno, per la legge di AVOGADRO devono gli atomi di idrogeno essere in numero doppio di quelli di ossigeno. In queste decomposizioni i volumi dei gas che si liberano stanno quindi nello stesso rapporto degli atomi nella molecola. Mettiamo in comunicazione con la medesima corrente, tre voltametri, uno riempito di HCl, l'altro con H₂O, e il terzo con NH₃, (fig. 423); avremo nel primo uguali volumi di H e di Cl separati, nel secondo 2 volumi di H per uno di O, nel terzo 3 volumi di H per uno di N, precisamente come corrispondono gli atomi nelle formule dei tre composti.

Questi gas liberatisi si ricombinano poi subito in se stessi, salvo alcune eccezioni, colla riunione di *due atomi* in una molecola, come dimostrano le variazioni della densità dei vapori. Abbiamo veduto però che una molecola può esser composta di 100 e più atomi; perciò il vapore di una tale sostanza sarà tante volte più denso che se la sua molecola fosse costituita da un solo atomo.

Ammettendo che la molecola dell'ozono corrisponda a *tre* atomi di O, la densità di questo in confronto a quel-

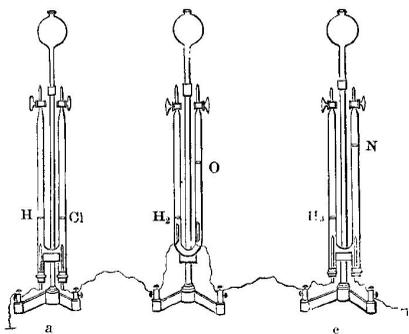


Fig. 423.— L'Elettrolisi.
a) acido cloridrico — b) acqua —
c) ammoniacca.

la del comune ossigeno starà come 3 a 2, il che si accorda con le misure sperimentali. Determinando inoltre, con metodo diretto il minimo rapporto di peso in cui un elemento si combina allo stato solido e gassoso con un altro, constatiamo che la stessa sostanza allo stato gassoso ha peso molecolare doppio del peso atomico e questa è la conferma della biatomicità delle molecole gassose.

Una interessante eccezione a questo riguardo presenta il mercurio, già per altri caratteri tanto speciale, il cui vapore risulta monoatomico, e pesa dunque la metà di quel che dovrebbe secondo la regola comune. Ma anche altri metalli, dalle ricerche che si son potute fare a questo riguardo, si presentano monoatomici allo stato gassoso.

Così pure tutti i nuovi gas di recente scoperti, l'elio, il neon, l'argon, il kripton, lo xenon, sembrano essere monoatomici. Questa determinazione si potè ottenere solo per via indiretta, poichè nessuno di questi elementi si combina con altri, per cui il peso atomico fu dedotto solo dalla densità di vapore. Si dimostra, per esempio, che un egual volume di elio, pesa il doppio dell'idrogeno: se tutti e due i gas fossero biatomici, il peso atomico dell'elio sarebbe 2. Ma si ha anche un metodo puramente fisico di determinazione del peso molecolare, basato sulla teoria cinetica dei gas, del quale abbiamo già fatto uso. Vedemmo, innanzi, che la velocità del suono nei gas, in rapporto a quel che sarebbe per effetto della sola elasticità di questi gas, deve essere corretta secondo il

rapporto dei due calorici specifici, che è dipendente dal numero degli atomi nella molecola. Col metodo di KUNDT, del quale abbiamo parlato, questa velocità può esser misurata con grande esattezza, per qualunque gas; e così si mostra che le più piccole particelle, che nell'elio trasmettono le onde sonore, sono non due volte, ma quattro volte più pesanti di un atomo d'idrogeno, e dal valore della densità risulta che il gas elio deve essere monoatomico; lo stesso avviene per gli altri nuovi gas scoperti recentemente nell'aria. Questi gas chimicamente sono inerti; e questo concorda appunto con la loro apparente monoatomicità, se li vogliamo considerare come composti solidissimi e affatto saturi.

Riguardo all'elio, ci sia permessa una osservazione dal punto di vista astronomico. Quando l'elio non era ancora stato scoperto sulla Terra, ma solo, per la sua linea, riconosciuto nello spettro solare, l'autore esternò una volta l'opinione che questo corpo, se si fosse ritrovato sulla Terra, avrebbe dovuto mostrarsi più leggero dell'idrogeno, poichè noi lo incontriamo soltanto nelle più alte regioni dell'atmosfera solare, mentre l'idrogeno apparisce al disotto. Questa supposizione non è stata confermata; l'elio, benchè ci risulti il corpo più leggero dopo l'idrogeno, pur tuttavia ha un peso doppio di quest'ultimo. Anche ammettendo che l'elio sia uno stato allotropico dell'idrogeno, le cui molecole contengano 4 atomi H, che ad altissima temperatura si dissociano tra loro, sarebbe sempre più denso dell'idrogeno.

Col raffreddamento gli atomi si riuniscono a due a

due in molecole, abbassandosi per il loro peso negli strati inferiori dell'atmosfera solare e formando la *Fotosfera*, che risulta per la massima parte di idrogeno, contenendo piccola parte di elio. Perciò, non dovrebbe essere impossibile, a bassissime temperature e ad alta pressione, riuscire ad ottenere da due molecole di idrogeno un atomo di elio, il quale presenta caratteri di allotropia rispetto all'idrogeno, e non forma altri composti.

A tali considerazioni astronomico-chimiche, vogliamo aggiungere un'altra. La lista degli elementi finora scoperti nel sole e ordinati secondo il loro peso atomico, arriva fino a quello dell'Erbio (165), comprendendo quasi tutte le sostanze, con alcune eccezioni. Mancano prima di tutto i corpi non metallici, tranne il carbonio, l'idrogeno e il silicio, i cui spettri appaiono coperti da quelli dei metalli e difficilmente si possono vedere. Quelli dell'idrogeno e del silicio appaiono più visibilmente e furono osservati presto; più tardi il carbonio. Quindi, la mancanza degli spettri dei metalloidi non prova assolutamente ch'essi manchino nel sole. Mancano pure i metalli rari, Gallio, Rubidio, Rutenio, Palladio, Indio, Cesio, Didimio, Samario e Gadolinio. Ma è lecito supporre che questi elementi siano rarissimi anche nel sole, e che per questo non appaiano visibilmente. Col peso atomico di 165 è bruscamente interrotta la serie, se si eccettua il piombo e l'uranio lo spettro di quest'ultimo è dubbio; quello del piombo, che è stato realmente osservato, si può spiegare. La mancanza degli altri elementi pesanti – ce ne sarebbero ancora 13, alcuni dei

quali neppure rari, come il platino, l'oro, il mercurio, il bismuto, – si spiega per la loro posizione negli strati profondi dell'atmosfera solare, di dove sfuggono alla nostra osservazione. L'eccezione del piombo si può comprendere, ammettendo che allo stato gassoso esso abbia, come il mercurio, la metà del peso che gli spetterebbe diventando nel sole un gas monoatomico, più leggero del vapore di argento colà osservato. La densità di vapore dei metalli, tranne per il mercurio e il cadmio, non si è potuta fin qui determinare, perchè riusciamo poco a liquefarli, e tanto meno a farli evaporare. Se dunque il piombo forma veramente un gas monoatomico, acquista un carattere di più di somiglianza col mercurio, al quale è già simile per la facile fusione, per l'elevato peso atomico, e per le altre proprietà chimiche.

Se tali supposizioni sono vere, si intende che lo spettro del mercurio non possa essere scoperto nel sole, benchè abbia grande quantità di linee visibili, e allo stato di vapore sia più leggero del vapore di piombo. E saremo in pieno accordo coi fatti dimostrati della spettroscopia, solo ammettendo che in generale i vapori dei metalli pesanti siano monoatomici, come il mercurio e il cadmio. Quest'ultimo, sebbene più denso dell'argento, è più fusibile del piombo; per cui anche la sua densità di vapore può essere determinata. Se, dunque, i metalli pesanti, cominciando dal gruppo del piombo, sono nel sole monoatomici, apparterranno là alla classe dei metalli leggeri; così il vapore di piombo chiuderebbe, col peso molecolare 103, la serie degli elementi riscontrati nel

sole. Le ultime ricerche in proposito hanno infatti quasi confermato che *tutti i vapori dei metalli sono monoatomici*.

Tutto questo serve ancora a mostrare come, col progresso della scienza e con l'accrescimento delle nostre cognizioni, queste, sebbene di diversa origine si fondono e si accordano in conclusioni di capitale importanza. Dove ci troviamo impotenti a comprendere l'insieme dei fatti, è sempre utile fare delle ipotesi, che altri potranno poi discutere e giudicare alla stregua delle esperienze.

Anche il vapore di Iodio può divenire monoatomico, e le circostanze in cui avviene il fenomeno possono far luce nel problema della monoatomicità degli altri elementi. L'Iodio bolle a 176° , e a temperature non molto superiori a questa, il suo vapore si comporta normalmente, cioè è biatomico. Ma col crescere della temperatura esso non segue più la legge dei gas, secondo la quale la densità dovrebbe diminuire in ragione della temperatura. La densità dell'Iodio diminuisce invece più rapidamente, fino a un certo punto, per seguire poi la legge generale.

Ciò è l'effetto della dissociazione della sua molecola biatomica I_2 in $I + I$. Il numero degli atomi dissociati che si mischiano agli atomi doppi, aumenta con lo elevarsi della temperatura; e poichè ciascuno degli atomi dissociati I esige uno spazio uguale a quello della molecola I_2 , la densità di vapore dovrà di necessità diminuire, fino a che tutte le molecole non siano divise, ossia fino a

che detta densità sia ridotta alla metà di quel che era in principio; allora il vapore seguirà nuovamente la legge dei gas. Le esperienze fatte confermano tale spiegazione di un'eccezione alla legge comune, e da queste possiamo concludere sicuramente la scissione delle molecole nei loro atomi.

Ma l'influenza della temperatura nei fenomeni di dissociazione e, reciprocamente, di combinazione, non è tanto semplice. In vicinanza dello *zero assoluto*, nè combinazioni, nè dissociazioni sono più possibili, o per lo meno avvengono con grande lentezza. A temperature più elevate, la facilità alla combinazione aumenta per la maggior movibilità degli atomi che debbono incontrarsi e fissarsi; ma se la temperatura cresce troppo, la velocità delle molecole gassose diviene così forte, che l'equilibrio necessario per l'unione degli atomi nelle nuove molecole è rotto. Quanto più grosse sono le molecole, tanto più forte dovrà essere questa tendenza per la maggiore inerzia e l'effetto degli urti; e con l'aumentare della temperatura devono a poco a poco le molecole poliatomiche scindersi in atomi semplici.

A questo riguardo, il vapore di zolfo presenta un contegno caratteristico, studiato da Riecke. La densità del vapore di questo elemento diminuisce notevolmente con l'aumento della temperatura, come avviene per l'iodio: ma presso al punto di ebollizione il suo valore non corrisponde ad una molecola biatomica, ma ad una molto più grossa, che Riecke esprimerebbe con S_8 . A temperatura maggiore, si suddivide probabilmente in $S_6 + S_2$, con

corrispondente diminuzione della densità. Dalle molecole esatomiche si separa col crescere della temperatura un numero sempre crescente di molecole biatomiche, fino a che viene raggiunto lo stato finale di equilibrio in cui tutte le molecole sono biatomiche. Vediamo dunque come la materia, anche allo stato gassoso, subisce una specie di ulteriore vaporizzazione, per cui le particelle già passate, nell'ebollizione, dallo stato liquido a quello gassoso, divengono sempre più piccole, e così la sostanza si attenua sempre più.

Risulta da tutto questo, che basta una temperatura non elevatissima per ridurre monoatomici i gas di tutti gli elementi, e che sono quindi fondate le nostre supposizioni sullo stato in cui devono trovarsi questi elementi nel sole. Aggiungendo inoltre, che anche questi atomi possono essere divisibili, possiamo supporre, sui corpi celesti, la cui temperatura è notevolmente più elevata di quella del nostro sole, anche altri stati chimici di natura a noi affatto sconosciuta. Non vi è dubbio che il sole non è dei più caldi fra i corpi celesti: la sua luce, infatti, è già tendente al giallo, mentre si hanno stelle bianche o azzurrognole, i cui caratteri spettrali stanno a indicare altissime temperature.

Il miscuglio di due gas, i cui atomi hanno una forte affinità, come, per esempio, l'ossigeno e l'idrogeno, non basta a determinare la loro combinazione: occorre che detto miscuglio sia, almeno in una piccola parte, portato ad una certa temperatura, alla quale solamente avviene la combinazione violenta con gli effetti di un'esplosio-

ne.

In certe sostanze esplosive solide o liquide, avviene invece il contrario; il riscaldamento iniziale è necessario per provocare la scomposizione delle molecole instabili, per lo più formate artificialmente. Come possiamo spiegarci questi effetti apparentemente contraddittorî della temperatura?

Crediamo di poterci bene rendere conto del come avvenga l'esplosione dei corpi solidi, dovuta all'improvvisa rottura delle loro molecole. Questi esplosivi sono, generalmente, complicati composti di carbonio, e per la complessità e inerzia chimica del carbonio, possiamo immaginarceli come costruzioni fuori di equilibrio, o in bilico, per servirci di una volgare ma efficace espressione; i loro componenti stanno in un instabilissimo equilibrio, come gli svariati oggetti che un giocoliere riesce a tenere momentaneamente l'uno sull'altro. Se coll'aumentare della temperatura, o per un urto meccanico, anche una sola di queste molecole è spostata, tutto l'edificio crolla; e poichè gli atomi così resi liberi si espandono in un volume oltre 1000 volte maggiore, ne segue una violentissima esplosione, trasmessa con straordinaria velocità, che supera molto quella del suono nei rispettivi gas. Nell'esplosione dei miscugli gassosi, questa velocità di propagazione è precisamente uguale a quella della loro chimica combinazione; ed anche qui riscontriamo quell'uguaglianza, che nei gas riconosciamo come un effetto della legge di Avogadro.

Tale velocità, misurata da Berthelot e Dixon, che in-

trapresero pericolose esperienze con corpi violentemente esplosivi, varia da 2500 a 2800 m. al secondo; nei corpi solidi è ancora notevolmente maggiore, e nella nitromannite arriva fino a m. 7700: che sarebbe quasi sufficiente per allontanare durevolmente un corpo, lanciato con questa velocità, dal dominio della attrazione terrestre, rendendo così possibile di bombardare dalla terra gli altri corpi celesti. Per l'acido picrico la velocità è di m. 6500, per il cotone fulminante m. 5400, per la dinamite m. 2500. La pressione che queste sostanze esercitano sulle pareti dei recipienti, dove sono fatte esplodere, giunge fino a Kg. 10.000 per cm^2 .

È chiaro che nessuna materia terrestre può resistere a tale pressione con la quale gli atomi resi liberi conquistano lo spazio; e ciò dà un'idea della incredibile forza dei movimenti atomici che sono poi l'ultima causa di tutti i processi naturali.

Qualche cosa di simile a questi fenomeni di esplosione si ha nella combustione. In questa però tutti i fenomeni avvengono lentamente, poichè i composti di cui si tratta qui, sono più solidamente costruiti, e perciò si scindono con maggior lentezza; e inoltre, perchè la maggiore semplicità di costruzione molecolare esige un minore aumento di volume nella dissociazione. Anche qui occorre un certo calore per provocare la accensione iniziale, che si trasmette poi, come nell'esplosione, da molecola a molecola: ma per ogni temperatura c'è un limite, determinato dalla temperatura esterna, dal calore di combustione e dal punto di ebollizione del composto.

In ambedue i casi, dell'esplosione come della combustione più lenta, si ha un certo sviluppo del calore che prima era legato cogli atomi; in questo calore consiste il valore e l'utilizzazione delle materie combustibili. Per esempio, un kg. di legno sviluppa 4000 calorie nella sua completa combustione; siccome questo sviluppo avviene lentamente, possiamo approfittare di questo calore per dirigerlo su gli oggetti circostanti e riscaldarli. Nell'esplosione si sviluppa assai più calore, e ogni grammo di nitromannite libera nella sua scomposizione 1400 calorie, cioè 350 volte più che nella combustione del legno; ma questa quantità di calore si espande improvvisamente sopra uno spazio molto grande, e non può essere perciò utilizzata, mentre se ne utilizza la forza di espansione. E poichè, in generale, è più facile disfare i corpi anzichè ricostruirli, abbiamo una grande quantità di composti, specialmente esplosivi, che non possono ritornare alla primitiva forma per processo inverso a quello già seguito. In qualche caso però, è possibile la ricomposizione, specialmente dopo le dissociazioni prodotte mediante il calore; così le molecole di iodio dissociate coll'aumentare della temperatura, si riformano nel raffreddamento.

Nelle esplosioni, il calore di accensione dà solamente la prima spinta, e la scissione non avviene in causa di quel piccolo innalzamento di temperatura necessario per l'accensione; lo sprigionarsi di quell'enorme energia non è dovuto quindi all'azione del calore, nè può per sottrazione di calore ottenersi l'effetto contrario.

Assai diversamente avviene nelle esplosioni o combustioni violente, dovute non ad una scissione, ma ad una combinazione; ad esempio, nel gas tonante. La grande affinità dell'ossigeno con quasi tutti gli altri elementi, comincia a manifestarsi fortemente ad una certa temperatura (calore di accensione o di ossidazione) che è diversa per le varie sostanze, ma per lo più rimane nei limiti delle temperature che si possono da noi raggiungere; solo pochi corpi, come il fosforo, possono accendersi spontaneamente. La necessità del riscaldamento per avviare il processo si spiega, poichè, senza una certa energia di movimento, le molecole non potrebbero col loro urto staccare tra loro gli atomi biatomici dei gas; solo questi atomi possono iniziare altre combinazioni, avendo le necessarie valenze libere. Basta che in poche molecole avvenga tale divisione, per produrre il calore necessario all'esplosione; così nel gas tonante, l'ossigeno e l'idrogeno si combinano violentemente formando l'acqua, purchè la temperatura non superi quella di dissociazione di questo gas; così si scompone in gas tonante l'acqua che si faccia scorrere sopra una lamina d'acciaio incandescente. Sul Sole questi due gas si trovano insieme ad altissima temperatura; ma se si raffredda molto lentamente del gas tonante caldissimo, si ha la lenta formazione dell'acqua. Sarebbe dunque falso credere che nel raffreddamento della massa terrestre, sulla quale già esistevano quei due elementi allo stato gassoso, si sia avuto catastroficamente la formazione dell'acqua.

La diminuzione della facoltà di reazione dell'ossigeno coll'abbassamento di temperatura è stata ben dimostrata da Raoul Pictet col seguente esperimento. Si sa che il sodio si accende con violenza al contatto dell'acqua, e che quindi la sua affinità per l'ossigeno è maggiore di quella dell'idrogeno, perchè riesce a separarlo dall'acqua in cui si trova così solidamente combinato. Questa reazione appartiene alle poche ossidazioni rapide a temperatura ordinaria; avviene però con minore intensità aggiungendo all'acqua dell'alcool, facendo così un miscuglio, che può rimaner liquido anche a -80° . Se a questa temperatura vi si getta del sodio, esso rimane affatto indifferente, e solo con un lento innalzamento di temperatura si cominciano a veder salire alla superficie dell'acqua alcune bollicine di idrogeno libero; il che sta a dimostrare la grande influenza della temperatura nelle reazioni chimiche.

Non v'è dubbio, pertanto, che quest'influenza non altera la vera affinità chimica dei corpi, ma solo la rapidità della reazione, accelerando l'equilibrio di un sistema di diversi atomi o molecole, cioè una dissociazione o una combinazione. Mescolando idrogeno e ossigeno alla temperatura ordinaria, sembra che non avvenga alcuna reazione: in realtà, invece, si ha ancora formazione d'acqua, ma la reazione, che a temperatura più elevata avviene in una frazione di secondo, richiede in tal caso probabilmente dei secoli. Questa proprietà è stata esattamente riscontrata da Hautefeuille e Lemoine in un miscuglio di iodio e idrogeno. Questi elementi a tempera-

tura ordinaria non si combinano affatto; a circa 250° la loro combinazione è lentissima, e occorrono dei mesi, perchè il composto passi da $H_2 + J_2$ a $2HJ$; a 350° avviene in pochi giorni, a 450° in pochi secondi, e a temperature maggiori sempre più presto, fino alla combinazione violenta.

Tutto ciò è ben comprensibile, se si ammette che l'affinità dei corpi sia un effetto delle loro proprietà (grandezza delle molecole, numero delle valenze), ma che il grado dell'affinità dipende dalla velocità delle molecole e degli atomi, cioè della temperatura. Ma anche a temperatura ordinaria avvengono pure molti urti di molecole, che necessariamente debbono esser causa di congiungimenti chimici, quando le molecole siano atte a ciò; solo che questi avvengono più raramente e più debolmente, quanto più bassa è la temperatura.

Anche nelle lontanissime nebulose del cielo, dove l'idrogeno, l'azoto e un altro gas sconosciuto, occupano spazi smisurati, le loro minime particelle debbono pure addensarsi in nuovi composti, regolati pure dalla temperatura. Lo spazio occupato dalle sostanze aeriformi diminuisce sempre, seguendo le leggi dei gas, e in questo è da cercare la prima causa del graduale sviluppo dei mondi. Non diversamente supponiamo avvenire nelle formidabili collisioni di due corpi celesti, che crediamo causa dell'apparizione di nuove stelle; e anche quando, secondo l'opinione di Seeliger, un grosso astro viene ad urtare in una nuvola di corpi piccoli che esso trascina e assorbe in sè. Anche qui si tratta di una combinazione

che deve come le altre sviluppare calore.

È un fatto, che quasi tutte le nuove stelle appaiono in vicinanza della Via Lattea, cioè dove le altre stelle sono più ammassate: se proprio la loro apparizione è dovuta a collisioni, essa è spiegata facilmente. Così, nelle sostanze chimicamente più dense, gli urti devono essere più frequenti, e maggiore la velocità di combinazione che nelle meno dense. Crescendo la densità e la pressione, aumenta perciò la facilità di reazione dei gas, ed è massima nei liquidi che noi possiamo ottenere dai gas, mediante la pressione, al disotto della temperatura critica.

Torna qui opportuno accennare ad un gruppo speciale di fenomeni importantissimi, specialmente nei corpi viventi, e non ancora bene spiegati. Intendo dire della *catalisi*, al cui studio diede largo contributo Ostwald di Lipsia, ed altri giovani suoi collaboratori.

S'intende per catalisi in generale, quella azione che colla sola presenza accelera un fenomeno chimico, senza che da essa, nel prodotto finale, niente sia sostituito o trasformato o aggiunto.

In questo senso si può già considerare come un processo catalitico, il fenomeno di una soluzione ultrasatura, che cristallizza con grande rapidità, se vi aggiungiamo una piccolissima particella del sale disciolto, o anche di una sostanza isomorfa. Ostwald verificò che talora basta un bilionesimo di grammo per ottenere questo effetto, mentre rimane inattiva una quantità anche grande di una sostanza che cristallizzi diversamente. Il carattere distintivo dei fenomeni catalitici consiste dunque in

ciò, che le quantità delle sostanze agenti non sono in alcun rapporto cogli effetti generati; qui, come sempre in natura, vale la teoria *similia cum similibus*. È verosimile che nei corpi viventi debbano perciò prodursi, nella stessa parte e da uno stesso miscuglio, sempre le stesse sostanze; per cui da germi eguali nascono sempre individui uguali.

Ai fenomeni catalitici appartiene anche l'esplosione dei miscugli avviata dall'aumento del calore, come quella del gas tonante, di cui sopra. Occorre però rilevare, che questi e tutti gli altri fenomeni catalitici possono esser considerati teoricamente solo come accelerazioni di processi che avverrebbero anche senza la presenza del catalizzatore, benchè forse dopo un tempo grandissimo.

Tali fenomeni di combustione possono esser provocati anche da sostanze capaci di attirare e condensare fortemente i gas, come la spugna di platino o meglio il così detto platino colloidale. Il che ci fa supporre che in molti fenomeni catalitici, nei quali la semplice presenza di un terzo corpo produce la combinazione o anche la separazione di altri, questi ultimi siano avvicinati e condensati per mezzo del catalizzatore. L'anidride solforica si forma così dall'anidride solforosa in presenza di ossigeno. Si ammette che in tali processi siano generati prodotti intermedi, aventi quelle proprietà catalitiche, e che subito si scompongano.

Il più interessante e importante gruppo dei catalizzatori è quello degli *enzimi*, produttori delle fermentazio-

ni, senza i quali può dirsi non avverrebbero i processi chimici nel corpo vivente. Nella digestione, e nell'assimilazione, sono dovute agli enzimi tutte le trasformazioni chimiche. Così, il processo di combustione, necessario nel corpo animale per fornire alla macchina fisiologica il calore, non potrebbe compiersi, o si compirebbe con estrema lentezza, coi comuni mezzi chimici, essendo l'ossigeno, alla temperatura ordinaria o a quella del corpo animale, molto inerte a combinarsi con altre sostanze. L'azione acceleratrice degli enzimi è adunque il vero e proprio segreto della vita organica, che lo studio di questi fenomeni catalitici potrà un giorno svelarci.

Anche nella tecnologia la catalisi assumerà una importantissima parte, poichè, come notava Ostwald, anche in questa il tempo è danaro, e la possibilità di accelerare i processi chimici senza bisogno di energia esterna, costituisce evidentemente un notevole risparmio. In alcuni casi, per esempio nella fabbricazione dell'indaco artificiale, l'applicazione della catalisi ha apportato grandi vantaggi alla chimica tecnica.

Nel nostro capitolo sopra il calore, abbiamo visto che la legge dei gas, ad altissime pressioni, è in difetto, cosicchè ha bisogno di certe correzioni, determinate da van der Waals, e che ben esaminate confermano brillantemente quelle idee e ipotesi che appunto ci han condotto alla teoria dei gas. Vogliamo ora tornare un poco su questo punto.

La semplice legge dei gas è espressa, come è noto, dalla formula $p\nu = RT$, dove p è la pressione, ν il volu-

me, T la temperatura assoluta, e R la costante caratteristica di ogni gas. Nello stabilire questa formula si è supposto che le molecole avessero a disposizione per il loro movimento tutto quanto il volume occupato dal gas: tale ipotesi è solo approssimativamente vera, perchè da tale spazio, deve essere naturalmente tolto il volume proprio occupato dalle molecole, che non potrà certo essere nullo. Quanto maggiore sarà il numero delle molecole presenti in un dato volume, cioè quanto più compresso e denso sarà il gas, tanto più grande diverrà il rapporto del volume molecolare al volume totale del gas; perciò il numero degli urti, e quindi la pressione, deve crescere più di quello che teoricamente si potrebbe prevedere, per la diminuzione del volume: e questo eccesso di pressione, deve essere in relazione con le dimensioni delle molecole.

Van der Waals ha a tal fine introdotto nella formula un termine b di correzione che rappresenta appunto il volume delle molecole; ma ne occorre ancora un altro.

Infatti, nello stabilire la formula si è supposto che fra le molecole non si esercitasse alcuna attrazione, il che è ammissibile finchè la loro media distanza rimane molto grande. Ma questo non è più vero, quando, essendo il gas molto compresso, la media distanza viene a diminuire sempre più, riducendosi le molecole quasi a contatto fra loro; occorre allora un altro termine di correzione, che esprima l'effetto di questa attrazione.

Ma questo termine ha un effetto contrario al primo, perchè la reciproca attrazione delle molecole produce

una diminuzione dell'espansività del gas e perciò della sua pressione sulle pareti del recipiente che lo racchiude. Con queste correzioni, l'equazione dei gas prende, secondo van der Waals, la forma

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT$$

Lo stato del gas che nelle condizioni ordinarie è indipendente dalla sua costituzione chimica, non lo è più alle alte pressioni, in cui comincia l'influenza del volume molecolare. Così, da ricerche fatte in tali condizioni, si sono trovati i valori numerici dei termini di correzione, e quindi si è potuto avere misure delle dimensioni delle molecole, non solo in numeri relativi, ma anche assoluti. Sono i numeri che abbiamo dato al paragrafo 5 della prima parte.

Se l'attrazione molecolare seguisse le leggi della gravitazione, dovrebbero le molecole, una volta capitate nella loro sfera di attrazione reciproca, precipitarsi incontro con moto accelerato. Ciò non sembra avvenire; e quel termine b , che, secondo certe considerazioni, è da farsi eguale non al volume delle molecole ma al quadruplo di esso, misura appunto questo ostacolo insuperabile. Non è dunque il contatto fra le molecole che rende impossibile un ulteriore avvicinamento, ma v 'è ragione di credere che fra esse rimanga sempre una distanza maggiore del doppio del loro diametro. Questa separazione delle molecole, che sola rende possibile le esteriori qualità dei gas, mentre per l'effetto della attrazione e della pressione dovrebbero, come ogni altra materia,

riunirsi in una massa informe, è una conseguenza del movimento delle molecole e degli atomi dovuto al calore, il quale è anche qui, come dappertutto, il grande regolatore dei fenomeni fisici.

Abbiamo visto a suo luogo, che il solo aumento della pressione non è sufficiente per liquefare un gas, e che questo rimane gassoso sotto qualunque grandissima pressione, se la temperatura non è portata al disotto di un certo limite, diverso e caratteristico per ogni specie di gas, che è la sua temperatura critica. Ciò significa che, diminuendo la temperatura, quelle vibrazioni termiche che segnano il limite all'attrazione molecolare, vanno pure diminuendo, fino a che si formano nuovi aggruppamenti molecolari, che costituiscono appunto lo stato liquido. La forza di questo movimento vibratorio molecolare è dunque maggiore di quella di qualunque esterna pressione, e solamente le forze attrattive molecolari possono superarla.

La temperatura caratteristica per ciascun gas, a cui comincia la possibilità della sua liquefazione, si chiama *temperatura critica*; e si chiama *pressione critica* la pressione corrispondente di liquefazione.

Questi *dati critici* sono certamente in relazione con la costituzione chimica e con le proprietà delle molecole, e le ricerche sperimentali confermano in generale le ragioni teoriche. Tali ricerche poterono esser fatte solo per un numero relativamente piccolo di sostanze semplici e composte; quelle, cioè, che è possibile avere allo stato gassoso: come regola generale ne risulta che *la tempe-*

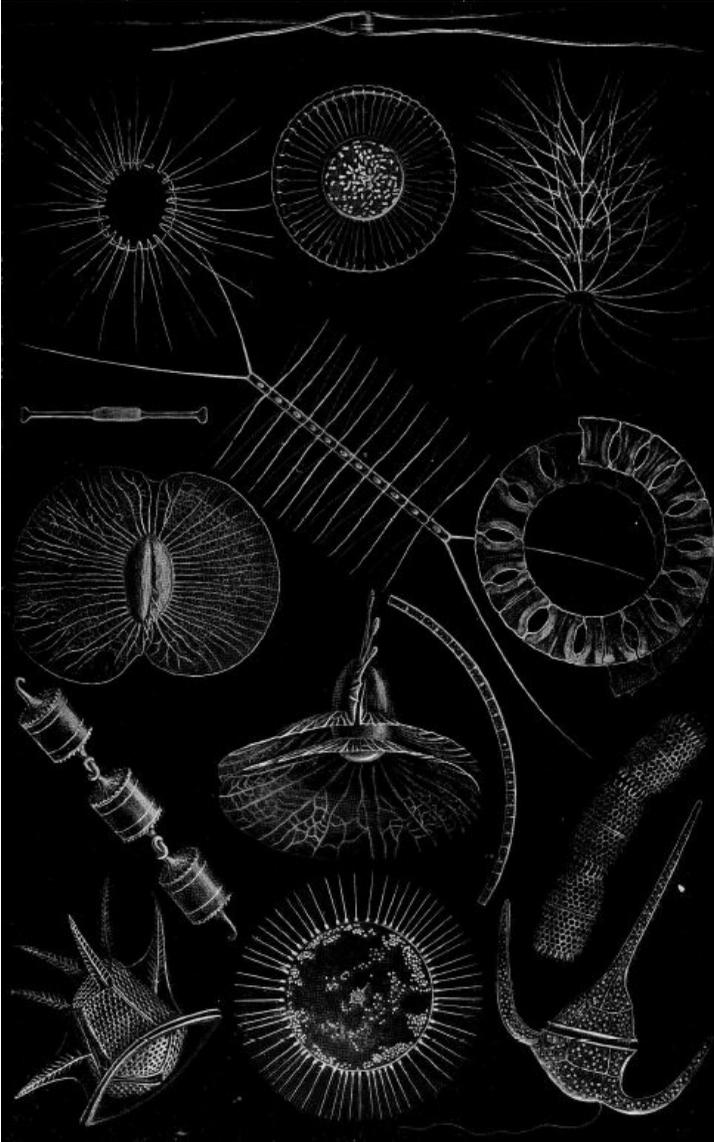
ratura critica dei gas semplici decresce col peso atomico.

Le temperature critiche, per le elevate pressioni che le accompagnano, sono naturalmente più difficili ad osservare che le temperature di ebollizione sotto la normale pressione atmosferica. Ma nel resto, fra le une e le altre vi è analogia di comportamento; ben inteso che le temperature critiche sono molto più basse. Della variazione della temperatura di ebollizione e delle sue leggi, secondo gli studi di Nernst, già abbiamo parlato a proposito delle proprietà dei composti organici.

Quando negli alcool, negli acidi, e negli eteri, la molecola si accresce di un gruppo metilico (CH_3), il punto di ebollizione aumenta di 19-21 gradi; nelle aldeidi, invece, di 26-27. Minore regolarità si presenta quando questo gruppo vien aggiunto in un anello benzoico; tuttavia anche qui si ha aumento della temperatura di ebollizione.

Quando in un composto organico si sostituisce il Cl nel posto dell'H, il composto diventa meno volatile. Così, mentre l'acido acetico CH_3COOH bolle a 118° , l'acido cloro acetico $\text{CH}_2\text{Cl.COOH}$ bolle a 185° . La sostituzione di altri atomi di cloro a quelli di idrogeno fa innalzare poco più la temperatura di ebollizione: il composto CHCl_2COOH bolle a 194° , e pochi gradi sopra, quello CCl_3COOH .

Quando si sostituisce l'idrossile OH all'idrogeno, la temperatura di ebollizione sale di circa 100 gradi.



Le forme della Silice negli organismi.
(Alghe marine).

b) Lo stato liquido.

Le deviazioni da una legge generale, conducono sempre a considerazioni importanti; e anche in questo caso, seguendo il Vernon, si è condotti a conclusioni importanti sopra le *differenze di costituzione molecolare fra liquidi e gas*, argomento fin'ora poco conosciuto. In alcuni casi, infatti, il punto di ebollizione dei liquidi è ben diverso da quello che resulterebbe, secondo la regola, partendo dalle altre combinazioni dei medesimi elementi. In moltissimi casi, il raddoppiamento del peso molecolare fa innalzare il punto di ebollizione di più che 100 gradi. Così l'Etilene C_2H_4 bolle a -105° , il Butilene C_4H_8 a -5° , l'Otilene C_8H_{16} a $+126^\circ$ e $C_{16}H_{32}$ a $+274^\circ$. Invece l'acido solfidrico H_2S (la cui molecola ha il peso $2 + 32 = 34$) bolle a -62° ; il peso molecolare dell'acqua H_2O è $2 + 16 = 18$, cioè quasi metà, perciò il suo punto di ebollizione dovrebbe essere più basso di quello dell'acido solfidrico, certamente inferiore a -100° , e invece è $+100^\circ$, cioè 200 gradi più alto. Vernon spiega questa eccezione, ammettendo che nello stato liquido le molecole sono più complesse che nello stato gassoso e come multiple; per esempio, la molecola dell'acqua allo stato liquido non sarebbe H_2O come nel vapore, ma $(H_2O)_4$. Questi gruppi molecolari si discioglieranno per il calore, e perciò sarebbe necessario tanto aumento di temperatura per iniziare la vaporizzazione. Anche altre sostanze presentano tali anomalie, per esempio, l'*acido fluoridrico* (HF) rispetto agli altri Idracidi.

Così, dai più differenti fenomeni vediamo sempre meglio, che col diminuire della temperatura gli elementi dei corpi si riuniscono in composti sempre più stabili: inversamente, col crescere della temperatura queste aggregazioni atomiche si sciolgono sempre più. Anche nello stato gassoso abbiamo visto, per esempio, le molecole di zolfo essere insieme aggruppate, e nel vapore di Jodio scindersi le molecole biatomiche in liberi atomi. A temperature molto elevate, avviene la dissociazione di molte sostanze, che a temperature inferiori formano composti stabilissimi. E così si può affermare, che a temperature elevatissime tutte le sostanze devono dissociarsi nei loro elementi, e forse alcuni degli elementi stessi, decomporsi in altri corpi più semplici.

È quindi molto probabile, che nello stato liquido le molecole siano collegate in un grado più elevato che nei gas; pur soggette, come le molecole gassose al movimento termico, si manterrebbero ad una distanza che ne permette lo scorrimento. La grande densità dei liquidi, rispetto ai gas, si spiega con la grande densità di questi aggruppamenti molecolari. È perciò difficile nei liquidi, separare le azioni fisiche da quelle chimiche; e per questo, in molti casi, questi gruppi molecolari possono, per il chimico, non avere ragione di essere.

Se la formazione di sistemi molecolari è la causa principale della formazione dello stato liquido, dovrebbero le leggi dei gas valere, con qualche limitazione, anche per i liquidi. Ciò non sembra a prima vista, e per i liquidi valgono leggi più complesse; per esempio, la

loro dilatazione non è in semplice rapporto con la temperatura.

Ricordando l'equazione dei gas, e le correzioni che secondo van der Waals vi si devono fare per tener conto dell'attrazione e del volume molecolare, si vede che, per applicarla allo stato liquido, le correzioni sarebbero tanto grandi che la legge di Boyle e Gay-Lussac quasi sparisce. È quindi della massima importanza, il tentare di ottenere, anche per la materia liquida, uno stato di relativa libertà, paragonabile a quello dei gas, per risolvere la questione se il movimento molecolare è regolato nell'un

caso e nell'altro dalle stesse leggi.

Questo stato in cui le molecole, pur essendo allo stato liquido, sono tuttavia lontane e relativamente libere le une dalle altre, ce l'offrono le *soluzioni diluite*.

Quando sciogliamo dello zucchero nell'acqua, le molecole di zucchero si diffondono in tutta la mas-



Fig. 424. — J. van't Hoff.

sa liquida, come farebbero le molecole di un gas in uno spazio di egual volume: esse si allontanano fra loro di altrettanto, e perciò l'effetto della reciproca attrazione diventa minimo, come nello stato gassoso. Esse non saranno nei loro movimenti altrettanto libere, perchè devono muoversi in mezzo al solvente; ma questa condizione è eguale per tutte, e non può rappresentare che una diminuzione del movimento generale, esprimibile con un coefficiente o fattore unico. Come misurare questo movimento, ossia la pressione sulle pareti del recipiente, dovuta al solo movimento delle particelle della sostanza disciolta, separatamente dalla pressione idrostatica del liquido solvente? La *pressione osmotica* ce ne fornisce il mezzo, e spetta a van't Hoff il merito di questa scoperta.

Quando sopra una soluzione di zucchero si versa uno strato d'acqua che rimane separato, avviene che lo zucchero, sebbene più pesante vi si diffonde, facendo un lavoro contro la gravità, e questo lavoro è un effetto di quella pressione osmotica che vogliamo appunto misurare: ma essa più manifestamente si rivela quando i due liquidi son separati da una membrana animale (come vescica di maiale) la quale traverso i suoi pori lascia passare bene l'acqua, ma meno assai le molecole più grosse della sostanza disciolta: ne risulta fra i due liquidi una differenza di livello e, come già abbiamo visto, una differenza di pressione, e questo è un fenomeno che ha molta importanza nei processi fisiologici.

Ma per il nostro scopo, bisogna considerare una

membrana che non lasci assolutamente passare la sostanza disciolta, bensì si lasci traversare dal solvente. Una membrana *semipermeabile* è possibile: uno strato di ferrocianuro di rame preparato secondo le indicazioni di Traube, ha la proprietà di lasciar passare l'acqua, ma non i sali in essa disciolti.

Coprendo con una tale membrana le pareti di un vaso di terra porosa, riempito di acqua inzuccherata, e collocandolo in altro vaso più grande pieno d'acqua, avviene che l'acqua passa liberamente dall'esterno all'interno, diluendo sempre più la soluzione di zucchero, e innalzandosi di livello nel vaso piccolo e in un tubo col quale esso termina superiormente. Il livello massimo a cui arriva quando è raggiunto l'equilibrio, misura appunto la pressione osmotica (fig. 425).

Le misure fatte in queste e in altre maniere, fan vedere che la pressione osmotica, a temperatura costante è proporzionale al numero di molecole contenute nell'unità di volume della soluzione, e non dipende punto dalla natura del solvente. Se noi, per un momento, supponiamo tolto questo solvente, vediamo che le molecole della sostanza disciolta occupano il volume della soluzione come le molecole di un gas, e il grado della concentrazione corrisponde alla densità del

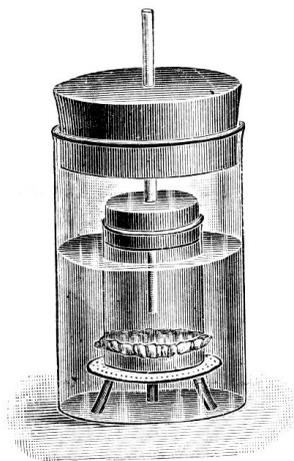


Fig. 425.

La pressione osmotica. gas, la quale, come

sappiamo, a temperatura costante cresce in ragione della pressione del gas. Dunque la legge di Boyle vale anche per le soluzioni diluite.

L'esperienza ha mostrato anche che la pressione osmotica cresce con la temperatura (Pfeffer). L'accrescimento della pressione per un certo grado di concentrazione è esprimibile con la formula

$$P = 0,649 (1 + 0,00367 t).$$

che dà la pressione in atmosfere. Come si vede, il coefficiente di temperatura coincide con quello dei gas, uguale a $1/273$, per cui si può dire, che nelle soluzioni diluite, la pressione cresce in ragione della temperatura assoluta, come vuole la legge di Gay-Lussac. Anche per questo la natura del solvente non ha influenza.

Dunque la pressione osmotica di una soluzione è precisamente quella medesima che le molecole della sostanza disciolta eserciterebbero, se allo stato gassoso riempissero lo spazio eguale al volume della soluzione medesima; perciò, con lo stesso ragionamento come per i gas, si può applicare la legge di Avogadro, e dire che, *le soluzioni le quali hanno la stessa pressione osmotica a eguale temperatura, contengono in egual volume lo stesso numero di molecole.*

L'importanza di queste deduzioni della teoria di van't Hoff è grandissima per la fisico-chimica, anche dal punto di vista pratico. Così, per esempio, si può ora determinare la densità di vapore di alcune sostanze non vaporizzabili, perchè possiamo ottenerle in soluzione e misurare la pressione osmotica. Così si determina il peso mo-

lecolare di elementi solubili, ma non vaporizzabili, con la stessa facilità come per gli elementi gassosi.

Come i gas molto compressi non seguono più la legge di Boyle, e a questa occorrono le correzioni contenute nella formula di van der Waals, così le soluzioni si allontanano dalla legge corrispondente quando la concentrazione è troppo forte; e sembra che le deviazioni coincidano nell'un caso e nell'altro, come dovute alle medesime cause. Da tutte queste ricerche si può considerare come provato, che il movimento molecolare dei liquidi segue le stesse leggi di quello dei gas, e che la differenza fra essi, consiste nel grande attrito interno, derivante nei liquidi dalla grandezza e dalla vicinanza delle molecole.

Una proprietà, ben nota da lungo tempo, delle soluzioni è l'innalzarsi del punto di ebollizione e l'abbassarsi del punto di congelazione con la loro concentrazione, ossia aumentando la proporzione della sostanza disciolta. È noto a tutti il miscuglio frigorifero di ghiaccio e sale che fonde a temperatura inferiore a 0° ; così l'acqua di mare non congela che a qualche grado sotto 0° , ma bolle a temperatura più elevata di 100° .

Il primo fatto sembra strano a prima vista, perchè il sale, lo zucchero, ecc., fondono tutti a temperatura più alta del ghiaccio, mentre il miscuglio delle due sostanze fonde a temperatura più bassa di ciascuna delle due. Il fisico Raoult aveva fin dal 1883, cioè prima delle scoperte di van't Hoff, trovato la regola seguente: *l'abbassamento del punto di fusione è proporzionale al rappor-*

to del numero di molecole disciolte a quelle del solvente, e non dipende dalla natura delle due sostanze. La legge della pressione osmotica indica che questa regola di Raoult ne è una conseguenza necessaria.

Dalla legge di Raoult si ha che l'abbassamento del punto di congelazione è espresso con una formula empirica.

$$t = \frac{Em}{M}$$

dove E è un fattore costante dipendente dal solvente, m il numero di grammi della sostanza contenuti in 100 gr. del solvente, M il peso molecolare di questa. Per l'acqua, $E = 18,5$; per una soluzione di zucchero al 10%, tenendo presente che il peso molecolare dello zucchero ($C_{12}H_{22}O_{11}$) è $(12 \times 12) + 22 + (11 \times 16) = 342$, avremo

$$t = 18,5 \times \frac{10}{342} = 0,53^\circ ;$$

essa congelerà dunque a $-0,5^\circ$.

La legge è in difetto per le soluzioni di sali metallici, e quindi anche per quella di sale marino del miscuglio frigorifero, perchè in questo caso, producendosi la *dissociazione parziale* delle molecole, il numero M diventa più piccolo. È questo un fenomeno molto importante ed è stato il punto di partenza che ha condotto alla spiegazione della elettrolisi con la teoria degli joni. La stessa formula può servire alla determinazione del punto di ebollizione delle soluzioni.

Abbiamo dunque tre maniere diverse per determinare il peso molecolare; dalla densità del vapore, dalla pres-

sione osmotica, dalla variazione del punto di congelazione o da quella del punto d'ebollizione. In molti casi esse possono essere adoperate tutte e tre per una data sostanza, e l'accordo fra i valori ottenuti conferma la giustezza dei principî teorici sulla costituzione della materia, da cui derivano le leggi sopra accennate. Su queste basi è sorto un nuovo e promettente ramo di scienza; la fisico-chimica.

Qui, per seguire il filo del ragionamento, occorre fare anche un passo nel campo della materia solida, sebbene delle sue proprietà dovremo trattare più completamente, poichè vi sono anche *soluzioni solide* (fra queste dobbiamo porre le leghe metalliche che già conosciamo) per le quali valgono pure le leggi di Raoult e van't Hoff. In particolare, ricordiamo che il punto di fusione delle leghe (con qualche eccezione, dovuta probabilmente anche qui alla dissociazione) è inferiore a quello di ciascuno dei metalli che le compongono, e l'abbassamento corrisponde al rapporto del numero di molecole del metallo più fusibile a quello degli altri metalli. Si può determinare il peso molecolare dei metalli; ed è notevole il fatto che i metalli nelle leghe risultano per lo più monoatomici, come i vapori metallici di cui abbiamo già parlato. Le leghe dunque si rivelano come veri composti chimici i quali però sono facilmente decomponibili: infatti, la molecola metallica, d'ordinario biatomica deve dividersi, perchè possano combinarsi gli atomi eterogenei dei diversi metalli, nonostante la poca affinità dei metalli fra loro. È dunque probabilissimo, che i metalli

allo stato gassoso siano monoatomici; così abbiamo già supposto per considerazioni suggerite da fenomeni astronomici, e ora giungiamo al medesimo punto per via tutta diversa.

Questa applicabilità, per quanto limitata, della legge dei gas, ai metalli, cioè alle forme più dense della materia solida, ci prova che anche in questi si deve avere una certa libertà di movimento molecolare. In realtà, anche nei solidi, quando siano a contatto e sotto forte pressione, si ha una reciproca penetrazione e scambio di molecole, che è molto affine alla diffusione dei gas e dei liquidi: si possono formare delle vere leghe metalliche comprimendo fortemente e lungamente dei miscugli di polveri di diversi metalli. Nel mercurio, che è liquido, i metalli si sciolgono formando vere soluzioni (Amalgame).

Come il calore influisce sopra i fenomeni chimici, così in questi si produce o si assorbe calore, corrispondendo questo al lavoro fatto dalle forze chimiche. Ogni combinazione chimica dà luogo ad una certa quantità di calore che si chiama *calore di combinazione*, e vien riferita al peso molecolare, cioè a tanti grammi del composto quanto è il suo peso molecolare.

Prendiamo, per esempio, la reazione dello zinco con l'acido solforico, per cui si produce solfato di zinco e idrogeno libero.

Un atomo di zinco che ha il peso di 65,4, sostituendosi all'idrogeno, ne mette in libertà 2 atomi; ossia grammi 65,4 di zinco, danno luogo alla separazione di 2

grammi d'idrogeno. Il calore prodotto dalla combinazione di 65,4 gr. di zinco per formare il solfato di zinco, è di calorie 108000, operando a 20°; per cui supponendo che l'acido fosse diluito in 1000 gr. d'acqua questa si riscalderebbe di $\frac{108000}{1000} = 108$ gradi. Ma si svolge anche

l'idrogeno, il quale occupa un volume notevole e perciò fa un lavoro superando la pressione atmosferica; e oltre a ciò il gas, rappresenta una notevole quantità di energia cinetica, che possiamo calcolare ricorrendo alla formula adoperata a pag. 164, che dà per l'energia cinetica di due grammi d'idrogeno una quantità equivalente a circa 586 calorie. Questo calore deve essere aggiunto a quello della reazione per valutare tutta l'energia svolta.

Il calore di combinazione è molto diverso per le varie sostanze; mentre nella reazione precedente, 1 gr. di zinco svolge $\frac{108000}{65,4} = 1661$ calorie, 1 gr. di idrogeno combinandosi con l'ossigeno per formare l'acqua ne svolge 34200.

Ecco una tabella di alcuni caloricici di combinazione: prendendo di ogni elemento un numero di grammi equivalente al peso atomico: così 2 gr. di idrogeno e 16 di ossigeno formando 18 gr. d'acqua danno 68 calorie, ecc.

2H + O	= H ₂ O	acqua (liquida)	+ 68
C + 2O	= CO ₂	anidride carbonica	+ 94
C + O	= CO	ossido di carbonio	+ 26
S + 2O	= SO ₂	anidr. solforosa	+ 71

N + O	= NO	ossido d'azoto	- 21
H + J	= HJ	acido iodidrico	- 6

Come si vede, alcuni di questi *calori* sono *negativi!* Ciò significa che il lavoro delle forze chimiche è negativo, ossia che la formazione del composto richiede un consumo di energia. Per esempio, l'esser negativo il calore di combinazione dell'ossido d'azoto (NO) significa che si richiede più energia per separare le molecole biatomiche di ossigeno ed azoto nei loro atomi, di quella che si produce nella combinazione della nuova molecola. Infatti l'equazione chimica deve essere scritta:



È interessante anche notare che l'affinità degli alogeni coll'idrogeno va diminuendo col crescere del peso atomico.

Quando si scioglie nell'acqua un solido si ha sempre un abbassamento di temperatura, corrispondente al lavoro molecolare, a meno che non avvenga qualche reazione chimica che produca calore. Così, per esempio, si produce calore sciogliendo l'acido solforico nell'acqua, perchè si produce un'idratazione del medesimo, e perciò quest'acqua non si può separare con la semplice distillazione. Questa avidità dell'acido solforico per l'acqua, anche allo stato di vapore, è utilizzata in diverse manipolazioni chimiche; e si chiamano in generale *igrosco-piche* le sostanze che hanno tale proprietà.

c) Lo stato solido.

Come tutti i fenomeni della temperatura, anche il punto di fusione presenta interessanti regolarità. Nella tabella seguente, in cui gli elementi sono ordinati secondo il sistema periodico (vedi a pag. 486), sono indicati i punti di fusione espressi nella scala delle temperature assolute.

Si vede, che la temperatura di fusione, per ogni gruppo di elementi, oscilla di sopra e di sotto di un certo valore, come se fosse rappresentata da una linea ondulata. Queste oscillazioni sono anche più manifeste se si costruisce la curva che rappresenta il volume atomico in relazione al peso atomico. Il volume atomico è il quoziente del peso atomico per la densità, presa per tutti gli elementi allo stato solido; esprime cioè lo spazio relativamente occupato dallo stesso numero di atomi dei vari elementi, o, come si dice, il volume relativo dei vari atomi.

I volumi atomici sono meno differenti fra loro dei pesi atomici, poichè mentre quest'ultimi vanno dal valore 1 per l'idrogeno a 240 per l'uranio, il minimo volume atomico 3,6 è quello del carbonio e il massimo 56,1 quello del rubidio, che relativamente è lontano dagli altri, poichè il più vicino, il potassio, ha per volume atomico 45,4. Se si potesse supporre che gli atomi fossero sferici, i loro raggi starebbero fra loro come le radici cubiche di questi numeri; e l'atomo più grande, quello del rubidio, sarebbe solo due volte e mezzo quello del car-

bonio.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
H st. 40							He m. b.		
Li 453	Be sp. 1270	B m. a.	C m. a.	N. m. b.	O m. b.	F m. b.	Ne m. b.		
Na 369	Mg 1070	Al 1000	Si m. a.	P rosso 528 bianco 317	S 388	Cl 171	A m. b.		
K 335	Ca sp. 748	Sec ?	Ti m. a.	V m. a.	Cr sp. 2270	Mn 2170	Fe 1977	Co 2070	Ni 1870
Cu 1355	Zn 691	Ga 303	—	As sp. 773	Se 490	Br 266	Kr. m. b.		
Rb 311	Sr sp. 748	Y ?	Sr m. a. Si	Nb m. a.	Mo m. a.	—	Ru 2070	Rh 2270	Pd 1973
Ag 1241	Cd 591	In 449	Sn 503	Sb 700	Te 800	J 387	X m. a.		
Cs 299	Ba 748	La sp. 710 Ce st. 1273	—	—	—	—	—		
—	—	—	—	Ta m. a.	W m. a.	—	Os 2770	Ir 2220	Pt 2050
Au 1345	Hg 233	Tl 563	Pb 597	Bi 542	—	—			
			Th ?		U m. a.				
Temperature assolute di fusione degli elementi chimici. <i>Abbreviazioni:</i> sp. = sopra; st. = sotto; m. a. = molto alta; m. b. – molto bassa.									

Le proprietà fisiche e chimiche degli elementi sono collegate al peso e al volume atomico, da relazioni, che per primo ha illustrate Lothar Meyer. Si osservi la curva

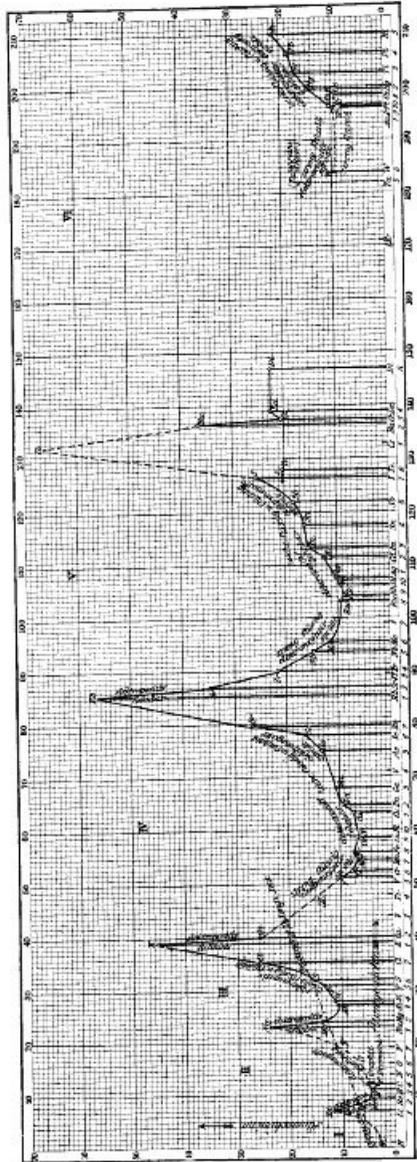


Fig. 426. — Curva dei pesi atomici. — I numeri romani corrispondono ai gruppi stabiliti alla pag. 486.

della fig. 426 in cui son contati nella linea orizzontale i

pesi atomici, e sulla verticale i volumi atomici. Congiungendo i punti corrispondenti ai vari elementi, si ha una linea sinuosa i cui massimi hanno relazione coi gruppi del sistema periodico di Mendelejeff. Ogni gruppo, segnato nella curva da un numero romano, ha il suo massimo e il suo minimo; e come si vede dalla dichiarazione, le proprietà elettriche e il punto di fusione salgono e scendono con la curva medesima. Col crescere del volume atomico le sostanze si fanno, in ciascun gruppo, più fusibili, sebbene non in egual grado; mentre col crescere del peso atomico, nel ramo discendente, diminuisce in generale la fusibilità; in simil modo variano le proprietà elettriche.

La fusibilità decresce in generale, mentre cresce il peso atomico, il che apparisce ben naturale; ma vi sono eccezioni, le quali rivelano come questa fusibilità dipenda non solo dalla massa, ma anche dal volume degli atomi. Col crescer del volume atomico cresce in generale la fusibilità, come se gli atomi più grossi offerissero maggior superficie agli urti che determinano il cambiamento di stato.

Come dobbiamo rappresentarci lo stato dei solidi? Ricordando le loro proprietà, noi possiamo distinguerli in corpi *crystallizzati* e in corpi *amorfi*, sebbene vi siano sostanze che possono presentarsi in ambedue gli stati, come i metalli, che hanno poi proprietà caratteristiche. Finalmente, come passaggio fra solidi e liquidi, dobbiamo ricordare i corpi *colloidali*, e, aggiungiamo, anche i *crystalli liquidi*. Ma cominciamo dallo stato cristallino.

Come, per le circostanze esteriori, si formano i cristalli è ben noto a noi, che in ogni inverno osserviamo sui vetri delle finestre, i fiori di ghiaccio, fiori senza vita, ma graziosissimi (figura 427). Appena la temperatura discende sotto lo 0° , alla superficie dell'acqua si formano questi aghi sottili, aggruppandosi regolarmente, fino a che, congiungendosi fra loro questi artistici cristalli, risulta una massa compatta, una lastra di ghiaccio che galleggia. Ma ricordiamo che l'acqua fa una singolare eccezione, e che negli altri corpi la cristallizzazione comincia dal fondo, perchè la densità della materia allo stato solido è maggiore che nello stato liquido.



Fig. 427. – Fiori di ghiaccio.

A provocare la cristallizzazione occorre per lo più una

causa esteriore, quasi una spinta. Se, per esempio, si lascia lentamente evaporare una soluzione essa diventa soprasatura, ossia contiene disciolta una quantità di sostanza, maggiore di quella che potrebbe contenere; in tal modo la separazione della materia disciolta in cristalli può essere molto ritardata, come può essere ritardata l'ebollizione o la solidificazione, fino a che non sopravviene una causa esterna e accidentale a provocarla repentinamente.

Questa causa è per lo più un piccolo cristallo, o anche un corpo qualsiasi, che cadendo nella soluzione, provoca la formazione rapida di un cristallo, e, intorno a questo, di molti altri in tutta la massa. Qualche cosa di simile avviene nell'ebollizione dei liquidi soprariscaldati, e nella condensazione dei vapori soprasaturi. Così, la condensazione del vapore acqueo nell'atmosfera richiede, per cominciare, la presenza del pulviscolo; probabilmente, ogni sostanza o chimicamente semplice o composta, può prendere la forma cristallina, ma certe sostanze cristallizzano più facilmente delle altre; e di alcune, fra queste il diamante, non si conosce ancora bene le condizioni nelle quali esse cristallizzano.

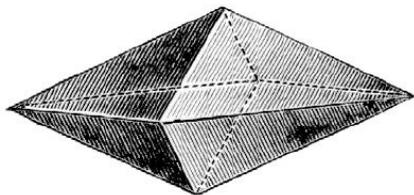


Fig. 428. – Ottaedro monoclinico di zolfo.

La cristallizzazione può prodursi in varie maniere; ma, sempre, è necessario un abbassamento di temperatura. La materia può passare direttamente dallo stato gassoso allo stato solido cri-

stallizzando, senza passare per lo stato fluido; questo processo si chiama *sublimazione*, e ce ne offre un esempio lo zolfo, il quale dallo stato di vapore si sublima sui corpi freddi in ottaedri monoclini (fig. 428), mentre solidificandosi dallo stato liquido, cristallizza nel sistema rombico (fig. 429). Da mezzi ottaedri della prima forma si può formare un cristallo della seconda specie.

I vari corpi possono cristallizzare anche dalle soluzioni in cui si trovino disciolti. È noto, che un liquido caldo, discioglie di più, delle varie sostanze, che a bassa temperatura; perciò, quando si raffredda una soluzione già satura, si separa dal solvente una parte della sostanza disciolta, e questa passando allo stato solido cristallizza.

Se il raffreddamento è rapido e il liquido è agitato, la cristallizzazione avviene in ogni parte, e si ottengono solo piccoli cristalli, talora osservabili solo al microscopio; una vera polvere

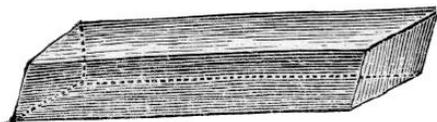


Fig. 429. – Zolfo rombico.

cristallina. Col raffreddamento lento e con altre speciali precauzioni, si possono, invece, ottenere grossi cristalli: ma certe sostanze danno sempre piccoli cristalli, specialmente quelle che sono poco solubili e che, quindi, sono nella soluzione in piccola quantità. La formazione dei cristalli, come abbiamo detto, ha luogo di preferenza intorno ai corpi solidi, e perciò sulle pareti e sul fondo dei recipienti; ma qui, naturalmente, i cristalli sono solo in parte formati, e sembrano come tagliati dalla superficie che serve loro di base, e sulla quale son cresciuti,

come attaccandosi alle sue asperità e ai suoi pori. I cristalli si formano perciò gli uni sugli altri, dando origine a svariate forme composte, ma le forme geometriche fondamentali rimangono sempre le medesime. Insieme, possono crescere soltanto cristalli della medesima forma.

Per avere un cristallo completo e regolarmente sviluppato, bisogna dargli modo di crescere liberamente in tutte le direzioni, ossia stabilire nel mezzo del liquido un centro di cristallizzazione; il che si può facilmente ottenere sospendendo nel liquido un piccolo cristallo già formato (fig. 430) e della stessa specie. Un tale cristallo facilita straordinariamente il processo di cristallizzazione, mentre cristalli di specie diversa sarebbero inattivi o tutto al più servirebbero semplicemente di attacco come corpi solidi qualunque.

Poichè ogni specie chimica, ogni sostanza, ha una sua propria forma cristallina, è possibile, da una soluzione che tiene disciolte parecchie sostanze, separar queste allo stato di purezza per mezzo della cristallizzazione; poichè, *sopra un cristallo di una data sostanza non se ne forma mai uno di sostanza diversa*. Certamente, potrà avvenire che un cristallo sia im-

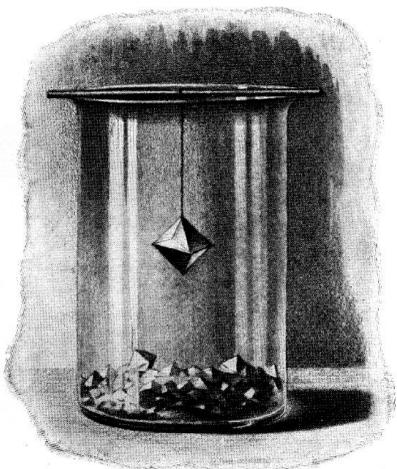


Fig. 430. Ingrossamento d'un cristallo.

brattato meccanicamente con altra sostanza o anche contenga racchiuse piccole quantità di liquido eterogeneo; e perciò, per ottenere sostanze veramente pure si usa di ripetere più volte il processo di cristallizzazione, riscogliendo di nuovo i cristalli ottenuti e facendoli di nuovo cristallizzare in soluzioni sempre più pure.

Le diverse sostanze, cristallizzando a diverse temperature e a diversi gradi di concentrazione, possono così essere facilmente separate; dopo che è cristallizzata una delle sostanze, la soluzione che resta si chiama la sua *acqua madre*, la quale similmente può ancora cristallizzare. Se per due sostanze la cristallizzazione avviene nelle stesse condizioni fisiche, si formeranno insieme cristalli delle due specie, senza però unirsi: essi si distinguono dalla loro forma geometrica, e si separano così le due sostanze. Un caso molto interessante è quello già ricordato dell'acido tartarico, nel quale vediamo una stessa sostanza dare origine contemporaneamente a due specie di cristalli, pochissimo differenti, i quali separati e ridisciolti di nuovo danno due soluzioni otticamente differenti.

Molto interessanti e istruttive sono, come sempre, le eccezioni che non mancano anche per questa regola; poichè sono certamente più numerose le sostanze cristallizzabili che le forme cristalline riconoscibili come diverse. Quindi, avviene che sostanze chimicamente diverse abbiano la stessa forma cristallina, e perciò possano cristallizzarsi insieme, formando cristalli misti, nei quali le varie sostanze son contenute in determinate pro-

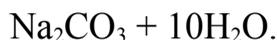
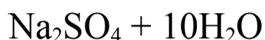
porzioni; è indifferente che esse, chimicamente, siano più o meno affini, purchè non reagiscano le une sulle altre: altrimenti non avrebbero potuto nella soluzione stare fra loro vicine. Da tutto ciò risulta che la cristallizzazione è un processo del tutto fisico, sebbene la forma cristallina dipenda dalla costituzione chimica dei corpi, e perciò non avviene alcun cambiamento di volume nel miscuglio, cioè dilatazione o contrazione, che rivelerebbe le azioni chimiche. Se le forme cristalline delle due sostanze sono non eguali ma solo simili, avviene spesso che si formino cristalli misti di forma intermedia, in cui, per esempio, gli angoli hanno un valore medio fra quelli che corrisponderebbero alle due sostanze. E in qualche caso la sostanza che prevale nella soluzione obbliga l'altra a cristallizzare con essa nella propria forma, ma sempre quando le due forme son simili. Per esempio, il solfato di magnesio cristallizza in romboedri, il solfato di ferro nel sistema monoclinico; se in una soluzione è preponderante il primo, anche il solfato cristallizza in romboedri.

Molto caratteristica è la proprietà dell'acqua e di alcuni altri solventi di combinarsi con le varie sostanze disciolte e formar con esse cristalli misti prendendo la forma solida. Moltissimi sali ottenuti da soluzioni acquose, contengono così acqua di cristallizzazione, e sempre in rapporto determinato, corrispondente ad un certo numero di molecole. Per esempio, i due sali citati sopra, solfato di magnesio e solfato di ferro, cristallizzano con acqua; e in tale stato le loro formule chimiche sono:



Ma quest'acqua si deve considerare unita fisicamente e non chimicamente come negli idrati di carbonio. Infatti, col semplice riscaldamento i cristalli fondono nella loro acqua di cristallizzazione, e questa si evapora lasciando un residuo amorfo: a questo residuo si riferisce ordinariamente la formula chimica che definisce la sostanza, anche quando, come in certi minerali, l'acqua di cristallizzazione non è separabile senza cambiare la forma e le proprietà del corpo.

Noi vediamo dunque confermato il principio, che quanto più la materia si addensa e si lega nello stato di aggregazione, tanto più grossi e complessi devono essere i gruppi molecolari, e, perciò, tanto più facilmente possono essere decomposti o disciolti per l'azione del calore. Nello stato liquido le molecole sono molto probabilmente più grosse che nello stato gassoso, ma più grosse ancora nello stato solido. Nello stato cristallino la compagine della materia è ancora più serrata, senza che però in generale ne sia accresciuta la densità. L'acqua di cristallizzazione ci rivela la tendenza della materia a formare, nello stato solido, molecole sempre più grosse; anche 10 molecole d'acqua possono unirsi nella molecola di qualche sale, come nel solfato e nel carbonato di sodio, che son rappresentati dalle formule:



tantochè in questi composti la quantità d'acqua è in peso, maggiore di quella del sale, come è facile di verificare.

La debolezza dei legami che tengono unita nei cristalli l'acqua alle molecole solide, si rivela anche dal fatto, che molti cristalli, col tempo, *sfioriscono all'aria*, cioè perdono l'acqua per evaporazione, e con essa anche la forma cristallina. Altre sostanze invece non cedono l'acqua di cristallizzazione, senza cambiare anche di costituzione chimica. Un esempio ce l'offre il solfato di rame, di cui tutti conoscono i bei cristalli azzurri del sistema triclino. Esso contiene 5 molecole d'acqua e perciò la sua formula è $\text{CuSO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$; chi ha avuto occasione di adoperare questo sale sa che all'aria sfiorisce, trasformandosi in polvere bianca che è solfato di rame anidro; indicando questo cambiamento di colore un cambiamento di stato chimico. Questa polvere, risciolgendosi nell'acqua, forma la solita soluzione, azzurra, come se si fosse disciolto il sale in cristalli; e questi possono di nuovo ottenersi dalla soluzione.

L'acqua ha, dunque, insieme con pochi altri liquidi, la meravigliosa qualità di solidificarsi in unione a molte altre sostanze, prendendo con esse le più svariate forme cristalline, mentre essa di per sè ha, come ogni sostanza, una forma cristallina propria che appartiene al sistema esagonale. Da questa forma fondamentale derivano le più svariate combinazioni che presentano *i fiori di ghiaccio o cristalli di neve* (Fig. 431).



Fig. 431. – Cristalli di neve.

Il ghiaccio si può considerare come una roccia cristallina al pari del granito; la facilità del suo passaggio allo stato liquido e gassoso è dipendente dalle speciali condizioni di temperatura che regnano sulla nostra terra. Ma

nelle regioni polari e sulle elevate montagne, esso può considerarsi come una vera roccia formante parte essenziale del materiale terrestre; così probabilmente deve essere nella luna. Del resto il ghiaccio, alle bassissime temperature, è duro come una vera roccia, tanto da dare scintille all'acciarino: ma anche il piombo diventa duro e sonoro, e il burro si rompe in schegge fragili come vetro.

Non vi è dubbio che la forma cristallina rappresenti un'immagine visibile delle invisibili forme delle molecole: ma si comprende facilmente, che la forma dei cristalli non sarà sempre e in generale una semplice copia ingrandita delle forme delle molecole; e possiamo più ragionevolmente supporre che le molecole siano elementi geometrici definiti, dalla cui sovrapposizione risulta la forma del cristallo. Quanto questo possa esser diverso di fronte ai vari elementi geometrici, lo vediamo nel ghiaccio, il quale può formare prima i fiori di neve, poi cristalli di ghiaccio e finalmente tavole o blocchi nei quali appena si riconosce una struttura geometrica. In questo campo, aperto tuttora all'indagine matematica, si presentano molti e difficili problemi, relativi alle innumerevoli e possibili forme che possono risultare dalla combinazione di semplici elementi geometrici.

Una semplice regola possiamo però fin d'ora ammettere, come conseguenza delle nostre ipotesi. Le molecole essendo gruppi di atomi, è da credere che la loro forma geometrica sarà tanto più complessa quanto più lo sarà la loro costituzione chimica; e perciò i corpi sem-

plici dovranno avere forme cristalline più semplici dei loro composti. E l'esperienza conferma questa previsione.

Retgers ha fatto nel 1894, con questo proposito, una ricerca da cui risulta, che di 40 elementi cristallizzabili, 20 appartengono al sistema regolare, 14 all'esagonale; solo 2 al tetragonale, al rombico e al monoclino; nessuno al triclino. Vediamo dunque che negli elementi prevalgono, con grande maggioranza, le forme con assi eguali e rettangolari, cioè le forme più semplici, e che la classe più irregolare dei cristalli non vi è rappresentata.

Passando ai corpi composti, di 67 sostanze, la cui molecola è formata di due atomi eterogenei, 46 cristallizzano nel sistema regolare, 13 nell'esagonale, le altre negli altri sistemi, ma nessuno nel sistema triclino. Anche nei composti ternari la cui molecola è di tre atomi, la percentuale è di 53 per i primi due sistemi, di 47 per gli altri; ma per i composti tetratomici, il rapporto è di 40 a 60. Fra i composti inorganici, la cui molecola è di più che 5 atomi, si ha una preponderanza del sistema asimmetrico, tantochè in 673 sostanze solo il 20 per cento appartiene ai primi due sistemi, e ancora maggiore è tale prevalenza per i composti organici la cui molecola è sempre più complessa; per essi il rapporto è di 6 per 100 contro 94; di 585 composti solo 15 appartengono al sistema regolare e 24 all'esagonale.

Vi è dunque un parallelismo fra la forma cristallina e la costituzione delle molecole; ma non siamo in grado di poter enunciare la legge di questa relazione, nella forma

precisa che sarebbe da attendersi trattandosi di una relazione fisica e geometrica. Occorrono ancora molti studi e ricerche più complete, per questo problema di tanta importanza e interesse, la cui soluzione ci deve portare alla conoscenza della forma e delle proprietà delle molecole. La meccanica delle molecole e degli atomi, astri del mondo fisico invisibile, deve essere altrettanto precisa quanto la meccanica celeste.

Delle proprietà dei cristalli già più volte abbiamo fatto cenno, ed esse possono raccogliersi nel principio generale, che le qualità fisiche della materia cristallizzata son diverse secondo le varie direzioni, e precisamente secondo gli assi cristallini. La propagazione delle tensioni o pressioni, del calore, della luce, dell'elettricità, è diversa nelle varie direzioni, e ciò fa pensare che la stratificazione della materia costituente il cristallo sia ordinata secondo leggi dipendenti dalla forma geometrica.

Le forze che emanano dai cristalli hanno pure un orientamento, cosicchè la materia circostante è sollecitata ad unirsi col cristallo solo in un certo modo, adattandosi a quella che già vi si è ordinata, cosicchè il cristallo non può crescere che in quella determinata forma. E così comprendiamo, come un cristallo si accresca continuamente in una soluzione della sua sostanza, e come in questo processo puramente fisico della cristallizzazione, sia indifferente la costituzione chimica delle sostanze, quando le loro proprietà son tali da consentire solo quella stessa forma cristallina; per cui si formeranno cristalli misti di sostanze diverse, ma isomorfe, cioè tali che cri-

stallizzano nella stessa maniera. E si intende che saranno impossibili, cristalli misti, di sostanze che non siano isomorfe; come sarebbe impossibile costruire, mediante cubi, una figura che avesse per sezione un triangolo, così non è possibile che il cloruro di sodio e il solfato di rame cristallizzino insieme.

Il regolare aggruppamento delle molecole si ha veramente solo nello stato solido; ma, tuttavia, anche nello stato liquido, fino a un certo punto, è possibile; cosicchè non si può escludere, *a priori*, l'esistenza di cristalli liquidi. Certi liquidi organici, come l'acido tartarico, di cui abbiamo già parlato, hanno proprietà ottiche come, per esempio, la facoltà di far rotare il piano di polarizzazione; qualità che appartiene essenzialmente ai cristalli e noi l'abbiamo osservata anche nelle soluzioni zuccherine, il che mostra la presenza di piccoli cristalli in queste soluzioni, o in altre parole la forma cristallina delle molecole disciolte. Di recente sono stati studiati dal Lehmann i cosiddetti *cristalli liquidi*, cioè piccole gocce birifrangenti che si possono considerare come sferoidi cristallini. In queste condizioni, il liquido è torbido, come se contenesse in sospensione piccole particelle: ma riscaldato, ritorna chiaro, perdendo le sue proprietà ottiche. Si può, dunque, credere che la torbidezza sia dovuta a piccoli cristalli solidi, i quali tuttavia non alterano il carattere liquido della sostanza.

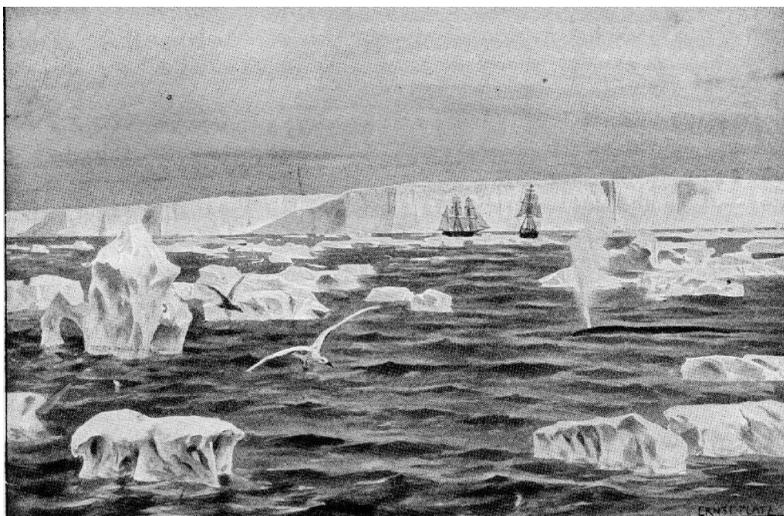


Fig. 432. – Barriera di ghiaccio nell'Antartide.

Finalmente, nei tessuti organici, si trovano certi corpi bianchi, detti *cristalloidi*, che, sotto ogni pressione, cambiano forma come corpi elastici e riprendono poi la forma primitiva. Anche essi indubbiamente hanno origine dalle stesse forze onde si generano i cristalli ordinari; consistendo in un certo primo grado di aggruppamenti molecolari, possibili anche nello stato liquido, che a poco a poco si avvicina a quel caratteristico stato detto *colloidale*, proprio di tanti composti organici.

Questo stato colloidale è da considerare come stato intermedio fra il solido e il liquido, e perciò dobbiamo occuparcene ora, prima di procedere oltre nello studio dello stato solido. Questi corpi colloidali presentano il carattere singolare che le loro soluzioni non cristallizzano, ma invece prendono quello stato speciale gelatinoso, di cui la colla e la gelatina son gli esempi più comuni. Si

potrebbero dunque dividere i corpi in due sole classi, quelli cristallizzabili e quelli gelatinosi; le proprietà di questi ultimi sono un misto delle proprietà dei solidi e dei liquidi.

Le piccole particelle dei corpi gelatinosi possono invero scorrere e spostarsi le une sulle altre fino ad un certo grado, non opponendo maggiore resistenza di qualche soluzione densa e poltigliosa: ma cessata la pressione riprendono la posizione primitiva, rivelando una ben chiara elasticità: e tali corpi possono, per tal rispetto, esser considerati come solidi poco duri, ma elastici. Questo stato colloidale non è solo proprio delle sostanze organiche, amido, gomma, destrina, albumina, tannino, ecc., ma anche di composti inorganici, come acido silicico, albumina, ossido di ferro, solfuro di rame, argento, platino.

Che lo stato colloidale sia un passaggio dallo stato liquido al solido, si può escludere; e per spiegarlo bisogna considerare azioni e qualità molecolari tutte speciali a queste sostanze, e che ci interessano molto, in quanto ci permettono di gettare uno sguardo più profondo nella struttura della materia. Ricordando le nostre conoscenze sulle soluzioni diluite, sappiamo come la pressione osmotica ci fornisce una sicura notizia sulle dimensioni delle molecole. Ora, se prendiamo una soluzione di gomma all'1 per 100, essa è un liquido perfetto, una soluzione come le altre, che niente presenta di fenomeni colloidali. Ma però presenta la qualità singolare di avere una pressione osmotica piccolissima e con essa un signi-

ficante abbassamento del punto di congelazione. Se si confronta con una soluzione di zucchero, e si deduce dalle pressioni osmotiche corrispondenti il rapporto dei pesi molecolari, si trova per la soluzione colloidale un numero grandissimo, come se le molecole della gomma fossero enormemente grosse. La gomma viene ad avere un peso molecolare di 3500, l'albumine d'uovo 14000, l'amido 25000, l'acido silicico 49000. E si noti che questi numeri valgono per le loro soluzioni diluite e non già per il vero stato gelatinoso che a queste segue. Questi grossi numeri ci farebbero pensare che qui si tratti di una sorta di emulsioni, cioè di una sospensione di particelle entro un liquido. Ma ricordiamo che una molecola d'acqua pesa $8,2 \times 10^{-22}$ milligrammi, e che di molecole di acido silicico colloidale del peso molecolare = 49000 ce ne sarebbero più di 25000 bilioni in un milligrammo di sostanza! E non si tratta ancora di solidi cristallini: per cui si vede sempre più la tendenza della materia a formare sistemi molecolari complessi avvicinandosi allo stato solido.

Quando una soluzione colloidale si rapprende nella forma gelatinosa, le sue molecole probabilmente si raggruppano in una specie di tessuto, che, mentre è elastico, dà luogo ad azioni capillari, per cui il solvente è assorbito e trattenuto. La cristallizzazione del tessuto, se possiamo così chiamarlo, propria dell'amido, dell'albumine, ecc., la osserviamo anche nella natura inorganica; se possiamo considerare il fenomeno come dovuto ad un fine intrecciamento di cristalli quasi aghiformi, come

quelli del ghiaccio, avremo data una spiegazione meccanica di uno dei più importanti processi fisiologici.

Anche altre proprietà dei colloidi hanno una parte importante nei fenomeni della vita, poichè son essi che formano quelle membrane *semipermeabili* che lasciano passare i solventi liquidi e non le sostanze disciolte. E le pareti delle cellule viventi sono appunto tali che lasciano passare le sostanze necessarie all'accrescimento della cellula, mentre trattengono le sostanze colloidali che servono a ingrossare la membrana cellulare.

Fra le sostanze cristallizzate e i colloidi si possono collocare i corpi amorfi, nei quali non si osserva alcuna particolare struttura. È possibile che lo stato amorfo sia esso pure uno stato colloidale di grande durezza; le proprietà del vetro per esempio, lo rendono assai probabile. Infatti, nel vetro noi osserviamo una grande elasticità, talchè noi possiamo considerarlo come una gelatina di grande densità e durezza. E poichè il vetro ha inoltre le proprietà ottiche dei cristalli regolari, abbiamo una ragione di più per ritenere che lo stato colloidale sia esso pure uno stato cristallino. Infatti, costituente principale del vetro è la silice, la quale nell'acqua prende la forma gelatinosa.

I corpi solidi amorfi hanno proprietà diverse collegate alla loro durezza: alcuni sono duri e rigidi, fragili o tenaci, altri elastici, altri pieghevoli o duttili. Queste diverse qualità potrebbero spiegarsi ammettendo che questi corpi consistano in un miscuglio di sostanza in parte cristallizzata, in parte colloidale. La fragilità sarebbe se-

gno della struttura cristallizzata, e difatti i pezzi di questi corpi ne presentano qualche indizio; la pieghevolezza, come quella del piombo, farebbe pensare invece allo stato colloidale, ossia ad un tessuto cristallino in cui fosse racchiuso il piombo liquido. E si potrebbe intendere che il piombo rimanga liquido anche sotto il punto di fusione, per la grande pressione a cui è soggetto, dovuta alle azioni capillari del tessuto, sicchè ne viene abbassato il punto di fusione. In alcune sostanze lo stato colloidale può prevalere e dare così una grande elasticità nonostante la grande densità, come nell'acciaio. In ogni modo è assai difficile spiegare le svariate proprietà che il diverso trattamento e l'aggiunta di piccole quantità di altre sostanze conferiscono al medesimo corpo; come, per esempio, avviene del ferro, che si trasforma in ghisa e acciaio.

In alcuni corpi, come nelle rocce, si vedono chiaramente i piccoli cristalli disseminati in una pasta amorfa; il che fa pensare ad un processo di cristallizzazione interrotto e non compiuto: ma non si può escludere che la cristallizzazione si sia effettuata dentro la roccia stessa, ormai solidificata da milioni di anni, poichè lo stato dei materiali nell'interno della terra, sotto una pressione enorme, e ad elevatissima temperatura, deve essere quasi liquido, e quindi vi sono possibili fenomeni di cristallizzazione. Perciò anche queste rocce cristalline potranno, in origine, esse pure, formarsi per sedimenti marini, e divenire cristalline in seguito, dopo esser state sepolte negli strati profondi.

Vi sono, infatti, per i geologi, molte buone ragioni per considerare come sedimentarie anche queste rocce primitive, nelle quali si osservano talora tracce di stratificazione. Dall'altro lato si osservano talvolta rocce sedimentarie, così polverizzate dalle pressioni, da non poter vi più riconoscere alcun carattere di stratificazione.

Un posto speciale bisogna assegnare allo stato metallico, che ha caratteri così propri ed evidenti che ognuno è capace di distinguere, a prima vista, un metallo dagli altri corpi. Caratteristico è, sopra tutto, lo splendore metallico, che dipende dal grande potere assorbente e riflettente. I metalli sono tutti quasi assolutamente opachi, anche in spessore sottilissimo: tutt'al più lasciano passare in piccol grado qualche colore, complementare di quello che il metallo mostra per riflessione. Quest'assorbimento è strettamente connesso con certe proprietà elettriche, come vedremo in un prossimo capitolo.

Delle proprietà chimiche dei metalli ci siamo già occupati, in confronto con quelle degli elementi non metallici. Qui potremo aggiungere che gli uni non si uniscono con gli altri in semplici rapporti di miscugli o soluzioni, ma in vere combinazioni chimiche. I metalli, invece, si uniscono fra loro anche in soluzioni e sono le *leghe*, di cui già abbiamo parlato. Lo zinco si scioglie nel rame, come l'alcool nell'acqua: ma non si sciolgono il rame e lo zinco nell'acqua o nell'alcool: sono bensì solubili in questi liquidi i sali dei detti metalli.

Quando i metalli passano allo stato gassoso, perdono tutte le loro proprietà ottiche ed elettriche: perciò pos-

siamo dire che lo stato metallico dipende dai legami e dalla struttura molecolare che caratterizza lo stato solido e liquido; probabilmente lo stato metallico è un misto di struttura amorfa e cristallina.

Così noi abbiamo seguito la materia attraverso tutti i suoi stati di aggregazione, tenendo presente la composizione chimica dei corpi, cosa che non potevamo fare nella prima parte di quest'opera, quando la costituzione chimica non c'era ancor nota, e consideravamo solo le qualità fisiche della materia. E possiamo concludere, che molto probabilmente tutte le sostanze, variando sufficientemente la temperatura, possono prendere tutti gli stati di aggregazione; ma il grado di calore necessario per questi cambiamenti è molto diverso secondo la grandezza delle molecole e il loro aggruppamento. Il calore che in questi cambiamenti di stato fisico o chimico viene assorbito o svolto, corrisponde alle variazioni dell'energia molecolare e atomica. Di questa energia interna solo una parte è ordinariamente accessibile alla nostra osservazione e alle nostre misure, cioè quella che compare sotto forma di pressione, di temperatura e di lavoro esterno; il resto non può essere determinato che indirettamente, e i fenomeni chimici ce ne offrono il mezzo principale. Da tutte queste osservazioni ed esperienze, Berthelot ha dedotto queste leggi fondamentali della *Termochimica*:

- 1) Il calore svolto o assorbito in una reazione misura il lavoro chimico e fisico che l'accompagna.

- 2) Quando un sistema di corpi passa da uno stato

ad un altro, senza che in questa operazione venga eseguito un lavoro esterno, il calore svolto o assorbito dipende unicamente dallo stato iniziale e finale del sistema, ed è indipendente dagli stati intermedi e dalla via seguita nella trasformazione.

3) Ogni cambiamento chimico che si compie senza assorbimento di energia esterna porta alla formazione di quei corpi, per cui si rende libera la massima quantità di calore.

La prima e la seconda legge sono conseguenze immediate del principio della conservazione dell'energia. Se il calore svolto in una reazione chimica non fosse in rapporto costante col lavoro eseguito, esso, cioè dell'energia, avrebbe origine dal nulla. Se in una serie di trasformazioni in cui lo stato finale coincide con quello iniziale, le quantità di calore svolto o assorbito non si annullassero, si avrebbe una produzione o una perdita di calore, cioè, una produzione o una distruzione di energia. Questa legge era già stata enunciata da Hess nel 1840, quando non era stato ancora affermato il principio della conservazione dell'energia, sebbene, per così dire, esso già fosse in aria. Le due leggi riunite significano, in sostanza, che tanto i fenomeni fisici come quelli chimici son regolati dalle medesime leggi generali, ossia che gli uni e gli altri son fenomeni fisici.

La terza legge corrisponde al principio, per cui l'energia potenziale o di tensione tende sempre a diminuire in vantaggio del lavoro esterno. È il principio dell'*entropia* che tende ad aumentare in tutti i sistemi fisici. Come i

sistemi celesti tendono sempre più ad addensarsi e ingrossarsi, così la materia tende a stati di maggiore densità, perchè il calore tende a passare sempre dai corpi caldi ai corpi freddi, e quindi la temperatura generale ad abbassarsi. Il calore uscente può altrove agire in senso contrario, riscogliendo i composti più densi formatisi; ma solo in parte può agire in tal senso. Dacchè esiste la Terra, immense quantità di ossigeno si unirono con altri elementi chimici nelle ossidazioni con sviluppo di calore, ma relativamente è assai poca la quantità di questo gas vitale che è stato rimesso in libertà. La temperatura della Terra e del Sole deve continuamente abbassarsi, e perciò devono formarsi composti chimici sempre più densi con molecole sempre più complesse. I sistemi atomici invisibili seguono la stessa legge dei grandiosi sistemi celesti.

Quali conseguenze debbano trarsi dal progressivo rallentamento e infine dalla cessazione di ogni movimento vitale nell'Universo lo abbiamo già veduto (I. 7.). In fine di quest'opera ci ritorneremo.

7. – La luce e i fenomeni chimici.

a) Influenza della luce sullo stato chimico.

Abbiamo già detto, nei nostri capitoli sulla fisica, che luce e calore raggianti sono un fenomeno unico di mo-

vimento etereo, e perciò possiamo facilmente prevedere fra azioni chimiche e luce, relazioni dello stesso genere, come fra le stesse azioni chimiche e il calore, per quanto in grandezza diverse, a cagione della grande differenza fra le quantità d'energia attiva sotto la forma di luce e di calore. Le vibrazioni calorifiche, relativamente ampie e lente, agiranno sugli edifici molecolari più fortemente che le sottili vibrazioni luminose; ma, d'altra parte, queste, a cagione della loro finezza, penetreranno più facilmente delle prime nei delicati edifici di atomi.

Per studiare queste relazioni, divideremo i fenomeni in due gruppi principali; prima, dovremo considerare i cambiamenti che la materia, nei suoi varî stati, produce sopra la luce che la traversa, o che rimanda, o che direttamente genera; poi parleremo degli effetti che la luce, per reazione, produce nella costituzione della materia medesima.

Della prima specie di fenomeni, già più volte abbiamo detto. Tutte le proprietà ottiche rivelano l'influenza delle varie specie di sostanze nei fenomeni luminosi: per questo, lo spettroscopio e la spettroscopia son diventati mezzi squisitissimi di analisi chimica. Di tali fenomeni ci siamo già occupati, cercando di ricavarne le leggi generali ottiche.

Si tratta ora di vedere, se è possibile stabilire qualche relazione fra i caratteri spettroscopici dei corpi e la loro composizione. Invero, se le onde eteree luminose son prodotte dalle vibrazioni degli atomi e delle molecole, e se soffrono un cambiamento quando, traversando i cor-

pi, il movimento etereo è modificato da quello molecolare, deve la luce che proviene da un corpo o lo traversa, essere come un'immagine della sua struttura interna, e le indagini ottiche devono essere una delle migliori vie alla conoscenza intima della materia.

Disgraziatamente, pochi sono i risultati sicuri a cui è giunta la scienza, ancora giovane in questo interessante campo, in cui grande è la complessità dei fenomeni. Basti ricordare che molti elementi chimici presentano centinaia e anche migliaia di linee nel loro spettro. E se il numero e la posizione di queste linee spettrali è in relazione con la costituzione molecolare, deve subito apparire strano che la maggior parte degli elementi chimici, i quali allo stato gassoso hanno la loro molecola di due atomi, possano, coi movimenti vibratorii di un sistema così semplice, generare onde di tante diverse lunghezze, quali, per esempio, presenta il ferro che ne fa vedere parecchie migliaia.

Una considerazione restrittiva è quella già da noi fatta nel capitolo dell'Ottica, cioè che ogni vibrazione luminosa, di un dato periodo, può dar luogo a un gran numero di toni armonici superiori, le cui lunghezze d'onda sono nei noti rapporti semplici con la principale. In molti casi l'esperienza dimostra che questo è vero, ma anche nei casi dei più semplici spettri occorrono parecchie serie d'onde così ordinate, per poter render ragione dello spettro, quale si presenta. Solo l'Idrogeno, il più semplice degli elementi chimici, fa un'eccezione; in quanto le sue linee rientrano tutte in una sola serie, le cui lun-

ghezze d'onda abbiamo esaminate a pag. 243. L'idrogeno dà luogo solo a onde luminose, la cui lunghezza è data dalla formula di Balmer $\lambda = 364,72 \frac{m^2}{m^2 - 4}$ in milionesimi di millimetro, quando in luogo di m si pongano i numeri interi da 3 in su: e tale limitazione è necessaria perchè per $m = 1$ si avrebbe una lunghezza negativa e per $m = 2$ una lunghezza infinitamente grande. Per le altre sostanze fin qui studiate viene applicata la formula $\frac{1}{\lambda} = A - \frac{B}{m^2} - \frac{C}{m^2}$, in cui A, B, C , sono costanti particolari per ogni sostanza, da determinarsi con metodo che qui non possiamo esporre. Poichè m può prendere qualunque valore sopra 3, in ogni serie vi sono linee in numero arbitrario. E ad ogni sostanza competono due di tali serie, delle quali solo 2 fin qui sono state calcolate. Con l'aiuto di queste formule Kayser e Runge hanno studiato un certo numero di elementi delle prime tre colonne verticali del sistema periodico, trovando i seguenti valori numerici per le costanti.

	Peso atomico	Prima serie			Seconda serie			v	$\frac{v}{a^2}$
		A	B	C	A	B	C		
Li	7	28587	109625	1847	28667	122391	231700	—	—
Na	23	24475	110065	4148	24549	120726	197891	17	325
K	39	21991	114450	111146	22021	119363	62506	57	381
Rb	86	20939	121193	134616	—	—	—	234	322
Cs	133	19743	122869	305824	—	—	—	545	309
Cu	63	31592	131150	1085060	31592	124809	440582	249	622

Ag	108	30712	130621	1093823	30696	123788	394303	921	794
Mg	24	39796	130398	1432090	39837	125471	518781	41	713
Ca	40	33919	123547	961696	34041	120398	346067	102	638
Sr	88	31031	122328	837473	—	—	—	394	517
Zn	65	42945	131641	1236125	42955	126919	532850	386	918
Cd	112	40755	128635	1289619	40797	126146	555137	1159	929
Hg	200	40159	127484	1252695	40218	126361	613268	4633	1161
Al	27	48308	156662	2505331	48245	127527	687819	112	1534
In	114	44515	139308	1311032	44535	126766	643584	2213	1721
Tl	204	41542	132293	1265223	41506	122617	790683	7775	1879

Questi numeri, sostituiti nella formula precedente, danno, dividendo per 10^8 , le lunghezze d'onda in misura ordinaria. La serie principale, precedente a queste secondarie, che non è compresa nella tabella, contiene le linee principalissime e caratteristiche della sostanza; le cui lunghezze d'onda non sono da calcolarsi con la formula precedente, valida solo per le serie secondarie.

Tutte le linee, eccezione fatta per l'Idrogeno e il Litio, sembrano doppie, talora triple, e la distanza delle due linee accoppiate corrisponde alla stessa differenza di vibrazione per tutto lo spettro, così nella serie principale come nelle secondarie, e questa differenza è espressa dai valori di ν nella tabella. Si può dire che tutti i *toni* di un dato sistema molecolare sono in certo modo *battute doppie*, con piccole differenze di vibrazioni, ma sempre costanti per la medesima sostanza. Ed è notevole il fatto che questa costante caratteristica è diversa per ogni elemento, divisa per il quadrato del peso atomico, dà valori

molto prossimi per tutti gli elementi dello stesso gruppo. L'ultima colonna della tabella contiene appunto questi numeri. Vi ha indubbiamente una relazione fra il peso atomico e questa costante spettroscopica: la distanza fra le linee doppie è tanto più grande quanto maggiore è il peso atomico, e la costanza del rapporto $\frac{v}{a^2}$, fa vedere l'influenza del momento d'inerzia della massa atomica sulla velocità delle vibrazioni luminose.

Possiamo rendercene ragione e rappresentarci questa relazione, ricordando che le molecole degli elementi allo stato gassoso, son costituite per lo più di due atomi, dalle cui diverse vibrazioni è presumibile derivino le doppie linee. Questa coppia di atomi, a parità di condizioni, vibrerà con ampiezze tanto più grandi, quanto più grande ne sarà la massa. Anche qui risulta di nuovo una notevole dipendenza fra due qualità apparentemente indipendenti, la distanza fra le linee spettrali e il peso atomico. Siamo dunque in condizioni da potere, almeno teoricamente, mediante l'osservazione spettroscopica di un corpo, che ci manda la sua luce da ignota distanza, nello spazio stellare, assegnare il peso atomico dell'ignota sostanza.

Veramente a tal fine si richiederebbe di riconoscere, dal complesso dei caratteri spettrali, a qual gruppo di elementi appartiene la sostanza in esame. Ma anche questo è possibile, e noi non avremmo riportata la tabella precedente se essa non fosse utile anche a questo riguardo. Infatti, si può notare che per gli elementi analo-

ghi, che si succedono in ciascuna colonna verticale della tabella precedente, come in quella del sistema periodico, i coefficienti A, B e C sono fra loro in evidente rapporto. Per tutti i gruppi della tabella, il valore di A decresce col crescere del peso atomico; i coefficienti B son quasi eguali per tutti gli elementi, ma decrescono anch'essi in ciascun gruppo con la stessa regola, mentre non sembra che una simile regola vi sia per C. Con la formula sopra citata si può facilmente dimostrare, che i gruppi di linee corrispondono a tanto maggiori lunghezze d'onda e perciò tanto più si avvicinano al limite rosso dello spettro, quanto più elevato è, per elementi simili, il peso atomico. Avendo dunque, per lo spettro di una ignota sostanza, determinati i coefficienti, potremo classificarla in uno di quei gruppi, e determinare, col suo probabile peso atomico, anche le altre proprietà chimiche, in confronto con gli elementi affini del suo gruppo.

Da questo ordinamento delle serie di linee si possono anche ricavare certe deduzioni. I due elementi più leggeri (eccettuando l'Elum non ancora bene studiato) cioè l'Idrogeno e il Litio, non hanno linee doppie: o essi sono dunque in quello stato di alta luminosità a cui appartengono solo spettri di emissione, sostanzialmente monoatomici, o le linee doppie ci sono, ma tanto vicine che la loro separazione non è praticamente possibile; secondo la regola per cui le linee si avvicinano in ragione inversa del quadrato del peso atomico, ciò sarebbe molto probabile. Ma l'Idrogeno ha solo una serie principale di righe e non le secondarie; nel Litio ci sono già due se-

rie secondarie, ma che non stanno fra loro in nessuna manifesta relazione, e l'ultima probabilmente non si accorda neppure con le serie qui riportate. L'accordo fra le linee osservate e quelle calcolate non è sempre soddisfacente.

La presenza di queste serie multiple è veramente sorprendente. Se i sistemi molecolari consistono solo di due atomi, non si comprende come da essi, oltre le linee doppie, provengano anche diverse serie di varie lunghezze d'onda: soltanto qualche *armonica* della stessa serie troverebbe spiegazione. Noi possiamo perciò pensare che questi atomi siano più complessi che non si crede, e siano cioè combinazioni di altri elementi più semplici. In tutti i casi, si potrebbe far valere la spiegazione, che le sostanze, in quello stato di luminosità propria, in cui danno gli spettri di emissione, siano un complesso miscuglio di molecole da cui si generano onde di varia lunghezza. Se si considera, che secondo le molte esperienze fatte, in questo stato di luminosità, deve piuttosto aversi separazione che riunione di atomi, di fronte allo stato normale nel quale determiniamo i pesi atomici, la spiegazione precedente sembra anche più accettabile, specialmente se portandola un grado più in giù, consideriamo come molecole i gruppi fin qui considerati come atomi; molecole, le cui parti solo in queste estreme condizioni, e forse per un brevissimo tempo, si separano, per riunirsi tosto quando la temperatura discenda: poichè qui si tratta di serie secondarie, con linee per lo più molto deboli, ne seguirebbe, che solo un numero relati-

vamente piccolissimo di questi cosiddetti atomi elementari vengono attualmente separati (quelli che nell'incandescenza sono stati soggetti, eventualmente, a rapidissime e grandi vibrazioni); perciò, tali separazioni non sono possibili coi nostri mezzi ordinari di reazione chimica. Una prova di tale ipotesi si potrà avere, solo quando, per tutti gli elementi, saranno conosciute completamente le relative serie; poichè allora, quando un ignoto comune elemento fosse contenuto in essi, dovrebbero coincidere le serie di righe ad esso appartenenti.

Anche l'Idrogeno potrebbe essere un corpo composto. Ciò che abbiamo detto, cioè che l'Idrogeno presenta solo una serie di linee, vale solo per il cosiddetto spettro principale, che si ha quando il gas, a non troppo elevata pressione, è reso luminoso in un tubo di Geissler con scarica elettrica. Ma vi è anche un secondo spettro, quando il gas è portato ad alta pressione e temperatura, e che, al contrario del primo, così semplice, ha un gran numero di linee sottili, la cui posizione non è in alcun rapporto con quelle del primo spettro. Sembra che qui si abbiano liberi quegli atomi primitivi di cui abbiamo già parlato: in tali condizioni estreme lo spettro dell'Idrogeno diventa quasi continuo, gli atomi vibrano quasi senza regola in tutti i modi, con ogni periodo. Ma ritornano via via allo stato di atomi ordinari, con le note linee e lunghezze d'onda, appena le condizioni di temperatura e di pressione cambiando lo permettano.

Si può anche studiare lo spettro di un gas, nelle condizioni ordinarie di temperatura, senza, cioè, che esso

sia luminoso; basta a tal fine adoperare una sorgente luminosa a spettro continuo e interporre fra essa e lo spettroscopio il gas. Come già sappiamo, il gas assorbe quelle radiazioni, che in condizioni identiche emetterebbe, e presenta lo spettro di assorbimento solcato da linee nere. Quando lo spettro di assorbimento coincide con lo spettro di emissione, come d'ordinario si ammette, allora è certo che lo stato molecolare nei due casi è eguale, e cade ogni altro ragionamento. Ma disgraziatamente noi non possiamo osservare lo spettro di assorbimento di un gas con la stessa precisione e sicurezza come quello di emissione. Perchè tutte le sue fini righe, che distintamente spiccano luminose sul fondo oscuro, fossero egualmente visibili come righe nere sul fondo luminoso dello spettro continuo, dovrebbe essere enorme la quantità del gas traversato dalla luce, poichè la intensità dell'assorbimento dipende appunto da essa. Perciò, nello spettro di assorbimento compariscono solo le linee più brillanti, e rimane insoluta la questione, se quelle serie secondarie, che dovrebbero rivelarci le condizioni molecolari e atomiche, siano presenti anche nelle condizioni ordinarie. Bisogna anche dire che pochi sono gli elementi di cui si può studiare lo spettro di assorbimento, perchè pochi sono quelli che si possono avere allo stato di vapore; e se questo è possibile a temperature molto elevate, non si può più avere allora una sorgente a temperatura più elevata, per ottenere la cosiddetta inversione dello spettro.

Sul sole, tuttavia, le cose vanno diversamente. Fra le

linee scure dello spettro solare ve ne sono molte che appartengono a queste serie secondarie, e non vi è dubbio alcuno che gli spettri di assorbimento degli elementi presenti sul sole, coincidano, in sostanza, coi loro spettri di emissione, che noi sappiamo ottenere. Ma tutto questo non prova nulla, poichè quelle sostanze del sole si trovano, anche negli strati che assorbono la luce, in uno stato di temperatura anche più elevato di quello che servirebbe a noi in laboratorio per ottenere lo spettro di emissione. Si può dire dunque che quella ulteriore dissociazione atomica, che nelle sostanze portate da noi all'incandescenza supponiamo parziale e passeggera, è invece stabile nel sole, ossia che là si trovano allo stato gassoso, quelle ignote sostanze elementari, le cui combinazioni formano quelli che noi chiamiamo elementi, e che solo in parte e temporaneamente si dissociano anche fra le nostre mani, quando questi elementi sono portati alle estreme temperature di incandescenza.

Solamente così ci è possibile spiegare la molteplicità delle serie di righe spettroscopiche, in base agli altri fenomeni spettroscopici e in relazione alla struttura atomica della materia. Una conferma di tali ipotesi si avrà forse, quando si riuscirà ad ottenere e studiare gli spettri degli elementi alle più diverse temperature.

Dei composti chimici possiamo invece, assai più facilmente osservare gli spettri di assorbimento, facendo passare la luce attraverso soluzioni concentrate delle varie sostanze. Poichè nello stato liquido le molecole son riunite in sistemi relativamente grandi, si comprende

che lo spettro di queste sostanze sarà, in soluzione, sostanzialmente diverso da quelli delle sostanze elementari formanti il composto.

Le soluzioni mostrano uno spettro di bande con crescente e decrescente assorbimento. Queste bande sono costituite da molte righe sottili, le quali non possono essere osservate separate, perchè son troppo vicine fra loro. Queste bande ci annunziano già la serie che troveremo poi negli spettri dei vari elementi.

Lo studio degli spettri di bande presenta già alle misure esatte, difficoltà notevoli, perchè mancano termini di confronto e limitazioni esatte: tuttavia anche qui si sono scoperte certe leggi che si accordano con le altre nostre conoscenze spettroscopiche; per esempio, si dimostra, che le bande tanto più si addensano verso l'estremo rosso dello spettro, quanto maggior numero di eguali gruppi atomici concorrono a formare le molecole del composto; come si può osservare nelle serie di composti organici, quanto più pesante diventa la molecola, tanto più lunghe sono le onde luminose generate o assorbite. Si chiamano *batocromi* questi gruppi atomici, in opposizione ai gruppi *ipsocromi*, caratterizzati dallo spostamento delle bande verso il violetto, ma molto più rari.

I gruppi atomici da noi chiamati Idrossile, Metile, Carbossile, Fenile, e gli alogeni Cloro, Fluoro, Bromo, Iodio agiscono come batocromi; i gruppi *Nitrile* e *Amina*, come gli atomi di Idrogeno, agiscono invece quali ipsocromi. Nelle due direzioni, gli spostamenti procedo-

no in generale in ragione dell'aumento del peso molecolare: e così ancora si conferma la dipendenza fra la massa dei sistemi molecolari e l'ampiezza dei movimenti e del mezzo che li circonda, che in tal caso è l'etere luminoso.

Il colore di una sostanza, qualunque sia il suo stato di aggregazione, è sempre dovuto all'assorbimento della luce o per diffusione o per trasparenza, e quindi dipende dal suo spettro; e le stesse regole fin qui verificate per gli spettri devono valere anche per i colori naturali delle sostanze. Ogni sostanza colorata deve mostrare per diffusione i colori che son complementari di quelli che, per assorbimento, estinguerebbe nello spettro. Ecco alcuni colori complementari:

violetto – giallo verde
indaco – giallo
azzurro – arancio
verde mare – rosso
verde – porpora.

Poichè l'aggiunta di un gruppo *batocromo* fa spostare le bande di assorbimento verso il rosso, supponiamo di prendere una sostanza il cui spettro abbia solo una banda e che si trovi nell'ultra violetto. La sostanza apparirà dunque bianca perchè non estingue alcun colore visibile. Se ora accresciamo la molecola con un gruppo metilico, potrà la banda esser portata sul violetto; e poichè il colore di questo complementare è il verde-giallo, sarà tale il

colore che prenderà la sostanza. E continuando ad aggiungere gruppi metilici, la banda di assorbimento verrà nell'azzurro, e il colore della sostanza andrà sempre più avvicinandosi al rosso, e diventerà purpureo quando la banda di assorbimento sarà sul verde. E procedendo avanti, la sostanza diverrà violetta, azzurra, e finalmente verde, quando la banda sarà venuta sull'estremo rosso.

Tale progressivo cambiamento di colore è stato realmente osservato, appunto nel caso di composti che diventano sempre più complessi per l'aggiunta ripetuta di gruppi atomici; e ne deriva che le sostanze chimicamente più semplici, devono essere per lo più bianche o giallastre, quelle più complesse verdi. I colori di anilina, che appartengono tutti alla stessa serie di composti, debbono la loro colorazione a questo principio.

Si può quindi intendere la facilità con cui la natura vivente, con le stesse sostanze, produce i suoi meravigliosi colori. Il verde delle foglie indica che la sostanza colorante, qualunque essa sia, assorbe il rosso. Noi possiamo dunque supporre che in una certa parte del corpo della pianta cominci un processo di dissociazione, per cui una parte dei gruppi batocromi, contenuti in ogni sostanza organizzata, vien posta in libertà o consumata, e perciò quella parte della pianta, che noi diremo sangue delle foglie, prende un colore tra verde e azzurro. Nell'incipiente putrefazione delle sostanze organizzate, spesso si rendono liberi composti azotati *ipsocromi*; per questo le foglie verdi possono diventare gialle e anche rosse.

È interessante per noi, come conferma delle nostre ipotesi sulla natura composta dei cosiddetti elementi chimici, il fatto, che anche i quattro alogeni, rispetto al loro colore, si comportano come composti il cui peso molecolare vada crescendo per l'aggiunta di nuovi gruppi *batocromi*. Il più leggero di essi, il fluoro, è incolore; il Cloro è giallastro; il Bromo allo stato di vapore è rosso; e l'Iodio è violetto. Anche altri elementi affini presentano una tale progressiva colorazione in relazione alla variazione del peso atomico, mentre in generale, questo non si osserva negli elementi chimicamente dissimili. Anche nei colori esterni dei corpi, e nei loro cambiamenti con l'alterazione della materia, si ritrovano relazioni che accennano a leggi semplici meccaniche, delle quali però ignoriamo ancora la formula e l'espressione matematica.

Nel modo che certi gruppi atomici producono, come sappiamo, lo spostamento delle bande di assorbimento, così altri gruppi sembrano, in generale, determinare l'assorbimento, e render così possibile la gradazione dei colori. Witt ha chiamato *cromofori* tali gruppi, fra i quali in prima linea il gruppo N_2H_2 . Questi cromofori sarebbero dunque i veri gruppi assorbenti l'energia raggiante, e tanto più quanto più complessa e pesante è la molecola di cui fanno parte.

Anche i fenomeni di fluorescenza sembrano essere collegati a determinati gruppi atomici (secondo Liebermann e R. Meyer) i quali, per lo più, hanno struttura assai complessa, rappresentata da formule ad anello. In

questi sistemi molecolari, una parte dell'energia della luce assorbita viene trasformata non già in calore, come negli altri casi, ma in un'altra specie di vibrazioni luminose. Si hanno dunque gruppi *fluorofori*, accanto ai *chromofori*.

Ma niente di sicuro si conosce ancora sulle cause della fluorescenza e sulla relazione fra essa e la struttura atomica e molecolare dei corpi che presentano questo fenomeno.

La luce non assorbita da un corpo non passa, in generale, tutta quanta libera per trasparenza; essa viene rifratta, talora doppiamente, polarizzata o girata. Di questi particolari fenomeni ottici ci siamo già occupati, perciò non occorre qui che esaminare brevemente le loro relazioni con la struttura molecolare, per completare le nostre teorie e le conoscenze acquistate.

Noi abbiamo già imparato a conoscere la così detta rifrazione molecolare, che all'opposto della rifrazione ordinaria si presenta come indipendente dalla temperatura e dallo stato di aggregazione dei corpi: essa dunque non può dipendere che dalla costituzione molecolare. Infatti, conoscendo la rifrazione atomica di un corpo semplice, si può determinare la rifrazione molecolare dei suoi composti, con una semplice addizione, tenendo conto della specie dei legami, che qui ha la sua influenza. Eccone un esempio: la rifrazione atomica del carbonio (per la linea rossa H) è 2,365, quella dell'Idrogeno 1,103: avendo poi trovato che per ogni atomo di carbonio saturato con idrogeno e doppiamente collegato come nelle

combinazioni ad anello, la rifrazione cresce di 1,836, avremo per la benzina C_6H_6 il seguente coefficiente di rifrazione molecolare

per 6 atomi di G	$2,365 \times 6 = 14,190$
per 6 atomi di H	$1,103 \times 6 = 6,618$
per 3 doppi legami	$1,836 \times 3 = 5,508$
	$26,316$

L'osservazione ci dà il numero 25,93 in ottimo accordo col valore teorico. Così, anche per i più complessi composti organici, si può determinare, con buona esattezza, il relativo coefficiente.

D'altra parte, risultano indubbiamente relazioni fra la rifrazione molecolare e il volume molecolare, del quale già ci siamo interessati a proposito del punto di fusione dei corpi semplici.

La deviazione della luce nei corpi, qualunque ne sia lo stato fisico, apparisce esser dipendente dallo spazio occupato dalle molecole, tenendo conto anche della specie dei legami atomici, i quali, anche con lo stesso numero e qualità di atomi, possono condurre a diverso volume molecolare. Per le nostre vedute teoriche, sopra la relativa influenza fra movimenti eterei e molecolari, è molto importante apprendere che tale influenza non dipende dal peso atomico ma solo dal volume degli atomi e delle molecole: gli atomi eterei trovano negli atomi materiali solo un impedimento al loro movimento e ne rimbalzano, ma nessuna forza sembra agire che sia para-

gonabile alla gravitazione, e dipendente perciò dalla massa degli atomi. Per cui la rifrazione dipende dalla densità dei corpi (e perciò anche dalla temperatura e dallo stato di aggregazione) ossia dalle distanze fra le molecole, e dal volume di queste. Noi possiamo esprimere questa legge dicendo, che *la rifrazione è in ragione del rapporto del volume proprio delle molecole allo spazio che fra esse resta libero.*

Le leggi della rifrazione molecolare sono in significativa opposizione con quelle dell'assorbimento, le quali hanno relazione manifesta col peso molecolare. La luce assorbita si trasforma in calore, cioè in movimento degli atomi materiali. Ogni sostanza trasparente dà luogo alla semplice rifrazione: ma alcune, che apparentemente non differiscono dalle altre, dan luogo ai fenomeni particolari della doppia rifrazione, della rotazione del piano di polarizzazione, ecc. Anche qui vediamo la struttura molecolare essere in relazione non dubbia con questi fenomeni ottici. La rotazione del piano di polarizzazione avviene in due diverse maniere, secondochè si tratta di liquidi, gas, o cristalli; e la presentano specialmente i composti di carbonio e azoto allo stato liquido, che hanno il cosiddetto atomo di carbonio asimmetrico.

Quando in tali composti, la rotazione non si osserva, ciò vuol dire, o che essa è per grandezza sotto i limiti della nostra osservazione, oppure, come già notammo per l'acido tartarico, che nella sostanza si trovano diversi gruppi atomici con rotazioni opposte, che si neutralizzano, ma che possono anche essere separati. Questa ro-

tazione ottica, che dipende dall'atomo disimmetrico di carbonio, ha dunque la sua spiegazione nella disposizione degli atomi.

Altro avviene nei cristalli, nei quali le proprietà ottiche non dipendono più dalla costituzione delle singole molecole, ma dal loro aggruppamento nelle varie forme cristalline. Così sempre, arrivando allo stato solido, troviamo la struttura più grossolana della materia.

I cristalli sono stati divisi e classificati secondo le loro proprietà ottiche, coi seguenti criteri. Le stratificazioni molecolari, formanti i cristalli, portano una diversa trasmissibilità o velocità della luce nelle diverse direzioni, e queste direzioni principali coincidono con gli assi del cristallo. Se nell'intersezione di questi assi, ossia nel centro del cristallo, supponiamo di portare una sorgente luminosa, l'onda luminosa, che nel caso di un mezzo omogeneo o isotropo, deve essere una superficie sferica, non potrà in generale esser tale in un cristallo; e, secondo le forme che essa può prendere, sono stati classificati i cristalli.

Nei cristalli del sistema regolare, i cui tre assi sono fra loro rettangolari, che hanno eguali proprietà in tutte le tre direzioni, le onde luminose sono ancora sferiche come in un mezzo isotropo o amorfo. Tali cristalli non hanno dunque speciali proprietà ottiche, rifrangono la luce semplicemente e non la fanno rotare. Fanno però eccezione certe forme cristalline, derivate dall'unione di due cristalli regolari, ma di assi diversi in grandezza, come il pentagonododecaedro, che dà luogo a due

onde sferiche concentriche che possono determinare la rotazione del piano di polarizzazione.

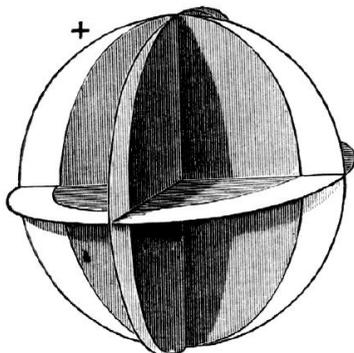


Fig. 433. L'onda luminosa nei cristalli uniassici.

In questa direzione la sezione dell'onda luminosa è pure un cerchio come nei cristalli regolari, ma nelle altre è una ellisse (fig. 433).

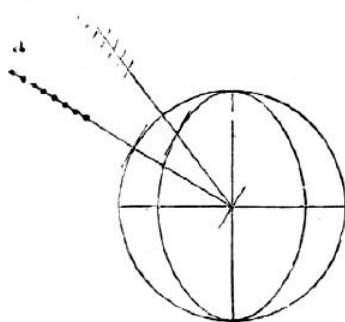


Fig. 434. - Cristalli positivi. a) raggio ordinario; b) raggio straordinario.

Tutti gli altri cristalli sono *anisotropi*, cioè hanno proprietà ottiche diverse nelle varie direzioni. Nel sistema *esagonale* e *tetragonale*, vi è tuttavia una direzione per la quale i rapporti di simmetria sono i medesimi come nel sistema regolare, perciò questo sistema si chiama otticamente *uniassico*.

In questa direzione la sezione

dell'onda luminosa è pure un cerchio come nei cristalli regolari, ma nelle altre è una ellisse (fig. 433). In queste direzioni, un raggio proveniente dal centro del cristallo deve dividersi in due (fig. 434): l'uno, il raggio ordinario, segue le leggi della rifrazione ordinaria; ma l'altro è polarizzato¹⁴. Come già abbiamo imparato (pag. 285), tutti i cristalli *uniassici* danno sempre luogo alla doppia rifrazione e alla polarizzazione,

ma si possono distinguere diversi casi. Il cerchio del-

¹⁴ Ambedue i raggi sono polarizzati. (N. d. T.).

l'onda può contenere l'ellisse toccandola nei poli e il cristallo si dice *positivo*: se invece è l'ellisse che contiene la circonferenza, il cristallo è *negativo* (fig. 434 e 435): diversa è nei due casi la posizione dei due raggi. Finalmente possono cerchio ed ellissi tagliarsi, come nei cristalli sovrapposti, e allora oltre la doppia rifrazione si ha anche la rotazione del piano di polarizzazione del raggio straordinario.

Negli altri tre sistemi cristallini rombico, monoclinico e triclinico, che differiscono dai sistemi precedenti per tre diversi assi (nei due ultimi anche fra loro inclinati), l'onda luminosa ha forma anche più complessa, derivante da

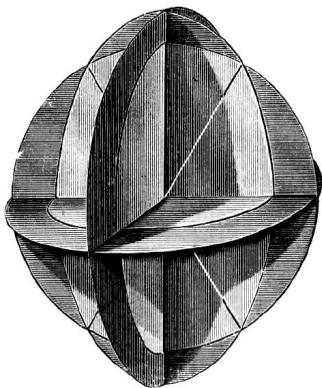


Fig. 436. – Superficie dell'onda luminosa nei cristalli a più assi.

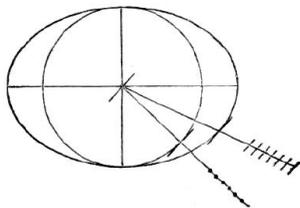


Fig. 435.

Doppia rifrazione in cristallo negativo.

ellissoidi sovrapposti (fig. 436). Nessun raggio traverso tali cristalli segue le leggi della rifrazione ordinaria: tutti i raggi sono straordinari: e tali cristalli producono in ogni direzione la doppia rifrazione, la polarizzazione e, per lo più, anche la rotazione. In conseguenza dell'incontro delle varie superficie d'onda, non coincidono più gli assi ottici con quelli geometrici.

Raccogliendo questi risultati, noi vediamo che i corpi

delle più semplici forme cristalline, i quali, secondo che abbiamo visto, hanno anche chimicamente la costituzione più semplice, hanno pure le più semplici proprietà ottiche, poichè anche qui tutto dipende dalla costituzione molecolare.

A pag. 305, abbiamo veduto che il magnetismo produce la rotazione ottica in sostanze che in condizioni ordinarie non hanno questo potere. Poichè noi dobbiamo ammettere che questa azione magnetica fa cambiare solo la posizione delle molecole fra loro e non quella degli atomi nelle molecole, non producendosi per il magnetismo nessun fenomeno chimico, così dobbiamo anche concluderne, che in certe classi di cristalli, anche in condizioni ordinarie, il potere rotatorio non è da attribuirsi alla interna struttura delle molecole, ma alla loro disposizione, come già abbiamo detto, parlando dei liquidi, i quali han pure tale potere.

b) Azione della luce sui fenomeni chimici (Fotochimica).

Tutti i corpi assorbono la luce, e perciò l'energia di queste onde luminose assorbite deve compiere un lavoro, accrescendo il movimento atomico e molecolare di questi corpi; si può, dunque, prevedere quello che già sappiamo, cioè, che l'assorbimento dell'energia raggian- te produce un accrescimento di temperatura; ma si comprende anche la possibilità che possano prodursi pure dei cambiamenti chimici, se gli atomi, per il nuovo o accresciuto loro movimento formeranno nuovi gruppi. E

che sia così tutti sanno, dacchè la fotografia è divenuta un diporto, e ha insegnato che la luce può produrre cambiamenti chimici nelle sostanze che colpisce.

Se pensiamo che tutti i corpi da noi conosciuti sopra la terra, anche se presi dalle sue viscere, già sono stati colpiti dalla luce del sole, comprendiamo bene che tutte le possibili azioni fotochimiche sono già compiute e neutralizzate. Sostanze sensibili alla luce non potranno essere che nelle profondità della terra, ma saranno già trasformate prima che arriviamo a scoprirle. Solo pochi composti sensibili alla luce, ma solo in grado moderato, sono a noi accessibili; così vediamo certe sostanze coloranti alterarsi a poco a poco e cambiar colore.

La possibilità dell'esistenza di sostanze sensibili alla luce nel suolo profondo non è dunque da escludere; ma limitandosi alla superficie terrestre e ai corpi inorganici, è molto improbabile che, per esempio, durante la notte, si formino di tali composti, perchè le variazioni di temperatura e pressione sulla terra non sono tali da favorire le reazioni chimiche in grado tale che ne risultino nuovi corpi. Ma altrimenti avviene nel mondo organico, poichè in ogni cellula vivente è un complesso lavoro chimico, per cui si formano e si disfanno continuamente svariate sostanze: qui è possibile, che nella notte si formino corpi che il giorno distrugge, e che perciò sfuggono alla nostra osservazione. Uno tuttavia ne conosciamo abbastanza bene; ed è quello che decomponendosi sotto l'azione della luce produce la *clorofilla*, ossia la materia verde delle piante; la quale poi per l'azione della luce

decompone l'anidride carbonica dell'atmosfera, rimettendo in libertà l'ossigeno, e mantenendo così il ciclo continuato della vita vegetale e animale, che tutta dipende dall'energia del sole, ossia dalla *costante solare*.

In un pianeta che non rotasse intorno al proprio asse, questo ciclo, nella forma terrestre sarebbe impossibile, anche se le altre condizioni astronomiche fossero paragonabili alle nostre. Se il pianeta Venere, come pare confermato dalle osservazioni dell'astronomo Schiaparelli, volge sempre al Sole la stessa parte, si può affermare che questo bel pianeta deve essere per la maggior parte morto e deserto. Nè si può obiettare che nelle regioni polari terrestri, durante il lungo giorno che dura più mesi si ha una rigogliosa vegetazione; perchè in Venere mancherebbe assolutamente, con la irradiazione e la notte continua, anche questa benefica per quanto lenta alternativa.

La composizione della *clorofilla*, agente dei fenomeni fotochimici vegetali, ci è ancora poco conosciuta; certamente la clorofilla ha una composizione molto complessa, e contiene insieme coi soliti elementi organici anche elementi minerali, specialmente ferro. Non si è ancora riusciti a isolare la clorofilla dalle altre sostanze vegetali con cui è unita, perchè è materia così instabile, che riesce difficile a trattare senza che, per così dire, sparisca fra le mani del chimico. Ma, come si è detto, la clorofilla non è la sostanza sensibile alla luce, bensì il prodotto dell'azione della luce sopra un'altra sostanza, la *Etiolina* giallastra, che si trova nelle piante cresciute al buio, e

che alla luce diventa verde trasformandosi nella clorofilla.

Ma la clorofilla è in un certo modo sensibile alla luce, in quanto la luce esercita sopra di essa un'azione direttrice. Sotto una irradiazione moderata, i grani di clorofilla si formano da quella parte della parete cellulare che è più illuminata, e offrono alla luce la massima superficie; e così formano, per esempio, alla superficie delle foglie, uno strato verde che filtra i raggi e solo ad alcuni di essi permette la penetrazione nel tessuto più profondo. Invece, quando la luce è intensa, questi grani la sfuggono, disponendosi parallelamente ai raggi luminosi dalla parte della parete cellulare ove la luce è meno forte: così la luce intensa disfà quella clorofilla che la luce debole ha formato. Questo alternato processo chimico da cui dipende l'accrescimento delle piante, ci è ancora poco bene noto ed è possibile che la clorofilla non vi abbia che una parte secondaria. Certo è, che i granuli d'amido, elemento sostanziale dell'accrescimento, non si formano che in vicinanza della clorofilla.

Le piante cresciute all'oscuro e quindi non verdi, neppure si appropriano elementi minerali; esse si possono gonfiar d'acqua, ma non fioriscono, nè portano frutti, nè quindi forniscono materiali per gli altri esseri viventi. Secondo Pringsheim, la clorofilla sarebbe solo una protezione, uno schermo colorato, per filtrare la luce, lasciando penetrare nel tessuto cellulare solo quella che è atta al processo chimico di decomposizione dell'anidride carbonica. Quando sotto forte luminosità la clorofilla

sempre più sparisce, cessa il processo, e la pianta non più emette ossigeno, ma lo assorbe, proprio come gli animali, emettendo invece prodotti di ossidazione.

La formazione della clorofilla è subordinata a certe condizioni di temperatura fino a che questa temperatura non è raggiunta in primavera, il fogliame è giallognolo, e in autunno ai primi freddi le foglie prendono quell'artistico colore rosso, che in certe piante è dovuto ad una particolare sostanza colorante, la cui formazione può avvenire anche se la clorofilla non è decomposta; e così vi son piante, come il faggio rosso, che tutta l'estate portano il loro bel colore. Nelle piante sempre verdi, come le conifere, la clorofilla è trasformata in maniera da conservarsi anche in inverno, ma l'accrescimento e la respirazione sono sospesi, fino a che la temperatura non risale al grado necessario. Anche queste piante sempre verdi hanno il loro sonno invernale, come le altre; solamente è più breve, perchè la clorofilla rimane, ed è pronta a riprendere la sua attività, appena la temperatura lo concede.

Quasi interamente ignote ci sono la natura e le funzioni della *sostanza purpurea* che si trova nell'occhio umano, della quale abbiamo parlato nell'Introduzione.

Caratteristica è l'azione fotochimica che presenta quella varietà di albumina detta *gelatina*; ed è probabile che abbia parte nell'accrescimento delle piante. La gelatina in condizioni ordinarie non si scioglie nell'acqua fredda, ma solo a 30° o 40°; quando però sia aggiunto del bicromato di potassio, e sia stata esposta alla luce,

perde questa proprietà, e diventa insolubile anche nell'acqua calda. Si utilizza questo fenomeno per ottenere stampe in colori, da negative fotografiche, mischiando alla gelatina solubile un colore, e stendendone uno strato sopra un foglio. Immergendo questo in una soluzione di bicromato potassico viene reso sensibile alla luce, alla quale poi si espone sotto la negativa fotografica. Dopo l'esposizione, si sciolgono nell'acqua solo le parti rimaste protette dalla luce, mentre quelle corrispondenti alle parti chiare della negativa conservano il loro colore e formano così l'immagine positiva. La parte che ha in questo processo il bicromato potassico ci è così poco nota come quella della clorofilla nelle piante; certo è che il bicromato non si unisce chimicamente, ma solo meccanicamente con la gelatina.

Anche semplicissimi composti inorganici, hanno la qualità di essere sensibili alla luce, e tutti conoscono la sensibilità dei sali d'argento (bromuro, cloruro, ioduro) adoperati nella fotografia. Ma non è l'argento la sostanza sensibile come credono molti profani, bensì il cloro, che dalla luce viene più o meno separato e messo in libertà da tutti i suoi composti. Abbiamo già veduto che il cloro e l'idrogeno si combinano con esplosione sotto l'azione della luce, formando acido cloridrico; abbiamo qui dunque una sintesi per opera della luce, in luogo di una decomposizione, come nel processo vegetale per cui si libera l'ossigeno. Ma anche la sintesi può produrre, come fenomeno secondario, una decomposizione; così la soluzione di cloro nell'acqua, esposta alla luce, dà

luogo ad una lenta produzione di ossigeno, perchè il cloro si unisce con l'idrogeno formando acido cloridrico. L'analogia fra questo processo organico e quello vegetale, ambedue determinati dalla luce, è evidente; e anche nel fenomeno inorganico l'acqua ha una parte ancora assai oscura. Effettivamente, se i gas cloro e idrogeno sono secchi perfettamente, l'esplosione non avviene o molto difficilmente; occorre la presenza del vapor d'acqua, e la intensità dell'esplosione dipende dalla proporzione del vapore. È probabile che l'acqua, come nella soluzione di cloro, determini l'inizio dell'azione chimica e che venga in parte decomposta.

Da analoga azione dipende il potere decolorante del cloro sopra molte sostanze organiche; sono sempre sostanze che contengono acqua, la quale viene decomposta dal cloro, e così ne sono decomposte o alterate le sostanze coloranti.

Semplicissima è la reazione chimica nella formazione delle positive in fotografia. La carta da positive è coperta di cloruro d'argento, il quale, dove è colpito dalla luce, si decompone, e, liberandosi il cloro, rimane l'argento, allo stato di estrema suddivisione, e di aspetto scuro.

Per *fissare* l'immagine, basta lavarla in soluzione di iposolfito di sodio, il quale scioglie il cloruro d'argento rimasto inalterato, perchè con esso forma un doppio sale solubile; l'immagine è così *fissata*, e cioè resa non più alterabile per l'azione della luce. Più complesso, e in certe parti ancora oscuro, è il processo chimico della forma-

zione delle negative, in cui la sostanza sensibile è il *bromuro di argento*. Dopo l'esposizione alla luce, come si sa, sulla lastra non si vede nulla, e il più rigoroso esame non fa scorgere alcun cambiamento nelle proprietà fisiche o chimiche del sale d'argento. Occorre *sviluppare* la lastra, ossia immergerla in un liquido, che può essere di natura molto diversa, ma che ha sempre la stessa proprietà di determinare la decomposizione del sale d'argento, probabilmente nel solito modo, cioè per opera dell'idrogeno che si unisce al bromo, mentre rimane libero dell'ossigeno. Ma questa riduzione non avviene egualmente in tutta la lastra, bensì comincia in quelle parti che furono colpite dalla luce, e che perciò dovettero essere, benchè invisibilmente, modificate. Ma come?

Ultimamente sono state fatte alcune ricerche che portano una nuova luce sopra il processo fotografico negativo. Esponendo alla luce nella macchina fotografica, come d'ordinario, una lastra al bromuro, non troppo sensibile però, e portandola nel bagno fissatore senza svilupparla, si dovrebbe credere che tutto il sale d'argento venga portato via e che la lastra diventi assolutamente inattiva, non contenendo più che la gelatina. Invece, se questa lastra ridotta trasparente è, in piena luce, bagnata con un liquido sviluppatore, mescolato con nitrato d'argento (il così detto *rinforzatore*) l'immagine comparisce nitidamente e si ha il vantaggio di poter operare alla luce. Questo strano fenomeno si potrebbe spiegare ammettendo che la luce ha realmente decomposto minime tracce di sale d'argento, e che perciò

dopo il fissaggio, piccoli cristallini invisibili d'argento rimangono nella gelatina, e servono di nucleo al depositarsi dell'argento che si separa dal nitrato: così vien fuori l'immagine negativa, senza ormai più azione diretta della luce.

Se questa spiegazione è la vera – ed è difficile trovarne un'altra – si può con essa intendere anche lo sviluppo ordinario delle negative. Infatti l'azione dello sviluppatore consiste nel provocare la riduzione del sale d'argento in tutta la lastra, e così infatti avviene se essa rimane lungamente nel bagno: ma sulle parti state illuminate comincia prima, come se il sale ivi fosse diventato più instabile o vi si trovassero già invisibili atomi di argento, che servono da centri di attrazione per iniziare la riduzione della sostanza circostante. Secondo recentissime ricerche di Eder, è un sottossido o un ipobromuro la sostanza che si formerebbe inizialmente, e servirebbe di intermediario per la ulteriore separazione dell'argento.

La sensibilità dei sali d'argento è stata anche utilizzata per costruire un *Attinometro*, cioè un misuratore dell'azione fotochimica in genere; in sostanza, non è che un *fotometro* fotografico in cui si misura l'intensità della radiazione, dall'annerimento prodotto sulla carta fotografica, interponendo strati di sostanze assorbenti, come sottili fogli di carta.

Come abbiamo già detto, l'azione della luce si esercita su molti altri composti, ma meno sensibilmente: anche l'alterarsi o scolorirsi delle stoffe alla luce del sole è un fenomeno fotochimico. Di recente, il Goldstein ha

fatto l'interessante scoperta, che la luce ultra violetta, come altre nuove radiazioni, conferiscono a molte sostanze una certa colorazione che poi sparisce alla luce ordinaria; ossia i composti che forma la luce più rifrangibile dalle cortissime onde, le onde più lunghe disfan-
no.

Si sa, pure, che certe sostanze sono sensibili ad una specie di luce e non ad un'altra, e i fotografi san bene che la luce rossa non ha azione sopra i sali d'argento. Eder ha dalle diverse esperienze dedotto le seguenti leggi:

1.) *La luce di ogni lunghezza d'onda, dall'infra-rosso all'ultra violetto, è capace di azione fotochimica.*

2.) *Sono attivi solamente quei raggi che sono assorbiti dalla sostanza.* Cosicchè l'azione fotochimica è strettamente connessa con l'assorbimento; ma, inversamente, non si può dire che l'assorbimento porti come conseguenza necessaria l'azione chimica.

3.) *Secondo la natura delle sostanze, la luce ha su di esse un'azione o riducente o ossidante; la luce rossa agisce per lo più come ossidante sui composti metallici, la violetta come riducente.* Il caso contrario, che la luce rossa agisca come ossidante sui composti metallici, può tuttavia avvenire, specialmente per l'azione latente della luce sopra i sali d'argento; un'azione ossidante della luce violetta non è stata ancora osservata con sicurezza.

Sulle combinazioni dei metalloidi, le luci più attive sono sempre la azzurra e la violetta; per esempio, sull'acido cloridrico, nitrico, solforico, iodidrico, ecc., sebbe-

ne la soluzione di acido solfidrico venga alterata più rapidamente dalla luce rossa. Sulle sostanze organiche, specialmente incolore, esercita un'azione ossidante principalmente la luce violetta: le sostanze colorate vengono alterate per ossidazione, principalmente da quei raggi che assorbono.

4.) *Non è solo efficace l'assorbimento diretto della sostanza pura, ma spesso anche quello di altre sostanze che vengono ad essa mischiate.* Su questo principio è fondato il processo della *sensibilizzazione ottica*.

5.) *Una sostanza mischiata ad altra sensibile, la quale fissi uno degli elementi che resultano dall'azione fotochimica (ossigeno, bromo, iodio, ecc.) affretta l'azione stessa, perchè rende impossibile la ricomposizione.* Su questo fenomeno di sensibilizzazione chimica son fondati i processi di formazione delle emulsioni sensibili per i varî colori.

8. – L'Elettricità e i fenomeni chimici.

I fenomeni elettrochimici, nei quali appariscono azioni scambievoli e relazioni fra lo stato chimico e la corrente elettrica, sono fra i più importanti per la conoscenza della costituzione molecolare dei corpi. Nel contatto di due corpi eterogenei, si producono quasi sempre azioni chimiche, accompagnate talora anche da luce e calore, ma non propriamente fenomeni elettrici osservabili. Questi compariscono quando fra i due corpi si interpone

un conduttore liquido, formando così una coppia voltaica, come quella costituita da zinco e rame, immersi nell'acido solforico diluito, e congiunti esteriormente con un filo di rame. Finchè i due metalli son separati, non si osserva in essi alcun fenomeno elettrico; si ha soltanto la reazione dello zinco con l'acido solforico. Se i due metalli sono in recipienti separati, non succede nulla, anche se vengono congiunti; ma se, essendo immersi nello stesso vaso, vengono congiunti esteriormente con un filo conduttore, comincia la corrente elettrica a percorrere il circuito così formato, e anche i fenomeni chimici presentano cambiamenti notevoli. La reazione dello zinco diventa più energica, e, cosa più singolare, l'idrogeno, invece di partirsi dalla superficie dello zinco, cioè dal luogo dove avviene la reazione, si parte invece dal rame. Anzi, se lo zinco è purissimo la reazione non avviene affatto per il semplice contatto del metallo con l'acido, cioè a circuito aperto; comincia solo quando il circuito vien chiuso, congiungendo lo zinco col rame, e l'idrogeno si distacca soltanto dal rame.

Si può in tal caso affermare, che il fenomeno chimico è subordinato a quello elettrico, e che si tratta della elettrolisi dell'acido solforico; per cui l'idrogeno, seguendo la direzione della corrente, si porta al catodo, e il radicale dell'acido SO_4 si porta all'anodo, formando con lo zinco il solfato.

Il semplice contatto dei due metalli, lo sappiamo già, produce in essi una piccola e costante differenza di tensione o potenziale elettrico, ma nessun fenomeno chimi-

co; d'altra parte, sappiamo bene, che i fenomeni chimici possono prodursi senza essere accompagnati da alcun fenomeno elettrico.

Immergendo nella soluzione acida lo zinco, al contatto del metallo col liquido si produce una separazione di elettricità, per cui lo zinco prende una carica negativa e il liquido una carica positiva (fig. 437): in altre parole, si determina fra i due corpi una differenza di potenziale. Se, invece, nello stesso vaso immergiamo il rame, succede che il rame diventa elettricamente positivo e il liquido negativo; in sostanza si può dire che il potenziale elettrico cresce passando dal liquido al rame; decresce, invece, passando allo zinco. Quando i due metalli siano immersi nello stesso liquido in un unico vaso, il potenziale del liquido che è conduttore, non potrà avere che un valore unico (per esempio, quello di 0), e quindi, il potenziale nei due metalli avrà un valore diverso e sarà

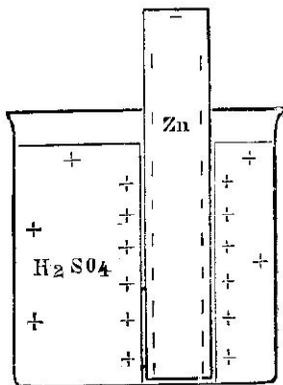


Fig. 437. — Separazione dell'elettricità in un elettrolito.

maggiore sul rame che sullo zinco; perciò, unendo metallicamente i due metalli, si avrà un movimento di elet-

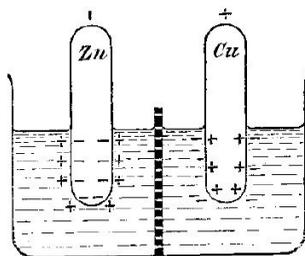


Fig. 438. — Differenza di potenziale fra due metalli immersi.

tricità, cioè una corrente dal rame allo zinco, diretta in modo da eguagliare i potenziali. Ma le cause della differenza di potenziale rimangono attive, e cominciano anche i fenomeni chimici dell'elettrolisi appena chiuso il circuito, e perciò la corrente continua, a spese dell'energia chimica che si svolge. Noi possiamo dunque concludere, che dal contatto di sostanze eterogenee si hanno differenze di potenziale, cioè elettricità statica o di tensione, ma non si può avere un movimento continuato di elettricità, cioè una corrente elettrica; questa è dipendente dal fenomeno elettrolitico e in questo ha la sua causa.

Per studiar bene questo fenomeno facciamo gli elettrodi di platino, il quale chimicamente non è alterato dall'acido, e, per mezzo di essi, facciamo passare nel liquido una corrente tale da produrre una energica azione; allora possiamo facilmente persuaderci che, per una data direzione di corrente il fenomeno è identico a quello che avviene in una pila. Se adoperiamo per elettrolito l'acqua assolutamente pura, pochissima è la corrente che passa, perchè l'acqua purissima è quasi isolante. Ma aggiungendo all'acqua un po' di acido cloridrico, si ha passaggio di corrente, e, in pari tempo comincia sviluppo di gas ai due elettrodi: all'anodo, dove arriva la carica positiva, il cloro; al catodo, l'idrogeno. L'acido cloridrico HCl deve essere in soluzione nell'acqua, e se fosse gassoso fra i due elettrodi non si avrebbe alcun effetto; tuttavia si può dire che l'acqua non esercita direttamente azione alcuna.

I due gas occupano eguali volumi, e ciò significa che

un egual numero di molecole di HCl sono state decomposte ai due elettrodi. E ciò è ben meraviglioso, perchè se l'elettricità avesse la forza di dividere le molecole, quando l'una specie di elettricità attirasse l'uno degli atomi, dovrebbe l'altro rimanere libero, poichè nel caso presente non si combina con altra sostanza: dovrebbe dunque aversi ai due elettrodi, o anche ad uno solo di essi, sviluppo dei due gas mescolati. Inoltre, non si dovrebbe avere trasporto di elettricità perchè la carica elettrica dovrebbe venir consumata in questa separazione, presso gli elettrodi medesimi. I gas svolgentisi non sono elettrizzati.

Cominciamo col prendere come guida l'ipotesi di Faraday, delle due specie di fluidi elettrici uniti fra loro e neutralizzati nello stato naturale: allora possiamo dire, che nel fenomeno in questione, all'atomo di cloro è unita permanentemente una carica negativa, all'atomo di idrogeno una carica positiva, e che i due atomi sono ordinariamente congiunti formando una molecola neutra. Per l'azione attrattiva dell'elettricità positiva all'anodo, l'atomo negativo di cloro viene separato dalla molecola, e portato a contatto con l'anodo, cede a questo la sua carica, che viene neutralizzata dalla carica contraria, svolgendosi il gas allo stato neutro. Gli atomi di idrogeno positivi sono invece tirati verso il catodo; ma siccome non si osserva trasporto di materia gassosa, bisogna ammettere che questi atomi liberi si uniscono a molecole non ancora divise, e con esse compiono tutto il tragitto dall'anodo al catodo. Vi devono dunque essere nell'elet-

trolito molecole speciali, alle quali sono attaccati, senza essere chimicamente uniti, atomi di idrogeno con carica elettrica positiva e atomi di cloro con carica negativa.

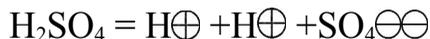
Faraday aveva pensato a questi atomi elettrici vaganti con le molecole, e li aveva chiamati *ioni*, *anione* quello positivo, *catione* quello *negativo*. Adotteremo per essi i simboli \oplus e \ominus e indicheremo con \oplus H e \ominus Cl gli ioni di idrogeno e ossigeno. Accetteremo provvisoriamente questa maniera di vedere, oggi generalmente diffusa, e poi, dopo enumerate le ulteriori ricerche, torneremo alle nostre ipotesi puramente meccaniche, svolte nel capitolo sopra i fenomeni elettrici.

Nella decomposizione elettrolitica vengono trasportate nei due sensi quantità eguali di elettricità, poichè si forma un circuito con simmetrica differenza di potenziale. Se da una parte si producesse più elettricità che dall'altra, si dovrebbe qui raccogliere a poco a poco una grandissima quantità di carica che non prenderebbe parte al circuito.

Dunque, un ione di idrogeno porta una carica eguale a quella contraria che porta un ione di cloro, sebbene l'atomo di cloro abbia una massa 35 volte più grande, e per questo sembrerebbe dovere avere una capacità maggiore.

Ogni decomposizione elettrolitica, avviene con la stessa legge; sempre, cioè, la sostanza si divide in due gruppi atomici che portano cariche eguali e contrarie. Per esempio, l'acido solforico H_2SO_4 si divide dei due gruppi H_2 e SO_4 : ogni atomo di idrogeno H ha la solita

carica positiva, e perciò il gruppo SO_4 ha il doppio di questa carica, ma di segno contrario. Potremo rappresentare questa dissociazione elettrolitica scrivendo:



Come si vede, questa *jonizzazione* ha qualche cosa in comune con l'atomicità o valenza chimica. Dalle due parti devono essere saturate le valenze, e per ogni *catione* dei due atomi d'idrogeno si unisce un *anione* al gruppo SO_4 . Così, tanto chimicamente come elettricamente, l'atomo d'idrogeno è monovalente, e l'anidride solforica bivalente.

Se prendiamo, per esempio, l'Idrato sodico NaOH , esso si divide in sodio Na e nel gruppo HO : ossia $\text{NaOH} = \text{Na}^{\oplus} + \text{OH}^{\ominus}$, monovalenti ambedue. Invece l'idrato di bario si decompone secondo la formula:

$\text{Ba}(\text{OH})_2 = \text{Ba}^{\oplus\oplus} + \text{OH}^{\ominus} \text{OH}^{\ominus}$. L'ione positivo di Bario è bivalente.

Prendendo un composto non saturo, può avvenire che cambi la valenza elettrica di un elemento. Così nell'elettrolisi del cloruro ferroso FeCl_2 , in cui solo due delle tre valenze del ferro son saturate, il ferro si comporta come bivalente, prendendo una carica positiva uguale a quella negativa dei due atomi di cloro. Mentre nel cloruro ferrico FeCl_3 riprende la sua normale valenza tripla, anche elettricamente.

Vediamo dunque, che la dissociazione elettrica corrisponde in tutto alla dissociazione chimica, in quanto i gruppi elettrolitici si corrispondono chimicamente ed elettricamente, per le loro valenze; cosicchè l'un feno-

meno sembra essere una conseguenza dell'altro; il fenomeno elettrico sembra avere la sua spiegazione nel fenomeno chimico e reciprocamente. Queste relazioni e questa corrispondenza sono della maggiore importanza per tale importantissimo gruppo di fenomeni.

La legge dell'elettrolisi (legge di Faraday), dice che ai due elettrodi compariscono sempre quantità di sostanze diverse, ma chimicamente equivalenti. È però da osservare, che non sempre son queste due sostanze che compariscono agli elettrodi, perchè spesso esse si ricambiano con la materia circostante, dando luogo ad azioni secondarie.

Nella pila Daniell, lo zinco si converte in solfato $ZnSO_4$ a contatto dell'acido diluito, per cui vengono a combinarsi i gruppi SO_4 . Nel vaso poroso si trova il solfato di rame concentrato; il gruppo SO_4 si separa, caricandosi negativamente a contatto del rame, e si porta traverso la parete porosa verso lo zinco; e il rame, reso libero, si deposita sopra quello metallico preesistente. Così la soluzione di rame diventa sempre più povera di gruppi SO_4 e sempre più diluita; la soluzione di zinco, invece, sempre più concentrata. Perciò in principio, per rendere più intensa l'azione, l'una deve essere il più possibile diluita, l'altra il più possibile concentrata; poichè allora si aggiunge anche l'effetto della pressione osmotica a favorire il movimento degli joni. La corrente cessa quando la soluzione di solfato di zinco sia satura o quando tutto il rame sia stato separato dal solfato. Se si fa in modo che nella soluzione interna vi

sia sempre solfato di rame solido, questa rimarrà sempre satura e l'azione non cesserà: perchè la soluzione di solfato di zinco non diventa mai satura finchè vi si trasporta continuamente l'acido. In questo processo nessuna parte di sostanza viene consumata, e per ogni 63,6 grammi di rame che si deposita si sciolgono gr. 65,4 di zinco; questi numeri sono i pesi atomici dei due metalli.

Chiamando equivalente-grammo di una sostanza il numero di grammi corrispondente al peso atomico diviso per la valenza, potremo dire che la quantità di elettricità trasportata da un equivalente è la medesima per tutti i corpi: l'equivalente-grammo d'idrogeno è 1 gr.; quello dell'ossigeno 8 gr., ecc. La carica trasportata da un equivalente è di 96540 Coulomb.

Nella dissociazione elettrolitica, certi elementi o gruppi atomici sono sempre positivi, altri sempre negativi; altri sono variabili secondo la sostanza con cui sono uniti nella molecola. *Positivi* sono tutti i metalli a cominciare dall'idrogeno, cioè tutti gli elementi che nel sistema periodico stanno a sinistra, esclusi i gruppi del ferro, rutenio e platino che hanno un posto speciale fra destra e sinistra. *Negativi* son gli elementi di destra, specialmente gli alogeni: gli elementi variabili come il carbonio son quelli che restano nel mezzo.

Le serie orizzontali del sistema periodico costituiscono, perciò, anche serie di tensione elettrica, analoghe a quelle che già conosciamo per la tensione elettrica di contatto e quella di attrito. Gli elementi più lontani, nel-

la stessa linea orizzontale, i quali perciò possono portare le maggiori cariche opposte, formano fra loro i composti più stabili: per esempio, l'acido fluoridrico e il cloruro di sodio, composti che hanno proprietà assolutamente diverse dai componenti. Invece, le sostanze i cui ioni hanno eguale segno, come i metalli, formano corpi in cui si ritrovano più o meno le proprietà dei componenti. Ciò fa pensare, che quelle proprietà elettriche abbiano una parte molto importante nella combinazione chimica.

In strettissima relazione con tali proprietà sono le tensioni necessarie per separare i varî elementi o gruppi elettrolitici. Ecco secondo Wilsmore le tensioni di dissociazione per soluzioni di normale concentrazione.

<i>Cationi</i>				<i>Anioni</i>	
Magnesio	+ 1,482	Cobalto	+ 0,232	Jodio	- 0,520
Alluminio	+ 1,276	Nichel	+ 0,228	Bromo	- 0,993
Manganese	+ 1,075	Piombo	+ 0,151	Ossigeno	- 1,08
Zinco	+ 0,770	Rame	- 0,329	Cloro	- 1,417
Cadmio	+ 0,420	Mercurio	- 0,753	OH	- 1,68
Ferro	+ 0,344	Argento	- 0,771	SO ₄	- 1,9
				HSO ₄	- 2,6

Questi numeri sono espressi in Volta e misurano la differenza di potenziale ad uno degli elettrodi, per produrre la separazione della sostanza corrispondente, da un composto qualunque; naturalmente bisogna aggiun-

gere la tensione dell'altro elettrodo corrispondente all'altro ione. Per esempio, per l'elettrolisi del cloruro di ferro, la differenza di potenziale necessaria fra i due elettrodi sarà per il ferro di $+ 0,344$, per il cloro $- 1,477$ ossia $1,76$ volta. In una pila Daniell si separa, da una parte il rame, dall'altra lo zinco; perciò la differenza di potenziale fra gli elettrodi è $0,77 + 0,33 = 1,1$, come anche risulta da misure dirette. Dunque una pila Daniell non può decomporre il cloruro di ferro.

L'allumina, che è ossido d'alluminio Al_2O_3 , richiederebbe $1,276 + 1,08 = 2,36$ Volta, per la sua separazione; tensione assai piccola e facile ad ottenere; ma disgraziatamente l'allumina è insolubile, e perciò non ne è possibile la dissociazione elettrolitica. In ciò la grande difficoltà della produzione elettrica dell'alluminio, la quale diventò possibile solo con processi che sono ancora tenuti segreti. Di altri metalli leggeri, come il sodio, è facile avere la separazione elettrolitica, ma non si riesce ad avere il metallo isolato, perchè esso si ricombina subito con l'acqua ossidandosi; e mentre al polo positivo si svolge il cloro, al polo negativo si svolge l'idrogeno, prodotto dalla reazione del sodio.

La solubilità, avendo parte essenziale nei processi elettrolitici, questi devono anche avere relazione con la pressione osmotica. Infatti, gli joni che si trasportano da un elettrodo all'altro, devono, quando gli elettrodi sono immersi nello stesso recipiente, produrre una differenza di concentrazione e di costituzione nella soluzione, perchè sono diverse le sostanze che vengono liberate ai due

poli. Ne deve, dunque, risultare una pressione osmotica, la quale agisce in senso contrario alla caduta di potenziale, perchè questa determina la differenza di concentrazione, mentre la pressione osmotica cerca di ristabilire l'equilibrio. Perciò la corrente può stabilirsi solo quando la forza elettromotrice è maggiore della pressione osmotica.

Ma anche altre azioni si oppongono alla corrente; principalmente, la *polarizzazione* della pila. Per evitarla si è introdotto il vaso poroso, mediante il quale la concentrazione del liquido intorno agli elettrodi si può regolare in modo che la pressione osmotica favorisce il trasporto degli joni e diventa una forza elettromotrice. Oltre di ciò, per essa possono essere limitate le reazioni chimiche nocive.

Ma la pressione osmotica nelle soluzioni di sali metallici ci presenta un altro fatto importante; essa è, nella maggior parte dei casi, molto più grande di quello che dovrebbe essere. E poichè essa, come sappiamo, dipende dal numero di molecole presenti, bisogna concludere che questo numero è maggiore di quello normale ossia è avvenuta una parziale o completa dissociazione di esse. Per esempio, la pressione osmotica dell'acido solforico diluito in molta acqua è tripla di quella che corrisponderebbe alla formola H_2SO_4 ; dunque da una molecola si son formati tre joni, che debbono essere secondo la formola:



Dunque, la diluizione produce sulla sostanza disciolta una dissociazione simile a quella che avviene in un gas che si dilata per riscaldamento. Ma gli atomi o gruppi non sono già liberi, bensì uniti con molecole d'acqua.

Così, nella soluzione di acido cloridrico la pressione osmotica è doppia, significando lo sdoppiamento della molecola HCl nei due ioni H e Cl. In altre soluzioni, per esempio in quelle alcoliche, queste anormali pressioni non hanno luogo; esse sono in genere limitate a quelle soluzioni che conducono la corrente e che noi indichiamo come *elettroliti*. Il che significa, che anche questi fenomeni elettrici sono dipendenti dai principi della teoria cinetica dei gas, che ci ha dato la legge della pressione osmotica, e che, secondo i nostri fondamentali concetti, fa derivare tutti i fenomeni naturali dal movimento degli atomi elementari.

La produzione della corrente è indubbiamente connessa con la mobilità degli ioni, poichè ogni ione porta la stessa quantità di elettricità, e la intensità della corrente deve dunque dipendere dal numero degli ioni presenti. Ma su questa velocità degli ioni agiscono molte circostanze. Poichè intanto essa dipende dalla repulsione elettrica, vi deve influire la differenza di potenziale fra i due elettrodi, poi la grandezza degli atomi o dei gruppi atomici che si muovono, e finalmente il grado di concentrazione della soluzione attraverso la quale devono passare.

Troppo lungo sarebbe voler considerare minutamente tutte queste circostanze, e ci limiteremo a dire, che in

ogni caso questa velocità è relativamente assai piccola e in nessun rapporto con la velocità della corrente elettrica. Da esperienze fatte con diversi gradi di concentrazione, si è potuto determinare le velocità degli ioni, e si è trovato alla temperatura di 18°, per la massima diluizione, con una corrente capace di superare la resistenza di 1 Ohm, i seguenti valori in centimetri al secondo, i quali variano un poco con la temperatura.

<i>Cationi</i>				<i>Anioni</i>			
Potassio	65.3	Litio	35.5	Cloro	65.9	NO ₃	60,8
Ammonio	65.2	Argento	55.7	Bromo	66.7	ClO ₃	56,5
Sodio	44.4	Idrogeno	318	Iodo	66.7	CO ₂ H	45
						OH	174

Ci può a primo aspetto meravigliare la diversità di questi valori, mentre si sarebbe supposto che in un circuito di corrente avesse dovuto aver luogo nelle due direzioni e con egual velocità, il movimento delle particelle oppostamente elettrizzate. Ma bisogna riflettere che la separazione chimica è già in parte avvenuta nella soluzione prima che si stabilisca la corrente, e che, ora, per l'immersione degli elettrodi si ha anche la separazione elettrica. Alle particelle scariche seguono sempre quelle cariche, nei diversi punti degli elettrodi, e alimentano così la corrente che nei conduttori metallici si propaga con la sua propria grandissima velocità. La velocità degli ioni influisce, dunque, non sulla velocità della corrente elettrica, ma solo sulla sua intensità; si vede, dunque, che l'intensità della corrente deve dipendere dalla

grandezza degli elettrodi che raccolgono gli ioni.

Queste velocità degli joni si possono chiamare le conduttività molecolari delle rispettive sostanze, poichè sono precisamente gli ioni che trasportano l'elettricità. Kohlrausch ha per il primo trovato, che questa conduttività, nel caso che diversi ioni siano presenti, è eguale alla somma delle singole conduttività. Per esempio, se l'elettrolito è il cloruro d'argento, la sua conduttività molecolare è $55,7 + 65,9 = 121,6$. Questa è la legge di Kohlrausch; e il rapporto della velocità assoluta di uno degli ioni alla somma di tutte, si chiama, con Hittorf, numero di trasporto. Nel caso citato, esso è per l'argento $55,7 : 121,6 = 0,46$.

Secondo le idee di Faraday, l'elettricità consisterebbe di due imponderabili fluidi, aventi proprietà opposte, per cui tendono a combinarsi neutralizzandosi. Se immaginiamo questi fluidi composti come gli altri di atomi, cioè delle due specie di elettroni \oplus e \ominus , molto più piccoli degli atomi chimici, la loro riunione $\oplus\ominus$ formerà una molecola neutra che sarebbe la materia prima di tutte le sostanze. Questi elettroni possono dunque considerarsi identici agli atomi primitivi, costitutivi di tutta quanta la materia. La lentezza dei movimenti degli ioni si è cercato di spiegarla con la grande resistenza di attrito che essi incontrano nell'elettrolito. A proposito di questo, il Nernst dice: «Se consideriamo con quanta lentezza scende un fine precipitato che sia sospeso nell'acqua, intenderemo facilmente che particelle estremamente piccole, come devono essere gli ioni, debbano muo-

versi con velocità misurabile solamente sotto l'azione di forze grandissime».

Ma a noi sembra che questi concetti non possano conciliarsi con le altre proprietà dell'etere, il quale tutto compenetra con la nota immensa velocità. Nella parte di quest'opera destinata alla fisica, noi abbiamo svolto un'altra teoria dell'elettricità, che non richiedeva nessun fluido particolare e nessuna speciale proprietà dell'etere, ma solo era fondata sull'ipotesi di una certa specie di movimento degli atomi nelle molecole. Il confronto più volte sviluppato fra sistemi molecolari e sistemi planetari, è stato sempre più validamente confermato dallo studio dei fenomeni chimici, e abbiamo anche veduto, che, secondo i particolari aggruppamenti, avevano luogo le particolari rotazioni dell'etere luminoso compenetrante i varî corpi. Queste relazioni fra il movimento atomico e lo stato fisico, chimico, elettrico della materia possiamo rappresentarcele nel modo seguente.

Nello stato amorfo, non predomina alcuna direzione, nè per la posizione dei piani delle orbite atomiche o molecolari, nè per i movimenti stessi in esse. Nello stato cristallino i piani orbitali sono orientati in determinate direzioni che definiscono la forma cristallina, dalle quali dipendono tutte le sue proprietà fisiche. Ma anche nei cristalli le direzioni dei movimenti non sono ancora ordinate, e in un determinato spazio vi sono tanti sistemi diretti, come retrogradi, per usar termini astronomici. Una direzione comincia a predominare nei cristalli otticamente attivi. Nella soluzione degli elettroliti nell'ac-

qua si produce, come sappiamo, una particolare specie di molecole, in quanto la sostanza si decompone e le sue parti si uniscono ancora alle molecole dall'acqua. Queste due diverse specie di molecole debbono aver proprietà differenti anche rispetto alla posizione del loro centro di gravità, dalla quale dipende il verso della loro rotazione. Ricordiamo quanto abbiamo detto, a tal riguardo, per l'atomo asimmetrico di carbonio, in alcuni composti organici.

Abbiamo inoltre trovato, che lo stato metallico ha proprietà e struttura speciale, e non può in ogni modo esser considerato come semplice stato amorfo, in cui le molecole siano disposte senza ordine alcuno. È assai probabile che esso sia costituito da un complesso intreccio di cristalli con liquido interposto, ossia da un miscuglio di struttura cristallina e colloidale, nelle cui maglie ha luogo una serie di movimenti orientati, per un processo che potrebbe in sostanza paragonarsi ad una vagliatura.

I movimenti circolatori delle molecole libere nei liquidi elettrolitici, si ordinano intorno ai sistemi solidi dei metalli, cioè degli elettrodi, e comunicano la direzione del loro movimento all'etere propagantesi lungo i metalli: che nei metalli si producano tali vortici eterei è provato dalle attrazioni e repulsioni elettriche presso di essi. Nell'azione delle macchine dinamo-elettriche, questi invisibili vortici sono prodotti dalla rotazione visibile di un macroscopico sistema materiale; nella pila, dalla rotazione di sistemi molecolari, nei quali è disponibile

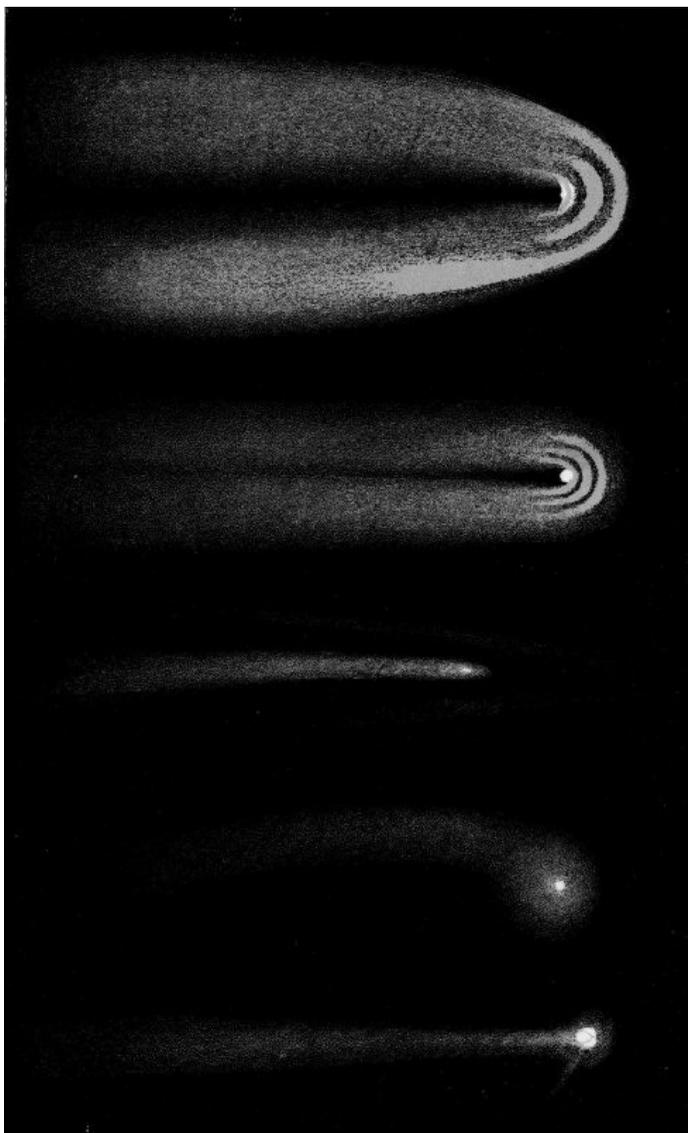
una quantità di energia relativamente assai più grande che nelle nostre più potenti macchine.

Per tale spiegazione, non abbiamo avuto bisogno nè di alcuna nuova forza nè di alcuna sostanza imponderabile come i fluidi di Faraday e gli elettroni; e le azioni agenti reciprocamente fra gli elementi della materia, nei movimenti ordinati di cui sopra dicemmo, non sono diverse da quelle che dobbiamo ammettere per la spiegazione di tutti gli altri fenomeni.

Certo molto rimane da spiegare. Tutti i processi chimici, specialmente quelli che precedono la produzione della corrente, escono da tale ordine di movimenti molecolari; se pure nei fenomeni esclusivamente chimici, tale ordine sia limitato al campo delle molecole e non all'intero sistema della materia, come nei fenomeni fisici. Qui si presentano fenomeni meccanici assai più difficili che non quello dei tre corpi, perchè abbiamo da fare non solo con una grande quantità di masse agenti le une sulle altre molto da vicino, ma si tratta anche di corpi complessi per forma, come, abbiamo visto, debbono essere gli atomi dei corpi semplici.

Infine, la legge dell'attrazione Newtoniana deve esser modificata quando le masse e le distanze siano dell'ordine di grandezza delle dimensioni molecolari, e la correzione è da paragonare a quella introdotta nell'equazione fondamentale dei gas. Finchè l'analisi matematica non potrà applicarsi a questi problemi, e il tempo ne è ancora lontano, dobbiamo contentarci di considerazioni ipotetiche come quelle da noi svolte; e di queste ipotesi

saranno le più probabili, quelle che rendono ragione dei fatti conosciuti, col minor numero di concetti nuovi e di ipotesi supplementari.



Comete.

a) Cometa Donati 1858. – b) Cometa Coggia 1814. – c) Grande Cometa del settembre 1882. – d) Cometa Olbers 1887. – e) Cometa Sawerthal 1888.

PARTE TERZA

I tre ordini dei fenomeni fisici

1. – Il mondo degli atomi.

Nelle precedenti considerazioni abbiamo cercato di ricondurre tutti i fenomeni che accadono nel mondo fisico-chimico, a semplici movimenti. Noi abbiamo dovuto trascurare, in questa esposizione, un gran numero di particolarità, per poter seguire meglio le varie specie di fenomeni; dimodochè, molti legami tra i fatti singoli e le diverse classi di fenomeni, spesso andarono perduti o, per lo meno, non furono posti sufficientemente in evidenza. Noi vogliamo ora, alla fine di questa nostra opera, dare una rappresentazione complessiva di tutti i fenomeni naturali nelle loro intime relazioni, e vogliamo cercare di ricostruire idealmente tutto il mondo fisico, dall'atomo fino ai più imponenti corpi celesti, basandoci su delle semplici ipotesi.

Fra queste semplici ipotesi, noi abbiamo già avanzata quella del movimento rettilineo e uniforme delle particelle infime dei corpi, le quali non devono avere altra proprietà che di occupare un volume determinato (durezza assoluta), e da ciò dobbiamo derivare le proprietà

specifiche della materia. Poichè queste piccolissime particelle, chiamate *atomi primordiali* per distinguerli dagli atomi chimici più complessi, occupano spazio, deve farsi anche una qualche ipotesi sopra la loro forma. Questi *atomi primordiali* si trovano in quantità innumerevoli anche nelle più piccole porzioni dello spazio e si muovono in tutte le direzioni; perciò la loro azione complessiva è uguale (ciò si può dimostrare per via meccanica) a quella di sfere. Noi attribuiamo dunque a questi *atomi primordiali* la forma sferica che è la più semplice di tutte.

Questo assioma, dal quale noi partiamo, può a prima vista sembrare arbitrario. Ma, al punto in cui siamo, dopo aver conosciuti tutti gli aspetti dei fenomeni nei quali si esplicano le forze naturali, qualsiasi fenomeno considerato intimamente ci riconduce a questo assioma, come l'unico possibile. Se cessassero ad un tratto di agire le forze naturali, in qualsiasi maniera noi concepiamo il loro modo di agire, ogni corpo seguirebbe certamente nel suo movimento finale, in direzione rettilinea e con velocità uniforme: solamente, per questo movimento, non sarebbe più necessario l'intervento di alcuna forza. Se noi potessimo eliminare le forze della natura, noi vedremmo che non abbisogniamo di esse, e che dai susseguenti movimenti noi potremmo derivare tutti i fenomeni naturali.

La legge dell'inerzia che afferma la continuità del movimento rettilineo uniforme, deriva necessariamente dalla legge primitiva, per la quale non vi è effetto senza

causa. In un movimento occorre una causa, ossia una azione esterna, solo quando deve cambiare la direzione e la velocità: senza questa, esso resterebbe immutato. Se nella cerchia dei fenomeni terrestri ciò non si osserva, si deve alle azioni esterne e particolarmente alla attrazione terrestre. In via assoluta, nel campo della natura non si potrebbe trovare alcuna regione nella quale un corpo si muova senza l'azione di forze esterne, poichè uno spazio assolutamente vuoto non è realizzabile; in ogni parte si agitano quelle piccole particelle materiali, che noi abbiamo dovuto ammettere per spiegare i fenomeni luminosi e la gravità.

L'ipotesi di quel movimento rettilineo uniforme è adunque una astrazione, un puro prodotto della nostra mente, ma che noi possiamo derivare dall'esperienza, come una legge limite, alla quale possiamo accostarci indefinitamente e che certo esiste in natura, per quanto al di fuori del mondo terrestre.

Lo spazio più povero di materia è lo spazio stellare. In esso noi vediamo milioni di corpi celesti, per quanto ci è permesso di seguirli nel loro movimento, muoversi rettilineamente ed uniformemente, fintantochè essi non capitano nelle vicinanze di un altro corpo celeste, che espliciti sopra di essi una particolare influenza.

Qui, dunque, noi troviamo meglio che altrove verificato il nostro assioma.

Se si pretendesse da noi un'ipotesi, relativamente alla origine di questo movimento degli atomi primordiali, noi non accetteremmo una tale domanda che esce dal

campo delle nostre esperienze. Noi non dobbiamo attribuire al mondo in tutta la sua infinita estensione, nessun principio, nessuno stato iniziale nel quale solo esistessero gli atomi primordiali; noi ammettiamo che questi, come sono presentemente, siano sempre stati in unione di sistemi o masse più grandi. Ma se vogliamo spiegare le proprietà di queste grandi masse e i loro complessi movimenti, con cause semplici il più possibile, allora dobbiamo, per lo scopo nostro, escludere ogni altra influenza, e costruire con la nostra fantasia un mondo formato solo dalla suddetta materia primordiale.

Anche l'ipotesi di un completo riempimento dello spazio, effettuato dagli atomi primordiali, è una pura astrazione, che non sarà verificata mai in maniera assoluta. Noi vediamo il mondo sempre riempito di materia più o meno densa. Le nostre considerazioni fisiche hanno posto fuori di dubbio, che anche la materia più compatta deve essere composta di particelle per noi infinitamente piccole, i cosiddetti atomi o molecole, che non stanno in contatto tra loro; talchè gli atomi primordiali che sono assai più piccoli possono più o meno liberamente muoversi tra di esse. Nemmeno quando il nostro senso grossolano, pure acuito con qualche artificio, giudica continua la materia, neppure allora ciò si verifica effettivamente. Una materia assolutamente densa ci è del tutto sconosciuta. Al contrario, noi conosciamo delle configurazioni materiali con tutte le gradazioni di densità e di grandezza. Dagli atomi primordiali, dei quali noi sappiamo solo che sono assai più piccoli degli atomi

chimici, la cui grandezza noi possiamo pure con certe ipotesi stabilire per via teorica, fino agli innumerevoli sciami di soli della via lattea, che formano un insieme fisico come i granelli di un pugno di sabbia, il mondo materiale presenta infinite gradazioni di densità. Perché mai quelle particelle materiali che noi chiamiamo atomi primordiali, dovrebbero costituire effettivamente le più piccole particelle della materia?

Noi dobbiamo attualmente supporle tali, perchè le nostre esperienze non possono andare più in là. Ma essi possono pure essere divisibili nel grado di suddivisione loro proprio. Noi dobbiamo per altro, fare la ipotesi astratta della indivisibilità ed assoluta durezza di questi atomi primordiali, per fornire al nostro intelletto una condizione limite dalla quale noi possiamo partire.

Ugualmente, è astrazione la nostra ipotesi sopra la forma degli atomi. Anche se, come accennammo sopra, essi sono riunioni di particelle materiali più piccole, la loro forma sferica potrebbe giustificarsi con le stesse circostanze con cui si spiega la forma approssimativamente sferica delle gocce d'acqua e dei corpi celesti. Noi vediamo, anche qui, che partendo da osservazioni sperimentali, la nostra ipotesi sulla forma sferica si presenta come un caso ideale astratto.

Immaginiamo adunque, per ricostruire il mondo come è, partendo da quelle astrazioni, uno spazio completamente vuoto, grande a sufficienza per poter creare in esso il mondo che noi conosciamo, e riempiamolo con una quantità sufficiente di atomi primordiali sferici, oc-

cupanti uno spazio, moventisi rettilineamente in tutte le possibili direzioni e con tutte le possibili velocità, ma privi d'ogni altra proprietà, e fuori di ogni azione esterna.

Già, dopo un brevissimo tempo, le condizioni supposte di quello spazio si sarebbero modificate, perchè alcuni atomi acquisterebbero delle proprietà diverse dai rimanenti. Infatti, occupando i nostri atomi primordiali un certo volume, ne devono avvenire degli urti; questi, a seconda della direzione in cui avvengono, possono produrre effetti molto svariati. Più frequenti saranno urti laterali che centrali; ciò ha per effetto, a causa della durezza assoluta degli atomi, che le due sfere procedano con velocità cambiata di intensità e direzione e che contemporaneamente assumano un movimento rotatorio, l'una sfera in un verso e l'altra in verso contrario. Anche questo movimento rotatorio rimane invariato fino ad un nuovo urto.

Noi scorgiamo quanto diversi sono questi atomi di fronte ai primitivi. Essi si differenziano da quelli per la loro rotazione e per la loro velocità. Come noi abbiamo visto, i fenomeni elettrici e quelli magnetici possono ricondursi a tali movimenti rotatori delle piccolissime particelle materiali, che possono, a seconda delle circostanze, essere ordinati in maniera opportuna. I due fluidi elettrici ammessi da Faraday sono da immaginare come preesistenti nella materia, ma dappertutto in eguale quantità e senza ulteriore azione esterna, talchè l'uno distrugge le azioni dell'altro. Questa condizione è soddi-

sfatta nella rotazione originata dall'urto degli atomi, nel quale necessariamente due di essi agiscono in opposta direzione.

Se noi, adunque, interpretiamo una rotazione in un determinato senso come elettricità positiva e quella in senso contrario come elettricità negativa, l'insieme di tutta la materia rimane neutro, ma per mezzo degli urti esso acquista la possibilità di una separazione della elettricità positiva da quella negativa, tanto maggiormente quanto più numerosi sono gli urti atomici.

Tutta la materia che noi possiamo sottoporre ad esame, prende parte ad un movimento rotatorio, il quale, modificato per diverse cause, può diventare un movimento pendolare ellittico o anche rettilineo. Le nostre ricerche intorno alla natura del calore hanno posto in chiaro che tali movimenti devono avvenire anche sui gruppi molecolari, come d'altra parte i corpi celesti che si possono studiare nel loro movimento ci appaiono rotare intorno al loro asse. La rotazione è il più generale fenomeno di moto dopo quello rettilineo. Infatti, come gli atomi primordiali, così i corpi celesti che si muovono rettilineamente, devono talvolta urtarsi tra loro. Del resto noi conosciamo anche molte altre cause che possono produrre nei corpi celesti un movimento rotatorio.

Talvolta l'urto degli atomi primordiali avverrà secondo la direzione centrale, oppure in tale maniera, che i corpi proseguano, da quell'istante, uniti nel loro movimento. Si può calcolare con la regola del parallelogrammo delle forze, in quali casi si verifichi tale circostanza.

Questi due atomi formano allora una molecola biatomica; molecola non già nel senso fisico e chimico della parola. Queste molecole formano un elemento ben più primitivo delle molecole chimiche, giacchè un numero stragrande di esse concorre a formare la molecola più leggera di tutte, quella cioè dell'Idrogeno.

Ma si origina con questi gruppi molecolari una forma geometrica che si distingue già da quella sferica; questo risultato è tanto più importante, in quanto che le proprietà cristalline dei corpi, con le quali sono connesse tante proprietà fisiche della materia, dipendono dalla *sfaldabilità*, ossia in ultima analisi, dai raggruppamenti delle parti più piccole.

Noi vediamo con ciò delinearci già le proprietà cristalline della materia. Se lo spazio è riempito con sfere in contatto, devono trovarsi tra le sfere degli spazi vuoti: ma ad ogni sfera corrisponde un cubo, se le congiungenti i centri delle sfere si tagliano scambievolmente ad angolo retto. Noi abbiamo dunque realizzato una forma cristallina regolare. Così, pure, possiamo a due sfere associare una terza, in maniera che le congiungenti i centri formino un triangolo, e poi una quarta sfera in maniera da costruire un tetraedro; mentre con altri raggruppamenti di sfere possiamo ottenere un romboedro. A questa maniera noi possiamo, per mezzo di sfere, formare tutte e sole le forme cristalline regolari. Le altre forme nelle quali gli assi non sono ugualmente sviluppati, oppure sono inclinati tra di loro, non possono costruirsi per mezzo di sfere. Nelle nostre considerazioni chimiche,

già abbiamo visto, che quanto più semplice è la sostanza tanto più facilmente essa cristallizza in forme regolari. I cosiddetti elementi chimici, due soli eccettuati, cristallizzano in forme regolari ed esagonali, che secondo il nostro punto di vista vanno classificate tra le forme regolari, perchè si possono costruire per mezzo di sfere. Noi vediamo quindi scaturire gli elementi chimici stessi dalle nostre ipotesi.

Quanti più atomi primordiali si saranno uniti tra di loro, tanto più facilmente essi incontreranno nel loro movimento altri atomi e complessi atomici, e tanto più facilmente il sistema avrà la tendenza ad ingrossare. Poichè nessuna direzione è privilegiata, questi gruppi atomici devono avere la forma sferica. Noi otteniamo così un grado già elevato di complessità atomica, che può corrispondere, nelle azioni fisiche esterne agli atomi chimici. In questi gruppi, gli atomi sono in immediato contatto tra di loro per quanto lo permette la loro figura geometrica. Anche questi atomi chimici hanno perciò una durezza pressochè assoluta, e con i mezzi a nostra disposizione non si possono nè suddividere nè comprimere.

Questi atomi, sotto la grandine dei più piccoli che li circondano, rivelano delle singolari proprietà. Poichè essi ricevono, da ogni lato, degli atomi primordiali e li riflettono, si origina una atmosfera nella quale un piccolo numero di atomi primordiali si muovono tra atomi complessi, i quali a lor volta si muovono più lentamente.

Tutto questo, per cause puramente meccaniche, come abbiamo già visto, deve dar luogo ad una legge che corrisponde alla legge di gravitazione. Questi corpi più grandi, unicamente per impenetrabilità, formano delle sfere di attrazione che costringono ogni corpo, che entra nella loro cerchia di azione, ad avvicinarsi con velocità crescente. L'espressione precisa della legge di gravitazione, che noi abbiamo derivato dall'osservazione dei corpi celesti, non può trovarsi verificata, lo abbiamo già visto, anche nella cerchia di questi gruppi atomici: vi si deve introdurre una correzione, perchè la grandezza degli atomi originali non è ancora trascurabile rispetto alle masse attratte ed attraenti. Perciò non si è ancora riusciti a mettere in perfetto accordo i movimenti molecolari coi movimenti celesti. Ma tutto fa prevedere, che in realtà si abbiano anche in questi fenomeni, regolarità del tutto simili a quelle dei corpi celesti.

Appena comincia ad entrare in gioco la gravità, si formano dei sistemi molecolari nei quali i gruppi materiali girano gli uni intorno agli altri secondo sezioni coniche. Due o più gruppi materiali, che altrimenti uniti formerebbero un tutto procedente in direzione rettilinea, ora son tenuti insieme dall'attrazione, senza però essere in contatto. Noi abbiamo così le molecole fisiche, il cui movimento progressivo interpreteremo talvolta come energia cinetica, talvolta come temperatura, mentre chiameremo energia potenziale, lavoro latente, o calore latente il movimento interno delle loro traiettorie.

Le nostre esperienze sulla luce e sulla elettricità, han-

no mostrato che i movimenti primitivi degli atomi primordiali, che noi abbiamo anche chiamato atomi eterei, si misurano a centinaia di migliaia di chilometri al secondo.

Poichè i movimenti curvilinei degli atomi nelle molecole, sono stati creati da quelli rettilinei per azioni attrattive, anche le loro velocità devono essere assai grandi, ed è presumibile che gli atomi compiano milioni di giri al secondo. Per questa enorme velocità di rotazione ci riesce impossibile di penetrare, con mezzi puramente meccanici, in queste traiettorie, ed una molecola è ancora da considerarsi come un atomo che riempia tutto lo spazio occupato dalle orbite dei suoi atomi.

Se in un determinato punto dello spazio abbiamo un gran numero di tali molecole, separate però tra loro da spazi così grandi da poter paragonare il tutto ad una nube leggiera, la maggior parte degli atomi primordiali vi potranno passare attraverso senza urtare le molecole. Ma fra gli urti che certamente avverranno fra molecole ed atomi primordiali, devono predominare quelli che avvengono dall'esterno all'interno; poichè quegli atomi che vanno a colpire una molecola posta nell'interno dello sciame devono prima, per un buon tratto, essersi fatto largo; e a causa degli urti avvenuti lungo il cammino, questo caso sarà meno frequente, che non presso l'esterno: ossia, la nube stessa ripara le sue parti interne dagli urti, e perciò le particelle vengono spinte verso il centro, con tendenza progressiva ad addensarsi. Comincia così quel processo di addensamento che si osserva in tutte le

riunioni materiali abbandonate a se stesse, e che ha dato origine ai corpi celesti. Noi vediamo di nuovo, che da tali sciami di molecole devono nascere delle sfere. Infatti se sul principio nascesse una forma allungata, lungo la direzione del diametro maggiore avverrebbero urti più numerosi che lungo quella del diametro minore, e ciò porterebbe a diminuire la maggior dimensione.

Così si delinea la forma di un corpo composto di sistemi molecolari separati tra loro. Quelle molecole che tendono a proseguire il loro movimento verso l'esterno vengono parzialmente respinte dagli atomi eterei, ma in parte però si diffondono liberamente nello spazio; ogni corpo, anche il più stabile, evapora parzialmente alla superficie. Nell'interno, il movimento delle molecole trova un ostacolo nelle molecole circostanti, e perciò nell'interno esse percorrono un cammino a zig-zag, come si ammette nella teoria molecolare dei gas. Noi abbiamo veduto, come tutti gli effetti della temperatura dei corpi, che sono liberi di dilatarsi liberamente, nei quali, cioè, dall'esterno non si esercita alcuna azione sui movimenti molecolari interni, si possono spiegare soltanto col movimento molecolare. Dalla velocità delle molecole dipende la temperatura assoluta dei corpi, e la pressione dei gas ce ne dà appunto la misura, secondo la legge di Boyle e Mariotte. Dalle nostre ipotesi, segue necessariamente la correzione necessaria, portata a questa legge da Van der Waals, come già dicemmo a suo luogo.

Tutti gli effetti della temperatura sono da ricondursi a dilatazioni e contrazioni della materia; e così anche il

passaggio da uno stato di aggregazione ad un altro e le azioni chimiche del calore. L'espansività dei corpi è spiegata immediatamente con gli urti sulle pareti dei recipienti, sulle quali la pressione è tanto più forte quanto più questi urti sono energici e numerosi.

Si spiega pure il passaggio del calore da un corpo caldo ad uno freddo, ossia, l'equilibrio di temperatura che si stabilisce al loro contatto. Per gli urti delle molecole diversamente veloci dei due corpi, deve, infatti, avvenire una perequazione della velocità: le molecole più rapide devono cedere velocità alle più lente e rallentare il loro movimento. Anche se il corpo freddo tocca solo superficialmente il corpo più caldo, deve prodursi un primo equilibrio tra i due strati immediatamente a contatto, e poi procedere agli strati successivi, con una rapidità che dipende dalla natura della materia, ossia dalla forma delle piccole particelle, e dalla densità. La conduttività per il calore è diversa da corpo a corpo. Ma un corpo caldo cede il suo calore anche attraverso allo spazio vuoto di materia, nel quale si muovono solo gli atomi primordiali: ciò avviene appunto per gli stessi atomi, o in altre parole per mezzo dell'etere. Riflettiamo che in ogni materia le molecole si muovono qua e là in limiti determinati dalla temperatura. Nei gas ciò avviene con traiettorie a zig zag, le quali però, in certo periodo di tempo, devono invertirsi, giacchè le molecole continuano a rimanere nella nuvola; cosicchè anche qui, come certamente avviene nei corpi solidi, si hanno delle ellissi, la cui ampiezza e forma dipende dalla temperatura

della materia.

Queste molecole sono incontrate dagli atomi primordiali che arrivano dall'esterno e da essi respinte; così essi prendono parte al movimento delle molecole stesse, e una certa proprietà dipendente dalla loro temperatura, la quale possiamo rappresentarci nella maniera seguente.

Il movimento delle molecole è supposto approssimativamente pendolare. Se un atomo primordiale incontra una molecola che oscilla precisamente verso l'esterno, allora quest'ultima gli dà un urto, ed esso torna a muoversi più rapidamente di prima. Se, invece, l'atomo incontra una molecola che oscilla verso l'interno, esso deve ritornare in dietro con una velocità più piccola.

Gli atomi primordiali, che abbiamo già visto formare una sfera di azioni particolari intorno alle masse di materia, vengono adunque periodicamente ad attraversare questa sfera con maggiore o minore velocità, ed il periodo dipende dalla temperatura della materia che li respinge. Se leviamo da tutti i movimenti quello rettilineo ed uniforme che produce le forze di gravità, rimane un movimento oscillatorio simile a quello dei fenomeni luminosi, che differisce da quello relativo al calore raggian- te, solo quantitativamente. Se gli atomi primordiali, durante le loro oscillazioni urtano contro un altro corpo avente una temperatura diversa da quella del corpo irraggiante, ossia le cui molecole oscillano con un periodo diverso, allora essi cercheranno di trasmettere al primo la loro temperatura, se la loro energia sarà più gran-

de: in ogni caso, l'uguaglianza della temperatura si stabilirà mediante questo processo di irraggiamento secondo le leggi note, che si possono dedurre teoricamente dalle nostre ipotesi.

Devesi in primo luogo vedere che i cambiamenti di moto, che equivalgono a queste variazioni di temperatura, non possono essere senza alcuna influenza sulla struttura molecolare del corpo. Queste variazioni si mostreranno con tanta maggiore evidenza quanto più elevata è la densità del corpo o quanto più elevata ne è la temperatura; poichè anche più frequenti saranno gli urti e quindi più sensibile sarà la loro azione sopra gli atomi che costituiscono le molecole. Nei limiti delle osservazioni naturali, tali azioni si presentano o come calore o come energia latente. L'energia interna degli atomi, nel loro movimento intramolecolare, la quale di solito non ci si mostra in maniera evidente, cede o prende qualche cosa al movimento progressivo delle molecole; cioè, del calore o del lavoro viene, in qualche forma, liberato o assorbito.

Nel campo dei fenomeni fisici si hanno i passaggi tra i diversi stati di aggregazione, che sono l'effetto delle variazioni di temperatura. Sappiamo che nei gas le molecole si muovono indipendentemente le une dalle altre, secondo traiettorie a zig-zag, senza che l'una perturbi il movimento delle altre, se non con gli urti; nello stato liquido, le molecole si uniscono in gruppi, come gli atomi in molecole nello stato gassoso, poichè la forza di attrazione comincia ad agire tra le molecole. I fenomeni del-

la pressione osmotica che Van't Hoff ha dedotto dalle leggi dei gas, rendono molto verosimile che le molecole liquide siano formate da gruppi di molecole gassose. Si formano insomma dei sistemi materiali più complessi, mentre il movimento rettilineo uniforme diminuisce, ma si rivela ancora nei liquidi con la pressione osmotica.

Questi sistemi materiali sono, sotto tutti gli aspetti, da paragonarsi a quei sistemi di corpi celesti, nei quali abbiamo studiate tutte le conseguenze della legge della gravitazione. Noi possiamo applicare la meccanica celeste ai movimenti molecolari; ed essa, non ostante la sua perfezione, non si mostra sufficientemente sviluppata per poter spiegare tutti i complessi fenomeni molecolari. Interviene qui, il più delle volte, il problema non ancora risolto dei tre corpi, che in astronomia può trattarsi, perchè rispetto alle loro masse i corpi celesti sono enormemente distanti. Nei movimenti molecolari tale approssimazione non è più lecita.

Noi vediamo nei sistemi planetari, che noi possiamo paragonare a quelli molecolari, tutti i pianeti muoversi in orbite chiuse attorno al loro centro comune di gravità, con le orbite stesse assai vicine ad un piano fisso. Questa è non solo una conseguenza del loro modo di formazione, secondo le idee di Kant e Laplace, ma anche una necessaria conseguenza della legge di gravitazione. Anche le comete che penetrano nel sistema solare, devono a poco a poco accostare la loro traiettoria al piano fondamentale planetario, se esse devono appartenere stabilmente al sistema planetario stesso. Se noi circondiamo

con una superficie tutto lo spazio che può essere raggiunto dai pianeti, si ottiene una specie di lente biconvessa: e tale è infatti la forma che dobbiamo attribuire, secondo precedenti considerazioni, alle molecole materiali.

Noi abbiamo dunque dei gruppi materiali schiacciati, che devono formare dei cristalli irregolari, mentre le sfere formavano dei cristalli del sistema regolare. Se un gran numero di sistemi, aventi tutti una configurazione simile a quella del sistema solare, si avvicinano tra di loro tanto da esercitare una azione scambievole senza però compenetrarsi a vicenda, sebbene non sia possibile dimostrarlo con tutto rigore, si intravede che questi sistemi si ordineranno in tale maniera da occupare il minimo spazio possibile, senza disturbarsi nel loro movimento. Ciò accadrà quando i corpi lenticolari vengano a contatto con le loro superficie e senza compenetrarsi. Ossia, si ha una sovrapposizione, come sarebbe possibile in corpi solidi di forma lenticolare. Se a questi corpi attribuiremo la forma elissoidale a tre assi, quale si ha in molte traiettorie ellittiche (come nelle stelle doppie), allora si produrranno cristalli con tre assi diversamente inclinati tra di loro.

Nello stato liquido non vi è una riconoscibile struttura cristallina. Nei liquidi, i singoli sistemi molecolari non si sono ancora adattati gli uni agli altri, perchè a causa della relativamente grande distanza, non si attraggono ancora sufficientemente. Ma certe proprietà ottiche presuppongono già una configurazione particolare anche

nelle molecole dei liquidi. Noi sappiamo, ad esempio, che tutti i liquidi, nei quali si hanno degli atomi di carbonio asimmetrico, fanno rotare il piano di polarizzazione della luce, come certi cristalli.

La luce, d'altra parte, ci dà un indizio sulle forme dei sistemi molecolari. Le sue superficie d'onda devono essere un'immagine fedele delle superficie molecolari che noi abbiamo già costruite. La rifrazione semplice e doppia della luce, come la polarizzazione, sono conseguenze matematicamente certe, della forma delle superficie stesse.

Ma quando i sistemi molecolari si siano avvicinati tanto che le loro superficie quasi si tocchino, essi si ordinano in maniera da occupare il minimo spazio possibile, e si consolidano in cristalli. La grandezza degli spazi intramolecolari dipende dalla forma e dalla grandezza delle traiettorie dei singoli membri e quindi, in particolare, dalla loro temperatura.

Nelle sostanze chimicamente simili e che cristallizzano in forme uguali, noi possiamo ammettere una identica costruzione molecolare, ossia una stessa forma ed uno stesso numero di atomi. Ogni sostanza chimica si origina soltanto in condizioni perfettamente definite, o si può ottenere da altri composti dei quali essa precedentemente faceva parte. In questi composti, adunque, essa era unita ad altri gruppi molecolari.

Anche nel cielo si osservano spesso dei raggruppamenti di materia che sembrano esser composti di stelle, delle stesse dimensioni e di eguale composizione fisica.

Se in qualche parte la materia primordiale, ossia, nel nostro concetto, la riunione di atomi primordiali, era distribuita uniformemente, allora si potevano soltanto originare dei corpi della stessa natura, siano questi atomi, molecole, cristalli, corpi celesti, pianeti, o sistemi della via lattea. Nella maggior parte dei casi, i soli sono, nei raggruppamenti stellari, diversi per la loro grandezza e per la loro distribuzione irregolare; come del resto, anche nella natura terrestre, noi non troviamo quasi mai una sostanza chimica pura, ma più spesso mescolata insieme con altre. Solo l'ingegno umano imparò a separare le diverse sostanze fra di loro, riunendo in piccole porzioni la materia avente una costituzione uniforme.

Come nel cielo si trovano tutti i diversi sistemi di raggruppamenti di materia, dalle semplici stelle doppie fino ai sistemi solari composti, come il nostro, da pianeti e satelliti, che a loro volta si riuniscono in enormi anelli come la via lattea, così si hanno tutte le immaginabili gradazioni di complessità molecolari, dall'atomo di idrogeno fino alle molecole di albumina, che sono composte di centinaia di atomi; fino a che, finalmente, si formano dei cristalli, nei quali questo mondo impalpabile delle molecole diventa visibile e palpabile.

Ogni sostanza chimica è adunque un sistema di gruppi molecolari di determinata grandezza e di costruzione ben definita; ed intorno a questi la chimica dà gli insegnamenti più precisi. Noi abbiamo già mostrato come le formule di struttura chimica diano una rappresentazione schematica di questi sistemi, e non solo un criterio sopra

il numero e la massa dei singoli atomi che li costituiscono, ma anche sopra la loro distribuzione. Se le ricerche fisiche potessero far conoscere le traiettorie degli atomi e le dimensioni di questi in relazione con la loro grandezza, si potrebbe costruire una teoria matematica di questi movimenti e delle azioni scambievoli dei diversi sistemi, in base alla legge di gravitazione; e questa teoria dovrebbe armonizzare con i fatti della chimica, se le nostre ipotesi sono giuste. Si sono fatti in questo senso dei tentativi che almeno non hanno condotto a contraddizioni, ma una vera teoria chimica su basi meccaniche è ancora lontana. Per lo studio dei fenomeni chimici noi dobbiamo affidarci, quasi esclusivamente, alla esperienza, e da questa cercare di derivare sempre nuove proprietà dei sistemi materiali.

Qui apporta grandi servigî il nuovo ramo della stereochimica che, come noi abbiamo visto, condusse alla teoria della forma tetraedrica dell'atomo di carbonio. Questa stereochimica ci procurò, anche per via puramente meccanica, i primi indizî circa la natura della valenza chimica.

Gli atomi chimici non hanno certamente la forma sferica, perchè, come nei più bassi gradi dei condensamenti materiali noi vedemmo sorgere quelle forme non sferiche che devono formare gli elementi geometrici dei cristalli, così anche nelle molecole, quelle forme scaturiscono dagli agglomeramenti atomici di forma sferica. Anche nei corpi celesti succede ugualmente. Noi conosciamo dei sistemi di stelle doppie nei quali le due stelle

si seguono a così piccola distanza, da formare un perfetto parallelo con le molecole biatomiche della chimica; anche questi non possono essere a contatto. Di tali sistemi doppi, con le parti molto vicine, non ne sono stati finora scoperti molti, principalmente per le difficoltà di poterli scoprire.

La valenza chimica fu interpretata da noi come una proprietà della superficie degli atomi. L'atomo di carbonio che è ad un tempo tetraedro e tetravalente, formò il punto di partenza per queste considerazioni ipotetiche. Poichè gli atomi chimici non si sovrappongono tra di loro ad immediato contatto, ma entro i limiti nei quali le molecole compiono i loro movimenti rotatori, quelle superficie non sono che superficie tangenziali di involuppo, le quali limitano non la forma ma lo spazio occupato dalla molecola nel suo movimento. Perciò il concetto di valenza apparisce sotto una luce del tutto diversa. Tutti gli elementi monovalenti (esclusi i nuovi gas scoperti nell'atmosfera, che sono monovalenti anche nello stato gassoso) devono considerarsi come corpi doppi, i cui elementi costitutivi si seguono nel loro movimento come le stelle doppie. Il chimico dice che le loro valenze si saturano scambievolmente. Con sistemi più forti, queste coppie di corpi possono essere separate, e ciascuno degli atomi può unirsi con uno di altra specie, mentre gli atomi monovalenti seguono come satelliti un atomo più forte; e di questi singoli corpi monovalenti ne possono entrare tanti in un nuovo sistema, quanti atomi capaci di fissarli esistono in esso. Come siano costituiti questi

sistemi non è per ora spiegato, ma anche qui si possono riportare delle analogie astronomiche. Tutti i sistemi chimici sono generalmente saturi; e così anche nel nostro sistema solare non si potrebbe avere la penetrazione di un grande nuovo pianeta, senza che ne seguisse un completo sfacelo. Le distanze dei pianeti seguono certe regole determinate, non vi sono vuoti, e il sistema è chimicamente saturo. Supponiamo che un corpo doppio planetario, di grandezza paragonabile a quella dei satelliti di Giove, le cui parti siano ad una distanza considerevole rispetto a quella di due pianeti, penetri tra Giove e Saturno; le due parti che costituiscono il corpo doppio verranno attratte dai pianeti e allontanate tra di loro, sino a che ciascuna di esse non diventi satellite di uno dei due pianeti stessi.

D'altra parte, noi possiamo considerare il sistema solare come un atomo unico. Tutte le sue parti attraversano lo spazio con una velocità di circa quattro miglia al secondo, come se fossero un tutto. Se in questo movimento esso si imbatte in un sistema più grande, esso può attirarlo a sé senza che ne venga, per questo, in nulla modificato il nostro sistema solare stesso; ma sotto altre circostanze esso potrebbe sfasciarsi, e le sue parti unirsi con altre per costituire un sistema saturo. In questo senso il concetto di valenza chimica corrisponde adunque a quello del numero di centri di gravità di un sistema molecolare. Ma ripetiamo ancora una volta che tutte queste considerazioni sono in gran parte di natura ipotetica. Noi abbiamo visto che tutte le proprietà fisiche dei cri-

stalli sono in relazione con le superficie di sfaldabilità. Queste superficie sono date immediatamente dalle superficie e involuppi dei sistemi molecolari. La compressibilità dei cristalli è massima in quelle direzioni, nelle quali mediante una pressione esterna è possibile accostare di più i diversi sistemi molecolari; questo avviene solo in una direzione che non sia normale alle superficie di involuppo.

In queste direzioni normali, i raggi di luce e di calore raggiante passano con più facilità, e vengono perciò deviati verso di esse. Se le superficie di involuppo, come accade nei cristalli irregolari, sono inclinate tra di loro con angoli molto acuti, allora le onde luminose si separano in due porzioni ed il corpo diventa birifrangente. Solo questi cristalli hanno perciò la proprietà della birifrangenza.

Per il nostro quotidiano modo di vedere, riesce difficile il comprendere come i corpi rigidi siano aggregati di particelle separate da spazi vuoti. Come è possibile, domandiamo, che il cavallo trascini un carro pesante su un monte, se cavallo e carro non sono legati tra loro?

La forza viene in questo caso applicata a pochi sistemi molecolari, e questi attraverso lo spazio vuoto agiscono sui sistemi vicini obbligandoli a seguirli nel loro movimento. Questi ultimi non vengono mossi per azioni immediate, ma mediante azioni, apparentemente, a distanza. Qualunque ipotesi si faccia intorno ai processi che avvengono nelle regioni molecolari, mai si abbandona la ipotesi della esistenza, di questi spazi intramole-

colari, e sempre devesi conservare l'ipotesi di azioni a distanza esercitanti tra le molecole. Come potrebbero altrimenti le singole parti scorrere così facilmente le une sulle altre senza perdere la loro rigidità?

Evidentemente i sistemi molecolari sono collegati mediante le loro forze attrattive, e procedono in un movimento unico, anche se solo un piccolo numero di essi è sollecitato da una forza esterna. Così noi vediamo i corpi celesti seguire spesso un comune percorso; ammassi di stelle con migliaia di soli, vanno per la stessa via, quantunque siano separati da spazi immensi: se noi deviasimo contemporaneamente tutti i soli, vedremmo anche i loro pianeti seguire con essi un nuovo cammino. Questi comuni movimenti sono la conseguenza di correnti di quegli atomi primordiali, che in certe regioni dello spazio si muovono in determinate direzioni, a causa forse di azioni esercitate da materia posta a grandissima distanza. La trazione esercitata in un punto della materia e trasmessa agli altri, si può paragonare con lo stabilirsi di una corrente in un bacino d'acqua, quando in un punto muoviamo il liquido in una determinata direzione, e questo trascina il rimanente. Che la corrente degli atomi primordiali produca una forza molto grande è dimostrato dalla forte adesione dei corpi solidi. In essi, l'apparente forza attrattiva prodotta dalla corrente degli atomi è precisamente eguale alla forza necessaria per sfaldarli. Noi abbiamo già imparato che questa forza attrattiva si esercita fino ad una certa distanza, e che poi cessa, lasciando lo spazio libero tra gli atomi. Le mole-

cole sono da considerarsi come corpi solidi comprimibili; esse si attraggono fra loro, ma oppongono una naturale resistenza alla reciproca penetrazione; resistenza che può essere vinta solo da influenza di temperatura, o forti pressioni esterne.

In qualche caso, questa pressione esterna può spingere tanto oltre la reciproca penetrazione delle molecole, che gli atomi non possono più stare uniti tra di loro. Si formano spesso in questa maniera, con violente esplosioni, nuovi aggruppamenti di atomi, in molecole di altra natura.

Tali esplosioni non possono per altro accadere se, mediante un raffreddamento, le traiettorie degli atomi vengono limitate; ossia se tutto il corpo viene condensato, come per la pressione esterna, perchè con il raffreddamento, rimpicciolendosi le traiettorie, gli atomi non possono raggiungersi dall'una all'altra molecola per raggrupparsi diversamente. Al contrario, un innalzamento della temperatura può produrre una variazione chimica, perchè con esso le traiettorie vengono ingrandite mentre la distanza tra molecola e molecola non diventa così grande da lasciare lo spazio libero corrispondente. Allora gli atomi penetrano nelle molecole contigue e si cambia l'edificio molecolare. Con riscaldamenti lenti si possono perciò evitare i fenomeni esplosivi. Certamente gli atomi, che per l'innalzamento di temperatura o di pressione si liberano in una determinata regione, fan crescere la temperatura, perchè pongono in libertà la loro energia vincolata, ossia, secondo la nostra nomenclatura, la

forza del movimento interno si trasforma in energia libera e movimento rettilineo; cosicchè lo sfacelo del sistema si diffonde rapidamente intorno al centro di riscaldamento; è evidente che questa azione dipende dalla costruzione speciale del sistema molecolare, cosicchè soltanto poche sostanze sono esplosive. Noi abbiamo veduto come artificialmente si possono costruire tali sostanze esplosive.

Anche con altre sostanze si può osservare un comportamento somigliante; ma la decomposizione avviene assai più lentamente, perchè il legame degli atomi, nelle molecole, è assai più intimo. Ma per ogni sostanza vi ha un limite della temperatura, oltre al quale essa cessa di essere stabile e si decompone; la temperatura di dissociazione.

Se noi facciamo continuamente diminuire la temperatura, le traiettorie degli atomi si accostano sempre più al centro di gravità, e contemporaneamente le molecole si accostano sempre più tra di loro. Allo zero assoluto, si ha una quiete assoluta. Tutta l'energia degli atomi primordiali, con i quali, secondo il nostro modo di vedere, è composta la materia, cessa, all'infuori di quella del movimento comune di tutto il sistema.

In tali masse allo zero assoluto gli atomi primordiali non esercitano altra azione che quella della gravità, che trascina la massa come un tutto nella corrente eterea. Poichè, per altro, gli atomi primordiali non possono più penetrare tra le maglie degli atomi troppo addensati gli uni agli altri, così essi non possono più dar luogo a va-

riazioni della temperatura o alla formazione di nuovi sistemi molecolari. Ogni azione calorifica, luminosa, elettrica, chimica, cessa nelle sostanze così raffreddate. Esse formano un tutto indivisibile, un nuovo atomo, che potrà essere polverizzato sotto circostanze catastrofiche, solo da una massa assai più grande della sua propria.

Noi ci possiamo dunque figurare gli atomi chimici indivisibili, come la riunione di atomi più piccoli, passati attraverso lo zero assoluto della temperatura.

È noto che con i metodi moderni della tecnica si è riusciti a produrre delle temperature che sono lontane soltanto di pochi gradi dallo zero assoluto. E s'intende, che ogni progresso in questa realizzazione di basse temperature porta con sé difficoltà sempre più grandi, e vi ha poca speranza che si possa effettivamente raggiungere lo zero assoluto. Oltre a ciò, è sempre più probabile che il valore di 273° sotto lo zero centrigado non corrisponda esattamente alla temperatura dello zero assoluto. Noi potremo avvicinarci a questo zero assoluto in maniera asintotica, senza raggiungerlo mai. Ma nel campo del palpabile, resta la approssimazione, cosicchè noi possiamo stabilire la legge di Gay-Lussac.

Se noi potessimo ottenere lo zero assoluto, osserveremmo fenomeni meravigliosi. Un pezzo di vetro a questa temperatura, diverrebbe e rimarrebbe opaco e durissimo; esso non potrebbe acquistare, nè cedere calore, non sarebbe quindi per noi nè freddo, nè caldo. Anche sottoposto alle temperature più elevate esso non potrebbe fondere, nè si potrebbe fargli assumere uno stato elet-

trico positivo o negativo. Esso sarebbe del tutto inerte chimicamente e fisicamente, esclusa la sua pesantezza, che rimarrebbe invariata, solo essa, anche allo zero assoluto.

Nella cerchia del nostro sistema solare, o nell'universo, lo zero assoluto può essere forse raggiunto, solo in piccolissime regioni e sotto specialissime circostanze, ma forse non assolutamente in alcun punto. I raggi di luce, che attraversano tutto lo spazio, mostrano che la materia attorno a noi è continuamente agitata. Come noi abbiamo veduto, in condizioni particolari, due atomi primordiali possono urtarsi, in maniera da rimanere uniti e da far cessare il loro reciproco movimento progressivo; a questa maniera siamo a poco a poco arrivati agli atomi chimici.

Ma abbiamo già detto, che questi urti centrali devono avvenire ben raramente e che, in secondo luogo, una ricostruzione del mondo, per mezzo di una simile sostanza primordiale, deve essere solo un'astrazione, utile per poter penetrare nel regno delle cose da noi conosciute. Ma in realtà, noi supponiamo che la materia e l'energia non siano mai state distribuite in maniera uniforme.

Via via, che mediante l'evoluzione della materia, la corrente degli atomi primordiali fu diretta in una speciale direzione, si esaltarono le sue azioni in un campo determinato; esse diedero origine a mondi e ne distrussero, o, per meglio dire, li lasciarono in riposo, finchè una nuova corrente non li condusse a nuova vita. La materia che costituisce ora il nostro mondo riposò un tempo.

Come noi, nelle lontane nebulose, vediamo immense masse di vapore riempire lo spazio, senza possedere alcun movimento apparente, lontano da grossi centri che irradiano calore, così anche le materie che noi ora tocchiamo, un tempo erano in riposo. L'energia di movimento diminuisce cogli urti continui che avvengono nell'interno, ciò che equivale ad un abbassamento della temperatura: dappertutto si formano dei centri materiali di densità massima, che raggiungono, in via approssimata, lo zero assoluto.

Se la materia fosse stata fin dal principio distribuita in maniera uniforme, allora anche quelle masse di materia aventi la massima densità, avrebbero dovuto essere indefinitamente estese, poichè sarebbero sorte in identiche circostanze.

Così, nelle nebulose vi sono pochissimi elementi: l'Idrogeno, il quale si può dire che si trova dappertutto, l'azoto, e un elemento ancora sconosciuto, forse l'elemento primordiale dal quale sorsero gli atomi degli elementi chimici a noi noti: ma se in quel mondo abbandonato a sè, fossero state preformate delle molecole complesse, nelle quali gli atomi si movessero nel modo già descritto, allora nel passaggio attraverso allo zero assoluto, dalle molecole primitive si sarebbero formati dei nuovi atomi più complessi: e la teoria della formazione degli elementi chimici complessi, sarebbe da cercare più che nel passaggio attraverso allo zero assoluto, nell'aumento dell'energia di vibrazione degli atomi primordiali, per il passaggio delle nebulose attraverso a regioni di

temperatura più elevata.

Ma anche senza temperature elevate gli atomi più grandi possono riunirsi in molecole e formare sistemi di un ordine più complesso: infatti, l'attrazione non cessa di agire allo zero assoluto. Per questi movimenti lenti di grandi masse, si ha necessariamente uno zero assoluto diverso: infatti, sul movimento dei corpi celesti, un abbassamento della temperatura non può avere in principio nessuna influenza.

Ma anche questi movimenti devono una buona volta cessare. I pianeti andranno sempre più accostandosi al sole ed infine cadranno su di esso. Allora sarà anche per tutto questo complesso materiale raggiunto lo zero assoluto, fintantochè esso non venga a contatto con un sistema più grande, con il quale esso possa formare una nuova molecola più complessa. Da una molecola mondiale che chiamiamo sistema solare, si è originato un atomo, e dentro di esso si ha calma completa. Gli atomi si originano quindi non solo con gli urti degli atomi primordiali, ma sorgono ad ogni tratto dallo sviluppo della materia in grandezze sempre crescenti.

Accanto alle azioni fisiche e chimiche della materia che noi abbiamo finora considerato, ha una posizione a parte la elettricità, la cui azione si rivela a noi in determinate circostanze e che è tanto generale quanto il calore. Noi abbiamo già visto che l'elettricità si può interpretare come una rotazione dei piccoli elementi della materia.

Un tale movimento di rotazione acquista ogni atomo

primordiale, che urti lateralmente con un altro. Poichè, per altro, ogni molecola deve considerarsi fino ad un certo punto come un corpo solido, così anche il movimento che dentro di essa compiono gli atomi in orbite chiuse deve corrispondere ad una rotazione della molecola; ed anche questo può dar luogo a delle azioni elettriche. Ciò corrisponde, come noi abbiamo visto nel capitolo delle azioni elettriche, ad un ordinamento sistematico delle direzioni, che in un corpo diselettizzato, sono distribuite in tutti i versi. Un'energica azione meccanica (sfregamento) può, in certi casi, dar luogo ad una tale orientazione delle rotazioni.

Certe sostanze sono disposte, per la loro struttura, a favorire le rotazioni in un certo senso, e si possono perciò elettrizzare in un determinato senso, mentre l'altra sostanza che confrica la prima, assume una rotazione in senso contrario. Così si separano i due stati elettrici. A seconda della loro natura certe sostanze hanno tendenza a diventare o negative o positive; ma questa non è una proprietà assoluta. Si hanno sostanze che diventano tanto positive che negative, a seconda che si confricano con l'una o l'altra sostanza. Con l'elettricità noi abbiamo azioni di polarità. In alcune sostanze non conduttrici, come il vetro, assumono una rotazione soltanto le parti confricate. Ma queste rotazioni elettriche si trasmettono per altro agli atomi primordiali dell'etere, che le trasportano lontano con essi, con la velocità loro propria di 300.000 Km. al secondo. Le sostanze che, come il vetro, si elettrizzano solo superficialmente (elettricità statica)

permettono alle azioni elettriche di trasmettersi all'etere tra le maglie del loro edificio molecolare; essi sono dielettrici. Per le onde elettriche sono dunque queste maglie sufficientemente ampie. Al contrario, altre sostanze, i conduttori elettrici, sono così costruite che possono immediatamente trasmettere le azioni elettriche alle loro molecole contigue. Tutto il corpo interno diventa elettrico. Perciò questi buoni conduttori devono avere una struttura più densa dei non conduttori, e anche per questo essi non possono lasciar passare tra le loro maglie molecolari le azioni elettriche per mezzo dell'etere. Essi conducono bene l'elettricità, ma non sono trasparenti per essa. In essi i fenomeni avvengono precisamente in senso inverso che nei dielettrici. Noi sappiamo che tra questi corpi conduttori dobbiamo, in primo luogo, contare i metalli che sono opachi alle radiazioni luminose. La superficie dei conduttori trasmette le oscillazioni elettriche all'isolante entro cui sono immersi, per esempio, all'aria, o meglio agli atomi primordiali che ronzano attorno ad essi, e si hanno dei vortici eterei, il cui asse coincide con quello del corpo conduttore, come abbiamo già veduto con la limatura di ferro. A seconda della resistenza, che le onde incontrano nella propagazione, nel dielettrico che circonda il corpo conduttore, si misura la loro velocità che non dipende punto, come dimostrò Hertz, dalle proprietà del corpo conduttore stesso. La velocità di propagazione nello spazio vuoto è uguale a quella della luce, e nello spazio pieno di materia è più piccola. Questi vortici eterei sono le cause delle

attrazioni e repulsioni, per mezzo delle quali noi riconosciamo subito la presenza di masse elettriche.

La struttura speciale, non ancora ben rivelata, dei metalli, produce anche la scissione dell'elettricità, nel contatto con i cosiddetti elettroliti, nelle pile.

Ogni avvicinamento di due molecole diverse ha tendenza ad ordinare le rotazioni delle molecole in sensi determinati, e quindi a separare, fino ad un certo grado, le due specie di elettricità. Ma solo sotto speciali condizioni ciò può riuscire manifestamente, perchè le due specie di elettricità tendono sempre, con grande rapidità, a riunirsi appena cessi la causa che le teneva separate. Il contatto dei metalli con gli elettroliti è appropriato particolarmente a separare le elettricità di specie diverse, e le particolari disposizioni delle pile favoriscono questa tendenza. In queste disposizioni si hanno sempre trasformazioni chimiche. Nelle dense maglie della costituzione metallica gli atomi si ordinano nelle molecole, e causano con ciò, dalle due parti, i movimenti in senso contrario delle nuove molecole, che portano il nome di *ioni*.

Inversamente, una rotazione prodotta in due sensi opposti da una corrente galvanica agli elettrodi, può agire sulle molecole in tale maniera da raggruppare, in senso contrario, gli atomi in nuove molecole e scinderli (decomposizione elettrolitica). Che le azioni elettriche non avvengano soltanto nelle pile per mezzo di processi chimici, ma ancora per ogni movimento vorticoso prodotto negli atomi primordiali dell'etere da una causa qualsiasi,

si vede dai fenomeni elettromagnetici. Noi vediamo, in maniera evidente, che in un magnete sono attive delle forze che tendono a trascinare nell'interno, secondo la direzione dell'asse, gli altri corpi magnetici, come se effettivamente questo fosse l'asse di un ciclone.

Noi possiamo perciò spiegarci i fenomeni magnetici come prodotti da un movimento molecolare nel quale due particelle, messe da parti opposte dell'asse, rotano in senso contrario, come ruote contigue di un ingranaggio.

In un magnete le due elettricità sono, in un certo modo, separate nel medesimo corpo, e una tale straordinaria disposizione deve dar luogo a notevoli tensioni, che nei magneti furono anche osservate, e ciò dovette prodursi per azioni violente.

Come già dicemmo, le calamite naturali sono state prodotte probabilmente da scariche fulminee, le quali possono bene avere avuto la potenza di mettere le molecole in opposti movimenti vorticosi.

Nelle macchine elettromagnetiche, con mezzi meccanici, si arriva a ingrandire quasi a volontà i piccolissimi vortici magnetici, e a generare con essi la corrente elettrica nei conduttori, la quale vien così prodotta per via esclusivamente meccanica, senza alcun fenomeno molecolare. La causa e il mezzo sono qui nel mondo sensibile; il mondo molecolare è solo intermediario.

2. – Il mondo sensibile.

Quel nascosto mondo degli atomi, nel quale ci siamo fin qui aggirati, si svela a noi soltanto per la sua azione su corpi materiali di dimensioni accessibili ai nostri sensi. Tutte le leggi a noi conosciute, come la teoria cinetica dei gas, i fenomeni analoghi della pressione osmotica dei liquidi, dell'elasticità, e molte altre proprietà dei corpi solidi, generano in noi la ferma convinzione che la materia sia composta di piccolissime particelle, aggregate fra loro in vari modi, e che nel loro insieme producono le proprietà visibili e chiaramente accessibili, quali impariamo a conoscere nella vita comune e nei laboratori scientifici. Se gli oggetti comuni ci sembrano al tatto come una massa materiale unica, invece che suddivisa in un numero infinito di particelle, ciò dipende dalla grossolanità dei nostri sensi; così l'impressione del tatto, che è generata dalle vibrazioni di innumerevoli atomi nelle loro molecole, ci risulta nel suo insieme come quella di un corpo unico, sfuggendo a noi i movimenti dei sistemi secondari.

Esaminando le leggi che regolano i fenomeni a noi accessibili, possiamo, per altro, facilmente accorgerci che, fino ad un certo grado, *le leggi che regolano i grandi sistemi sono le stesse che abbiamo scoperto per il mondo molecolare*. Per esempio, possiamo considerare una pietra come un tutto indivisibile, da paragonarsi a un atomo, per ricercare quale sarebbe il suo movimento vibratorio, facendo astrazione dalla gravità, se una se-

conda pietra venisse ad urtare la prima senza spezzarla. Dal rapporto dei movimenti che ne seguirebbero possiamo dedurre quel che avviene nel caso degli atomi, realmente indivisibili; in questa guisa possiamo sviluppare una *meccanica dei corpi rigidi e dei fluidi*. Si possono anche dedurre le leggi fondamentali della meccanica, per via puramente matematica, basandosi sulle leggi della gravità e della impenetrabilità della materia. E così, dato che due corpi si muovano con egual velocità, in direzioni tali che ad un certo punto si incontrino, possiamo, conoscendo la forma dei corpi e le leggi dei movimenti, presupporre quale sarà il moto dei detti corpi dopo l'urto. Tutte le leggi della meccanica, del parallelogrammo delle forze, del centro di gravità, dell'equilibrio, della leva, ecc., non sono che pure logiche conseguenze della legge di inerzia; e questi sono assiomi meccanici immutabili, che dovranno sempre verificarsi, qualunque siano le altre proprietà della materia che veniamo a conoscere.

Vero è, che solo l'esperienza del mondo accessibile ci ha mostrato, in esempi innumerevoli, che questa legge di inerzia ha valore incondizionato, poichè tutti i fenomeni fisici osservati la confermano. Ora, tutte le teorie della meccanica semplice, evidenti alla nostra osservazione, sono di capitale importanza per lo studio del mondo degli atomi a noi invisibile. Nè è da tenersi arbitraria l'ipotesi, che nel mondo degli atomi si verifichino fenomeni, dipendenti da queste leggi fisiche a noi ben note.

Al contrario, possiamo affermare che le leggi da noi conosciute con lo studio del mondo visibile, debbono aver il loro valore assoluto, soltanto in quell'invisibile mondo degli atomi, poichè in quello soltanto possono aversi movimenti non disturbati da irregolarità, essendo veramente i corpi che si muovono indivisibili. Perciò le pure leggi matematiche della meccanica, avendo un adempimento soltanto relativo nel mondo accessibile, debbono subire una serie di correzioni varianti continuamente, secondo le diverse circostanze.

Infatti, ad esempio, le leggi dell'urto dei corpi solidi sono soggette a variazioni secondo la maggiore o minore elasticità dei corpi, mentre sarebbero sempre eguali se tutti i corpi fossero affatto rigidi; per effetto dell'urto, le molecole più vicine al punto di contatto vengono momentaneamente ad ammassarsi, per riprendere però subito dopo la loro posizione, respingendo con spinta eguale e contraria il corpo urtante. Se poi i movimenti molecolari, dopo l'urto, non possono riprendere subito la loro primitiva estensione, si ha allora produzione di calore, come avviene nella maggior parte dei casi.

Riferendoci alla nostra sensibilità, noi chiamiamo i corpi freddi o caldi, secondo che le vibrazioni termiche sono maggiori o minori di quelle delle estremità dei nostri nervi tattili, cioè, secondo che questi nervi acquistano nel contatto, movimento vibratorio più ampio o invece più limitato, cedendo, in questo ultimo caso, una parte della loro energia termica al corpo di contatto. Ma l'infinita quantità di urti che in ogni frazione di secondo

colpiscono l'estremità di un nostro dito, il quale tocchi un corpo, si riuniscono, per la nostra sensazione, in un'impressione uniforme di calore: abbiamo già veduto quanto si siano dovuti raffinare i nostri metodi di osservazione, per poterci render conto dei fenomeni della temperatura e delle radiazioni luminose. Così, i bilioni di vibrazioni che l'etere compie in ogni secondo producono in noi un'impressione uniforme luminosa, dalla quale però, come dall'impressione del calore, impariamo sempre qualche cosa sulla rapidità delle vibrazioni. Infine, anche nelle sensazioni del suono riscontriamo gli stessi rapporti, fra le note e il numero delle vibrazioni, come fra i colori e le vibrazioni luminose; per il suono però, la velocità delle vibrazioni essendo relativamente moderata, si può facilmente riconoscere e misurare direttamente il rapporto fra un suono e l'altro.

I nostri sensi, insieme con la nostra intelligenza, si trovano in una situazione simile a quella di un generale che possa scorgere solo i movimenti di grandi reparti di truppe, senza distinguerne i più piccoli, e che pure è in grado di orientarsi sull'andamento della battaglia e dare le opportune disposizioni.

L'intelligenza umana è dunque capace di riassumere, in una forma circoscritta e accessibile ai sensi dell'uomo, anche quella parte dei fenomeni naturali e cosmici che sfugge all'osservazione diretta.

Cerchiamo ora di seguire lo svolgimento dei processi naturali, per lo meno nelle loro grandi linee, poichè non ci è dato penetrare nel turbinoso movimento degli ato-

mi. Se osserviamo l'attività della natura intorno a noi, riconosciamo subito una generale tendenza a maggiori organizzazioni, a sistemi di ordine sempre superiore. Il raffreddamento della terra, senza dubbio avvenuto nelle sue origini, ha reso possibili gli aggruppamenti della materia in corpi sempre più complessi, le proprietà dei quali divennero quindi sempre più complicate e acquistarono maggior valore per l'ulteriore sviluppo della nostra natura. Il calore è, dentro certi limiti, una condizione certamente necessaria per l'esistenza di esseri superiori; pure non vi è dubbio che l'abbassarsi della temperatura è un potente mezzo di formazione di corpi naturali; alle alte temperature, la materia rimane allo stato gassoso e gli atomi degli elementi chimici si mischiano fra loro con grande facilità, senza però che i diversi elementi si uniscano in composti. Col diminuire della temperatura si avvicinano e si legano gli atomi eterogenei per formare composti, dapprima molto semplici, poi costituiti da molecole più complesse; ma tra molecola e molecola non vi è ancora connessione, poichè i corpi gassosi non possono dar luogo a organizzazioni; non si possono avere cristalli gassosi, nè tanto meno organismi, così nella terra come in qualunque altro mondo dell'universo. Gli organismi utilizzano i gas e ne hanno assolutamente bisogno per le funzioni della loro esistenza, ma debbono prima, nei meravigliosi laboratori del loro corpo, trasformarli in corpi liquidi o solidi.

Avvicinandosi ancora le molecole, col progressivo abbassamento della temperatura, abbiamo composti di

ordine superiore, e si formano i liquidi, nei quali è il vero campo d'azione delle combinazioni chimiche e fisiche. Collochiamo fra i liquidi anche lo stato gelatinoso della materia, al quale dobbiamo lo sviluppo delle elevate organizzazioni naturali di cui attualmente l'uomo è il più alto rappresentante. I liquidi possono compiere la loro trasformazione nei complicati vasi ed organi mediante i quali avviene il ricambio organico; e negli organismi stessi si formano anche sostanze solide di struttura inorganica, come le ossa, la membrana cellulare, i sali, ecc. È stato dimostrato, che nei veri e propri liquidi, solo pochissime molecole possono aggrupparsi in sistemi superiori; per esempio, nell'acqua si crede che le molecole possano riunirsi quattro a quattro. Ma i diversi gruppi non hanno quasi affatto aderenza fra loro, e scorrono quindi liberamente gli uni su gli altri, per effetto della forza di gravità o di qualunque altra forza. Questo stato intermedio gelatinoso, che possiamo concepire come un tessuto cristallino di dimensioni molecolari e con liquido interposto, può formare la base materiale della attività degli esseri viventi.

Vediamo così, che anche gli infimi gradi di questi esseri viventi, i microrganismi, constano di una sostanza gelatinosa, il *protoplasma*, di cui è costituito l'unico loro organo, per il ricambio organico necessario alla vita; per mezzo di questo, essi assorbono le sostanze nutritive e l'acqua, che penetra nella massa per capillarità, rigettando poi i resti indigeribili, insieme alle particelle di questa stessa massa che si dissocia. Ma in queste assi-

milazioni e disassimilazioni, avvengono processi chimici che non potranno mai essere ripetuti nei nostri laboratori, necessitando di vasi di dimensioni molecolari, possibili in quella struttura colloidale del protoplasma vivente. È facile capire come tali processi, benchè avvengano nelle sostanze più semplicemente organizzate, siano tutt'ora avvolti nel mistero, considerando quanto infinitamente complessi siano i sistemi molecolari che costituiscono quel tessuto protoplasmatico.

Il protoplasma è composto essenzialmente di albumina, ma chimicamente ha certo una composizione più complicata. La formula chimica dell'albumina consta di oltre cento nuclei, i quali sono aggregati così artificiosamente, che ancora non se n'è potuta determinare la struttura; ma non vi è dubbio tuttavia che quasi tutti i composti organici si potrebbero facilmente ottenere dall'albumina con lo spostamento o colla riduzione di qualche suo membro. Abbiamo dunque qui un sistema di centinaia di sistemi planetari molecolari, produttore di azioni meccaniche e di fenomeni ancora a noi inspiegati, nei quale sono presenti solo cinque diversi corpi, cioè i quattro elementi organogenici e lo zolfo.

Nelle ricerche sulle sostanze colloidali abbiamo imparato che circa 14000 atomi si riuniscono di nuovo a formare un tutto che consideriamo come la molecola colloidale; le molecole colloidali si riuniscono ancora in un tessuto cristallino, pur sempre invisibile al microscopio, nelle cui maglie avvengono quei fenomeni chimici che noi cerchiamo di spiegare per mezzo degli effetti

meccanici di questi sistemi atomici sulle sostanze estranee introdotte fra essi. Gli ultimi misteri della natura si nascondono a noi nell'infinitamente piccolo, mentre tanto più facile ci è stato penetrare le leggi della meccanica celeste, che regolano i movimenti degli immensi astri.

Sembra che questa complicata sostanza albuminosa debba essere esistita prima che si sia potuta stabilire una disposizione della materia in forme viventi, essendosi poi trasformata in corpi organizzati superiori. Questa materia originaria di tutto il mondo vivente, il protoplasma, è tuttavia il composto chimico più complesso che si conosca. Si dovrebbe dunque ammettere, che in questo caso la natura abbia seguito un cammino diverso che in tutti gli altri processi di sviluppo, poichè in generale si sale dai sistemi più semplici ai più complicati: qui invece la sostanza fondamentale sarebbe più complessa di qualsiasi dei suoi derivati diretti.

Tuttavia i prodotti di riduzione dell'albumina dovettero essere così perfettamente elaborati e disposti, che da quel protoplasma inorganico potè infine, coll'evoluzione terrestre, uscir fuori quella meravigliosa creazione che è il corpo umano.

Abbiamo qui toccato il problema del principio della vita sulla terra, o in generale nell'Universo. Vi sono a questo proposito i *monisti*, i quali credono che tutti i fenomeni vitali saranno un giorno spiegati per via puramente fisica e meccanica. Certamente, non sarebbe in contraddizione assoluta con le cognizioni acquistate sul-

la natura inorganica, la teoria, che le molecole si siano progressivamente aggruppate in forma ognor più complicata, solo per effetto dell'ordinaria affinità chimica che ha dato origine a tutti gli altri composti. Nè siamo oggi molto lontani dalla possibilità di ottenere in laboratorio quell'albumina, che certo si è potuta nel lontano passato formare spontaneamente, e anche oggi si forma fuori di corpi viventi. Se quella speciale struttura colloidale dell'albumina deve realmente considerarsi come una specie di cristallizzazione, anche quella tendenza del protoplasma alle forme superiori e la sua facoltà di estendersi in ramificazioni a scopo nutritivo, e altri movimenti che si sono attribuiti all'energia vitale, possono ancora spiegarsi bene meccanicamente. Anche i fiori di ghiaccio si formano arrampicandosi sui vetri delle finestre, e si vede spesso come il processo di cristallizzazione sia influenzato e diretto da corpi estranei. Anche in casi molto più complicati, potremmo render comprensibili fisicamente i fenomeni fisiologici in corpi vegetali e animali, ed è pur possibile che l'intero meccanismo delle macchine fisiologiche, fino anche le percezioni dei sensi e la meccanica del pensiero, siano un giorno completamente spiegati.

Ma a questo proposito, noi manifestiamo la nostra opinione personale, senza star qui a difenderla, che il pensiero e la coscienza umana non abbiano origine meccanica e che non si possano in ultima analisi, spiegare meccanicamente. Il corpo è solo, diciamo così, il recipiente che racchiude la coscienza, la quale deve in certo

modo adattarsi ad assumerne la forma materiale per manifestarsi; così noi possiamo valerci del meccanismo della macchina fisiologica. Come questa coscienza possa legarsi alla materia e essere da questa contenuta, è problema che l'intelligenza umana non potrà forse mai risolvere, certo non adesso. Altra cosa è invece dei processi puramente fisiologici, dei quali ci è possibile dar qui almeno un rapido cenno, poichè in questi ci appaiono le più alte manifestazioni della materia.

Passiamo sopra alla questione del come siasi formato il primo protoplasma. Sappiamo però dalle ricerche sulle origini della Terra che le macchine fisiologiche sono giunte all'attuale perfezione partendo da forme semplicissime. Gli organi si aggiunsero agli organi, nel corso delle epoche terrestri, permettendo funzioni sempre più elevate, fino ad arrivare alla mirabile complessità del nostro sistema nervoso e delle cellule del nostro cervello, dove si elabora il pensiero. Non ci è dato qui di accennare neppure fugacemente al vastissimo tema; la nostra più estesa «*Naturkunde*» (Trattato della Natura) della quale fa parte il presente libro, lo tratta nella sua generalità.

Due grandi categorie di esseri viventi, affatto diverse nelle loro funzioni fisiologiche, si formarono fin dal principio della vita terrestre, *le piante* e *gli animali*, nè è praticamente facile il dimostrare quale delle due categorie sia apparsa prima. Certo non si è svolta una d'esse dall'altra, ma entrambe da esseri *proteici* già esistenti, tra i quali anche oggi dobbiamo annoverare quelle mas-

se protoplasmatiche che tuttora troviamo.

La differenza sostanziale fra piante e animali, è che le prime, tutte senza eccezione, sono macchine fisiologiche *riducenti*, cioè che cedono ossigeno, mentre tutti gli animali sono macchine *ossidanti*, cioè che assimilano ossigeno. Entrambe queste reazioni chimiche avvengono in diverse condizioni nell'albumina, e il protoplasma può agire da riducente e da ossidante secondo che l'albumina compie l'una o l'altra funzione. Nelle piante si trova quantità minore di albumina che negli animali, e la costituzione loro è assai più semplice che in questi ultimi, i quali utilizzano appunto le molecole formatesi nelle piante, come materia prima per le costruzioni e lo sviluppo del loro corpo. Gli animali non assimilano direttamente dalla natura inorganica una sola molecola, e perciò hanno assoluto bisogno delle piante per vivere e crescere.

Invece, le piante possono esistere benissimo senza animali. Basta ad esse avere sufficiente quantità di anidride carbonica nell'aria che le circonda, e trovarsi nelle necessarie condizioni fisiche, cioè in presenza di luce e calore, per crescere e svilupparsi rigogliosamente, anche se nessun animale sia a godere l'ombra del loro verde mantello di foglie.

Così vediamo che anche nelle antichissime epoche geologiche, sulle prime terre dove fu possibile la vita delle piante, il mondo vegetale si sviluppò presto in una tale magnificenza di forme, che oggi non possiamo neppure immaginare; mentre il mondo animale delle stesse

epoche era rappresentato da piccole e poche forme, per lo più insetti viventi sulle piante stesse. Mediante il misterioso lavoro chimico della clorofilla, si iniziò un potente processo di purificazione dell'atmosfera, il quale fornì il necessario ossigeno agli animali in via di sviluppo, e accumulò l'altro componente della anidride carbonica negli immensi giacimenti di carbon fossile e di lignite, depositi giganteschi di energia, oggi preziosi per noi (fig. 439).

Oggi il mondo animale si è avvantaggiato su quello vegetale, poichè la primitiva provvista di anidride carbonica fu a poco a poco assorbita dalla rigogliosa vegetazione delle piante, e l'aria divenne sempre più ricca di ossigeno, permettendo un maggiore sviluppo agli animali. Dopo un breve periodo d'intervallo e di generale impoverimento, il periodo *permiano*, si ebbero i giganteschi sauriani dell'epoca giurassica, i quali colla loro respirazione fornirono l'anidride carbonica necessaria alle piante. Il rapporto fra mondo vegetale e mondo animale è stato d'allora in poi regolato, in modo che nè la quantità dell'ossigeno nè quella dell'anidride carbonica nell'aria, hanno subito notevoli oscillazioni. L'ossigeno dell'aria però viene consumato anche nei processi chimici della natura inorganica; dappertutto ci si presentano fenomeni di ossidazione, mentre soltanto le piante possiedono il misterioso potere di rendere nuovamente combustibili sostanze già bruciate.

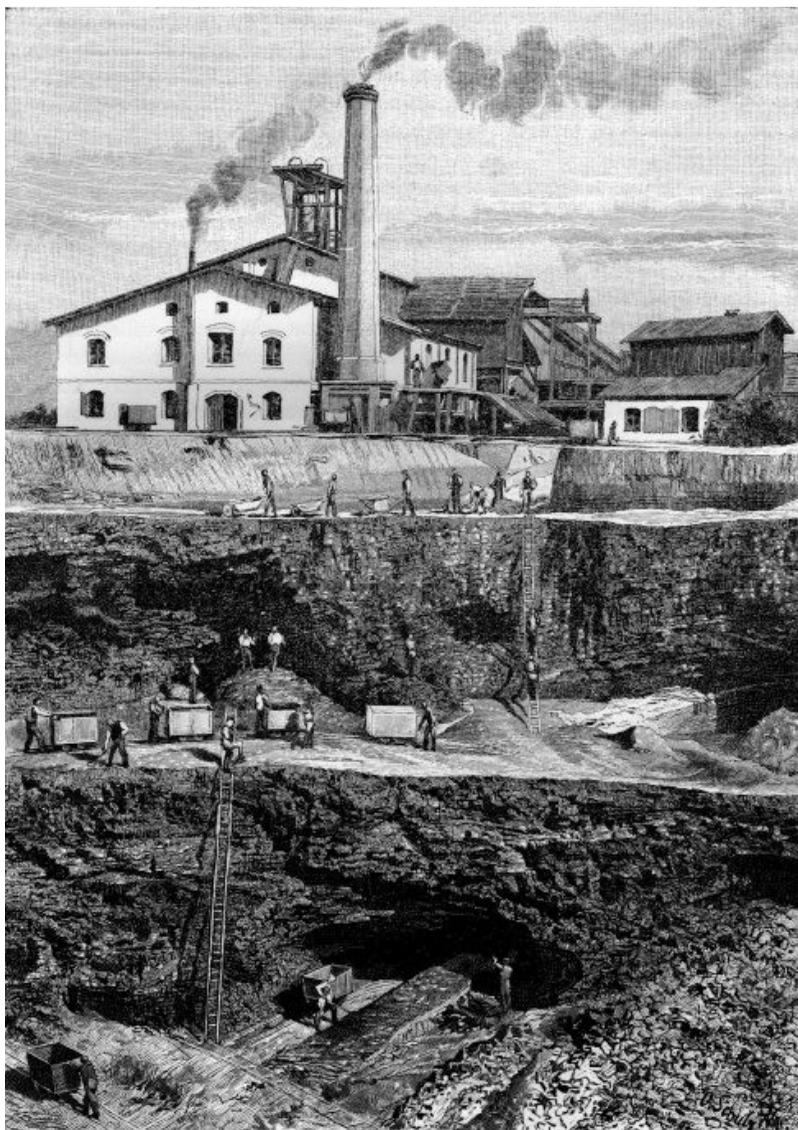


Fig. 439. – Miniera di carbone fossile presso Dax.

L'essenza di questo continuo ricambio organico delle piante e degli animali è, in tutte le gradazioni di sviluppo delle due classi, la stessa; col crescere dell'attività degli esseri viventi si accrescono e si complicano e si perfezionano solamente gli organi; ma anche nelle più complesse forme di vita, i fenomeni fisiologici sono regolati dalle medesime leggi.

Volgiamoci prima alle piante, osservando, che negli infimi gradi di queste, spesso non ci è ancora possibile distinguere se appartengono alla classe vegetale o a quella animale. Chiamiamo dunque pianta un organismo che nasce sulla terra mettendovi le radici, e innalza i suoi rami nell'aria e alla luce; ci accorgiamo subito che essa, dalle radici fino alla più alta vetta, è composta di un sistema di canali, che in alto e in basso si ramificano in finissimi tubi capillari, i quali alla loro volta sono suddivisi da tante sezioni trasversali, cosicchè in complesso la loro struttura risulta da una serie di cellule, collegate fra loro. Tutte le pareti di questi canali e cellule constano di una sostanza insolubile nell'acqua, la *cellulosa*, la quale ha la stessa formula dell'amido. $C_6H_{10}O_5$, ma l'aggruppamento molecolare di questo tessuto fibroso insolubile è diverso. Gli interstizi di questo tessuto permettono il passaggio di soluzioni liquide, coll'aiuto della pressione osmotica, ma non quello di molecole di una certa grandezza. Così le radici delle piante, con un fenomeno puramente fisico, assorbono le soluzioni nutritive dal terreno, con qualche differenza da pianta a pianta, secondo i diversi tessuti di

queste radici. Ogni pianta, infatti, cerca nel terreno solamente la nutrizione necessaria al suo sviluppo; se questa manca nel terreno circostante, la pianta non vi può crescere, mentre forse un'altra pianta diversa può, nel medesimo terreno, svilupparsi rigogliosamente. Le piante hanno quindi solo in piccolo grado la facoltà dell'adattamento. Si è tuttavia osservato che le piante, le quali abbisognano di potassio, quando siano sulle spiagge marine, dove abbonda invece il sodio in forma di sale, si adattano a questo, assorbendolo in scambio; il che, del resto, mostra ancora l'analogia di questi metalli in tutte le loro proprietà. Del resto, le piante hanno bisogno di piccolissime quantità di minerali. Una gran parte della materia delle piante, come degli animali, è acqua, la quale traversa tutti i tessuti cellulari come solvente. Questo contenuto acquoso oscilla naturalmente secondo le diverse parti delle piante: nei tessuti erbacei e molli si può avere anche il 90% d'acqua, mentre nel tessuto legnoso ne troviamo circa il 15%. La parte secca, in massima parte, è ancora composta da elementi organogenici specialmente di carbonio. Nella combustione completa, gli organogeni si eliminano allo stato gassoso, il carbonio unito all'ossigeno in anidride carbonica, l'idrogeno pure con ossigeno in vapore d'acqua, e la piccola quantità di azoto contenuta nelle piante si unisce pure all'ossigeno, formando anidride nitrosa-nitrica.

La cenere che rimane è una parte piccolissima in proporzione al volume della pianta vivente e rappresenta anche una piccola parte del peso, come ognuno può ve-

dere facilmente nel legno che arde. In questa cenere si trovano, secondo la specie delle diverse piante, i metalli leggeri, sodio, potassio, magnesio, calcio, raramente anche alluminio; dei metalli pesanti si riscontra solamente il ferro, ed in poche piante qualche traccia di manganese. Inoltre, in alcune piante si trovano anche piccole quantità di zolfo, fosforo e cloro, nelle alghe anche iodio e bromo, raramente fluoro, ed infine silicio. In conclusione, sono relativamente pochi gli elementi chimici che concorrono alla costruzione delle piante e in generale degli organismi.

La scelta che le diverse piante fanno fra le sostanze che hanno a loro disposizione nel terreno, avviene in modo speciale, che non si può spiegare coi soli fenomeni della pressione osmotica. Si tratta piuttosto di qualche cosa di simile al processo di cristallizzazione, poichè i corpi elementari già presenti nei semi, nei germi, nelle radici, attirano a sè altri elementi simili; come un cristallo attrae dalle più svariate soluzioni liquide, sempre e soltanto quelle molecole chimiche simili alle proprie, e con quelle s'ingrossa e cresce, proprio come le piante. Le diversissime specie di piante che crescono sul medesimo terreno assorbono, ciascuna sempre nelle medesime proporzioni, quale più quale meno delle sostanze nutritive loro necessarie. Il Kerner nella sua *Vita delle piante* cita l'esempio di quattro piante diverse viventi l'una accanto all'altra nel medesimo stagno; l'iris d'acqua, la ninfea, la putèra e la canna (fig. 440), il cui contenuto in potassio, sodio, calce e acido silicico è dato

dalle seguenti cifre:

	Iris	ninfea	putèra	canna
Potassio	30,82	14,4	0,2	8,6
Sodio	2,7	29,66	0,1	0,4
Calcio	10,7	18,9	54,8	5,9
Silice	1,8	0,5	0,3	71,5



Fig. 440. – Piante acquatiche che vivono in società.
a) iris d'acqua; b) ninfea; c) putèra; d) canna.

L'iris assorbe principalmente potassio, la ninfea sodio, la putèra quasi niente di questi due e invece molto calcio, la canna una quantità di acido silicico necessario alla formazione delle sue durissime pareti: le altre tre già nominate non consumano quasi affatto silicio, ma invece calcio. Sebbene dunque i diversi minerali si trovino in proporzioni svariatissime nel terreno e nell'ac-

qua ad esso commista, le piante sanno scegliere più o meno di dette sostanze; accade anzi, che proprio di una sostanza di cui si trovano appena tracce nel terreno, la pianta assorba maggiormente. La cenere della ninfea contiene, come si è detto di sopra, quasi un terzo di cloruro di sodio; eppure nell'acqua e nel limo che alimentano la ninfea, si trova soltanto da 0,01 a 0,03 per cento, di questo sale.

È noto che le alghe marine galleggianti nel cosiddetto «plankton», le diatomee, che per le loro proprietà fisiologiche vengono ascritte alle piante, dopo la loro morte cadendo a fondo, forniscono alimento agli animali delle profondità marine, che formano intorno a sè graziosissime corazze di anidride silicica, le quali, poi danno origine ai sedimenti di cui sono ricoperti i fondi di quasi tutti i nostri mari. Sono dunque enormi quantità di anidride silicica che vengono tolte da queste infime piante alle acque marine, le quali tuttavia ne contengono quantità appena percettibile. Le alghe dette fuchi o *varede*, del Mar del Nord, contengono considerevole quantità di iodio, sebbene la presenza di questo elemento non si sia mai potuta accertare nel suddetto mare.

Si sarebbe quasi portati a credere, che le piante possano compiere analisi, capaci di suddividere ancora gli elementi chimici, o di trasformare un elemento in un altro simile come, per esempio, il cloro nell'iodio, quattro volte più pesante. Ad ogni modo, i processi chimici, per quel che riguarda l'assimilazione delle sostanze nutritive, sono tuttora per la massima parte sconosciuti.

Le sostanze nutritive si trovano nel terreno sotto forma di sali ossigenati, come solfati, fosfati, carbonati, nitrati. In laboratorio è spesso difficile separare questi composti ossigenati, mentre le piante li elaborano perfettamente nei loro sottili vasi capillari. Se una pianta abbisogna di potassio o di qualunque altro elemento, è quasi indifferente lo stato di combinazione chimica in cui questo si trova nel terreno stesso, poichè la pianta scinde il composto appropriandosene la parte utile. La sola condizione necessaria è che tali sostanze nutritive siano solubili nell'acqua, poichè solamente in soluzione acquosa possono essere assorbite dalle piante.

La scissione di detti composti avviene nel corpo stesso della pianta, e in parte già nelle sottili ramificazioni delle radici: il succo nutritivo così preparato viene poi distribuito per mezzo della pressione osmotica nei più grossi canali, e portato verso le parti esterne, come le diramazioni dei piccoli vasi fogliari, dove, sotto l'influsso della luce, subisce ulteriori trasformazioni.

La parte che i minerali, così assorbiti, compiono nelle piante, è molto diversa. Il calcio e il silicio servono alla costruzione della parte solida o scheletro delle piante. Se sottoponiamo alla combustione, con molta cautela, delle erbe, specialmente *equiseti*, che formano il loro scheletro di anidride silicica, possiamo riuscire a ottenere questo scheletro intatto, come trovasi nella pianta vivente. Lo zolfo serve alla formazione dell'albumina, la quale del resto appare in piccolissima quantità nelle piante, per lo più nei semi. Altre sostanze, come potas-

sio, fosforo, ferro, non sembrano avere un compito speciale nella costruzione delle piante, ma piuttosto servire alla formazione di composti intermedi, destinati a trasformarsi in altri nuovi. Il potassio sembra concorrere alla formazione dell'amido, il ferro a quella della clorofilla, senza prender parte diretta a questi composti organici. Il fosforo serve inoltre come veicolo di altre sostanze, poichè i sali fosfatici sono per lo più solubili nell'acqua, e in tali combinazioni sono trasportati alle parti della pianta che ne abbisognano; là il fosforo si separa dalle altre sostanze che rimangono nella pianta, e vien quindi eliminato.

Ma tutte queste sostanze minerali sono di secondaria importanza nella vita delle piante, in rapporto ai quattro *organogeni*, carbonio, idrogeno, ossigeno, e azoto, i quali costituiscono il vero corpo delle piante. Noi distinguiamo tre gruppi principali di composti organici: gli idrati di carbonio (amido, cellulosa, zucchero), i grassi, e gli albuminoidi, ai quali appartiene anche la clorofilla.

Il componente essenziale è il corpo $C_6H_{10}O_5$, che si presenta in due forme, come amido e come cellulosa. L'amido si forma in modo non conosciuto, sotto l'influenza della luce e della clorofilla; essendo esso la vera sostanza nutritiva di tutti gli esseri animali, nella sua sintesi è basata la sorgente di vita di tutto il mondo organico. Come però questo amido, senza alcuna aggiunta o sottrazione di elementi, possa trasformarsi nella insolubile e indigeribile cellulosa, sostanza fondamentale del legno, ci è ancora sconosciuto. Se potessimo penetrare

questo misterioso processo per cui la natura forma il legno dall'amido, potremmo anche raggiungere il processo contrario e dal legno ricavare amido, farina e pane, e nutrirci così a buon mercato, disciogliendo la sostanza del legno nell'acqua come fanno le piante. I chimici volgono i loro sforzi alla risoluzione di questo grande problema per l'economia dell'umanità, e sembra non debba esser poi tanto lontano il giorno in cui vi riusciranno.

È certo già un fenomeno sorprendente, il vedere formarsi l'intero corpo vegetale da quella cellulosa che, come l'amido, consta di grani separati e indipendenti; non è però tale fenomeno più meraviglioso della formazione di tutti quei complicati sistemi molecolari che non arriviamo ancora, ma arriveremo certo a spiegare colle semplici leggi meccaniche. Lo sviluppo simmetrico del calice di un fiore non è più strano della formazione dei fiori di ghiaccio ai vetri della finestra. Tutte le cognizioni sulla fisiologia vegetale tendono a dimostrare che l'accrescimento delle piante e tutte le loro manifestazioni vitali, saranno veramente un giorno spiegate per pura via meccanica; già un'intera serie di fenomeni ci ha dischiuso il velo dei suoi misteri.

In alcune parti delle piante gli elementi organogeni danno origine a composti molto complessi, per i quali le piante acquistano i loro caratteri speciali, come il profumo dei loro fiori o dei loro succhi, il colore e sapore dei frutti. Abbiamo già conosciuto la composizione chimica di alcune di queste sostanze; e vedemmo come queste si formino tutte con la semplice aggiunta ovvero con lo

spostamento di gruppi atomici alla sostanza principale, mentre si libera dell'ossigeno, spesso ben visibilmente. Il succo delle frutta, che in quelle acerbe è acido, diviene colla loro maturazione sempre più zuccherino. Dagli acidi organici che prima si formano, come acido malico, tartarico, ecc., viene eliminato sempre più l'ossigeno; dalla sostituzione dei gruppi CH_2O (idrati di carbonio) ai membri COOH , caratteristici degli acidi organici, risultano da questi l'amido e lo zucchero. Nella formazione di quegli acidi le piante liberano più ossigeno di quel che ne occorra loro per questa acidificazione. Così, per esempio, l'acido ossalico risulta da due molecole di anidride carbonica 2CO_2 , e una di acqua H_2O , cioè 2C , 5O e 2H . La formula dell'acido ossalico è però $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$; avanza dunque un atomo di ossigeno, che questo procedimento organico deve aver separato o dall'anidride carbonica o dall'acqua. L'acido ossalico è il più acido di tutti i composti vegetali, e negli altri composti è ancora maggiore la quantità di ossigeno che si libera.

Tra tutte le funzioni vegetative, la respirazione libera maggior quantità di ossigeno, e di ciò abbiamo avuto occasione di parlare più volte. Tutte le parti delle piante respirano, anche quelle non in contatto diretto con l'aria, come le radici; ma il processo di respirazione è molto diverso nelle varie parti vegetali. Dall'aria, la poca anidride carbonica contenutavi viene assorbita, mentre i principali componenti dell'aria, azoto e ossigeno, rimangono; questa scelta è possibile solo alle piante, perchè esse non aspirano aria per mezzo di canali aperti, come

gli animali, ma da piccolissime aperture capillari che sono il loro mezzo esclusivo di assorbimento e di nutrizione. Sotto l'azione della clorofilla l'anidride carbonica vien scissa in carbonio, che si trasforma poi nei carboidrati, e in ossigeno libero, emesso dalle piante. In questa divisione dell'anidride carbonica, che è un processo di riduzione, si ha assorbimento di calore, il quale si può considerare come energia libera, che si trasforma in energia di tensione interna o potenziale. Nella respirazione, la pianta non guadagna dunque energia per la propria attività: per compensare questa mancanza occorre che novamente sia fissata una parte di ossigeno, con processo di ossidazione e conseguente sviluppo di calore. Quindi al processo di separazione dell'ossigeno si accompagna un fenomeno contrario di assorbimento e ossidazione. Specialmente quando cessa l'irradiazione solare, senza la quale la clorofilla non può esercitare la sua azione riducente, comincia ad accentuarsi l'assorbimento di ossigeno; di notte, le piante, proprio come gli animali, aspirano ossigeno e emettono anidride carbonica. Questa funzione è poi costante nelle radici, che utilizzano l'ossigeno contenuto nell'aria del terreno; e togliendo quest'aria, o sostituendola con altri gas, le piante si comportano come se si sottraesse alle parti esterne; come dimostra il deperimento e spesso la morte degli alberi nelle città, il cui terreno contiene spesso grandi quantità di gas illuminante.

Esaminando, inoltre, come avvenga l'assorbimento di sostanze inorganiche, da parte delle piante, il che rap-

presenta indubbiamente il fatto più importante nel corso di trasformazione della materia, si riconosce che ciò avviene generalmente con procedimenti uguali e mediante organi simili. Il sistema vascolare delle piante si ramifica all'estremità inferiore, come a quella superiore, in fasci di tubi capillari, dai quali le sostanze inorganiche disciolte nell'acqua o allo stato gassoso, sono assorbite e chimicamente trasformate. Pare, che in queste finissime maglie del tessuto cellulare abbia luogo una filtrazione, capace di riunire gli atomi già separati, in quei sistemi molecolari organici che possono formarsi solo nei microscopici vasi capillari, e non fuori di questi, per la libera azione delle forze chimiche. Soltanto in questi minimi spazi le *forze naturali varcano le soglie della vita*, e possono formare gli organismi meravigliosi, nei quali la materia diviene cosciente di se stessa, e arriva a poter rendersi conto di quello che avviene intorno, nell'infinito universo.

Ma per giungere a tale altezza dovettero innanzi essere edificate nuove costruzioni organiche; acciocchè le manifestazioni di sensibilità al piacere e al dolore, concesse fino ad un certo grado anche alle piante, arrivassero a vera e propria intelligenza, l'essere vivente dovette essere dotato di volontaria facoltà di movimento. Così venne posto in sua facoltà di aumentare certe sensazioni, di diminuire certe altre, e quindi allargare il suo orizzonte spirituale, affinando ognor più i sensi. Ma a questo movimento partecipano macchine di costruzione affatto diversa, anche astraendo dai mezzi puramente

meccanici del movimento stesso. Le macchine animali devono lavorare, sollevare dei pesi, mentre quelle vegetali assorbono e accumulano energia potenziale; le prime consumano materiale combustibile, le seconde lo producono.

Così potè stabilirsi un corso circolatorio di queste due specie di energia fra le due classi di esseri viventi; gli animali prendono tutto il materiale combustibile dalle piante, eccetto l'acqua e l'ossigeno, il quale è pure in parte fornito dalle piante. Nessun prodotto minerale può essere direttamente assimilato nel corpo animale. Il solo cloruro di sodio fa una certa eccezione, in quanto che esso, senza servire come vero e proprio alimento, ha parte efficace nella formazione dei succhi gastrici; tutti gli altri prodotti minerali sono indifferenti o spesso dannosi all'organismo animale. Le piante dunque compiono la prima trasformazione organica, nello sviluppo del mondo vivente, e preparano la materia inorganica perchè possa entrare a far parte dei più elevati organismi animali.

Si comprende quindi, che negli animali non troviamo alcuna sostanza minerale che non sia nelle piante; e, infatti, anche la proporzione delle ceneri e dell'acqua nella sostanza secca, non presentano differenze notevoli fra piante e animali. Questi ultimi hanno naturalmente bisogno di un forte scheletro per offrire resistenza nelle svariate funzioni di attività e di movimento; perciò, della materia secca del corpo umano, che rappresenta il 20 per cento, 19 centesimi sono nelle ossa e solo 1 centesi-

mo nelle altre parti, escludendo però l'acqua. Essendo già scelte ed elaborate dalle piante le sostanze nutritive per gli organismi animali, il processo di assimilazione è sul principio in questi molto semplice. Ma, essendo poi le loro funzioni tanto più complesse che nelle piante, i materiali acquisiti devono essere trasformati in modo complesso.

Seguiamo ora la via che la materia percorre attraverso il corpo animale, studiando specialmente le trasformazioni nel nostro organismo.

Mentre le piante assorbono i loro alimenti, sempre e uniformemente attraverso milioni di invisibili aperture, compiendo pure continuamente la distribuzione delle materie utili nel loro corpo, gli animali invece possono ingerire insieme, in una sola volta, grandi quantità dei materiali, già per loro preparati in forma assimilabile, restando così liberi negli intervalli fra i diversi pasti, di adoperare altrimenti la loro attività. Perciò nell'organismo animale abbiamo un canale che serve all'introduzione del cibo, quindi un organo speciale per la selezione dei materiali utili dagli inutili; quindi, organi di assimilazione dei primi e di eliminazione dei secondi. A questo sistema di nutrizione è coordinato un altro sistema circolatorio chiuso, che provvede all'alimentazione di tutte le parti del corpo, ed al trasporto di questo materiale nutritivo, come di quello necessario alla ricostruzione organica. Questo sistema, la *circolazione del sangue*, a differenza di quello della nutrizione, si mantiene costantemente in attività.

La sostanza nutritiva assorbita, sebbene di natura organica, non è per la massima parte ancora utilizzabile per un altro organismo, essendo per lo più insolubile; e questo è necessario, perchè un organismo, pianta o animale, non avrebbe stabilità se i suoi organi stessi fossero solubili. Occorre necessariamente materia insolubile per formare i vasi conduttori delle sostanze liquide, ed è compito essenziale dell'attività chimica animale, di render prima solubili le sostanze ingerite, per poterle trasportare facilmente in ogni parte; poi, di renderle ancora insolubili, per impiegarle nella costruzione dell'organismo.

Queste trasformazioni avvengono negli strettissimi vasi capillari, per soluzione o combinazione con le cellule chimicamente attive. I liquidi così preparati per la nutrizione del corpo sono poi ricevuti e accumulati da uno speciale sistema di *vasi linfatici*, che li conduce nella circolazione del sangue. Osserviamo ora la via che segue la materia attraverso questi tre sistemi e le sue trasformazioni.

Il canale digerente (fig. 441) comincia con la bocca *a* e finisce con la estremità anale *b*. Tra questi due estremi noi distinguiamo l'esofago *c*, lo stomaco *d* e l'intestino: questo si divide in duodeno *e*, intestino tenue *f*, intestino ceco *g*, intestino crasso *h*, e intestino retto *i*. La digestione, o la soluzione del cibo ingerito, comincia già nella bocca, in cui questo viene suddiviso colla masticazione, e impastato colla saliva che secernono speciali glandole, sotto l'eccitazione del cibo stesso. La parte essenziale

della saliva, la *ptialina*, sostanza formatasi nel sangue, è un fermento che, conte il lievito, è capace di cambiare l'amido insolubile in zucchero solubile. Il processo chimico della fermentazione non è conosciuto, come tanti simili fenomeni fisiologici; ma possiamo spiegarcelo ammettendo che le cellule del fermento abbiano la stessa azione dei vasi capillari nei sistemi vascolari chiusi, per opera di cellule capillari, probabilmente presenti nei fermenti.

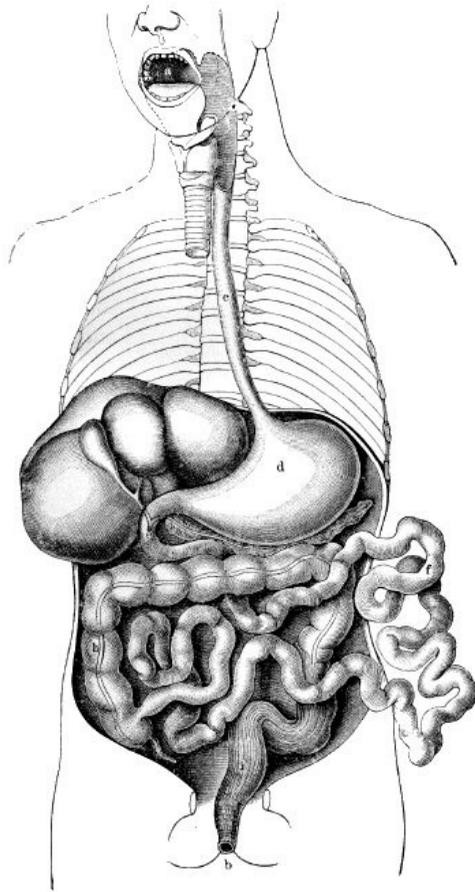


Fig. 441.

Gli organi della nutrizione nell'uomo.

a) bocca; b) ano; c) esofago; d) stomaco; e) duodeno; f) intest. tenue; g) intest. cieco; h) intest. crasso; i) intest. retto.

Se si impasta del pane con saliva, e si lascia così qualche tempo, questo si converte, anche al di fuori del-

l'organismo, in zucchero, il che chimicamente avviene, come è noto, per l'aggiunta all'amido d'una molecola d'acqua.

Ma il processo di fermentazione non può compiersi nel breve tempo in cui il cibo rimane in bocca; perciò questo, traversato rapidamente l'esofago, rimane poi un certo tempo nello stomaco, dove la fermentazione continua, mentre i movimenti meccanici dello stomaco servono a disfare e impastare il cibo ingerito. La mucosa dello stomaco secerne inoltre un altro fermento, la *pepsina*, e si ha produzione anche di acido cloridrico libero, contenuto in proporzione di 0,02% nel succo gastrico. Mentre la ptialina agisce come solvente soltanto sull'amido, il succo gastrico invece attacca anche gli albuminoidi, sempre contenuti nelle sostanze nutritive. I grassi però, che costituiscono il terzo componente di tali sostanze, resistono a tutti e due questi fermenti ed escono indigeriti dallo stomaco; essi contrariano perciò in certo qual modo la digestione delle altre specie di cibi, poichè formano come un involucro intorno ai fermenti di questi, non ancora sufficientemente divisi, rendendo così più difficile la penetrazione dei succhi gastrici.

I diversi cibi rimangono nello stomaco da un'ora a sei ore, secondo la loro diversa resistenza ai succhi gastrici; quindi ne escono dal *piloro*, una specie di valvola, la quale non lascia passare che sostanze disciolte o molto finamente suddivise. Il piloro è fatto in modo analogo alla pupilla dell'occhio, che sotto l'impressione della luce si chiude spontaneamente: così, quando un corpo

duro viene a contatto col piloro, questo contrae il suo muscolo anelliforme e gli impedisce il passaggio. Dopo qualche tempo il piloro si apre spontaneamente, e i cibi in esso contenuti e digeriti, vengono, mediante i *movimenti peristaltici* dello stomaco, spinti nel duodeno. A questo punto i cibi hanno già preso una costituzione più omogenea che nella masticazione. L'amido è convertito in zucchero, gli albuminoidi, si sono mediante la pepsina convertiti in *peptoni*, che poi forniranno quell'albumina, che forma i muscoli, i nervi e la gelatina delle ossa: il grasso finalmente è suddiviso in piccole goccioline. Soltanto i frammenti della cellulosa più rozza, le fibre legnose, le buccie delle frutta, resistono a tutti i succhi gastrici, almeno a quelli del corpo umano, ed arrivano indigeriti, insieme al grasso, nell'intestino. Alcuni animali però possono digerire anche il legno, che del resto, come sappiamo, non è che una modificazione dell'amido.

Sotto al piloro, si versano nel duodeno altri succhi digestivi diversi dai surricordati; cioè il *succo pancreatico* e il *fiele*: il primo prodotto nella glandula detta *pancreas*, l'altro nel *fegato*, e raccolto nella glandula *biliaria* (fig. 442). I due succhi mischiati penetrano nell'intestino per una comune apertura, e ad essi si aggiunge, quando l'impasto passa dal duodeno all'intestino tenue, il succo intestinale. Questi succhi intestinali, a differenza di quelli dello stomaco, hanno reazione alcalina, e neutralizzano le materie che vi giungono ancora acide.

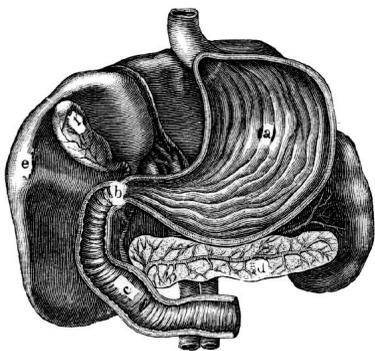


Fig. 442. – Lo stomaco.
 a) stomaco; b) piloro; c) duo-
 zuccherio; d) pancreas; e) fegato;
 f) cistifellea.

Il succo pancreatico è un liquido limpido come l'acqua, di consistenza gelatinosa, denso, ricco di sostanze inorganiche (sali minerali) e capace di sciogliere quasi tutte le sostanze alimentari: contiene dei fermenti, uno dei quali riduce, come la ptialina, l'amido in deno; l'altro, la *tripsina*, che rende solubile l'albumina, senza necessità di un acido, come il succo gastrico. Il succo pancreatico prepara i grassi ad una ulteriore digestione, e come composizione chimica, ha analogia di costituzione col siero del sangue.

Il *fiele* che è il più conosciuto di tutti i succhi digestivi, ha reazione debolmente alcalina, ed è proverbiale il suo sapore intensamente amaro; in massima parte consiste di composti acidi di sodio, e prende il suo colore bruno verdastro per composti ferrosi. Attacca specialmente i grassi che scompone, insieme col succo intestinale, così finamente, da renderli capaci di passare attraverso le pareti dell'intestino.

Il lungo intestino tenue, il vero e proprio intestino, che occupa il maggior spazio nel ventre, è internamente come foderato da un numero infinito di ciuffi vellutati tra i quali il contenuto intestinale è sottoposto ad un primo assorbimento capillare. Qui avviene la vera e com-

pleta digestione, mentre la funzione attiva di tutti gli altri organi fin qui descritti era soltanto di preparazione. In certi casi l'intestino tenue è in grado di assimilare esso solo, l'esclusivo nutrimento del corpo, quando la nutrizione è presa per via anale, per mezzo di enterocli-smi.

È quindi un errore il considerare lo stomaco come il principale organo della digestione; anzi negli ultimi tempi si è potuto anche, mediante operazioni chirurgiche, asportare con successo lo stomaco, e il canale digestivo ha seguitato a funzionare normalmente, fino a che, per l'allargamento dell'esofago, si è formato un nuovo stomaco.

L'intestino tenue, insieme con l'intestino crasso ad esso unito, ha il doppio ufficio di completare la digestione e separare il succo già preparato dai resti indigeriti, che poi abbandonano il corpo per mezzo dell'intestino retto. I due processi avvengono nelle villosità intestinali ricordate (fig. 443). I vasi linfatici (*f*) dopo che la digestione è compiuta per opera della secrezione emessa dalle glandole *a*, assorbono per mezzo di finissime arte-

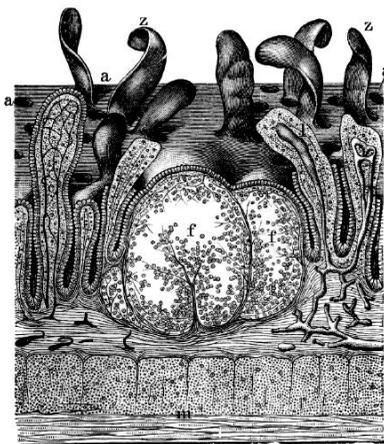


Fig. 443 – La parete intestinale (sezione)

z) villi; c) vasi sanguigni; f) vasi linfatici; a) aperture glandolari; m) sostanza muscolare; l) vasi chiliferi.

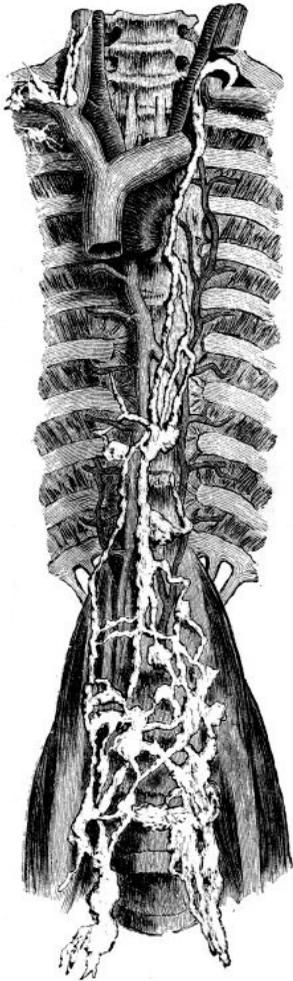


Fig. 444. – Sistema lin-
fatico dell'uomo.

rie capillari il succo nutritivo, presso a poco come le radici delle piante assorbono il nutrimento dal terreno. Questo succo nutritivo è una specie di *latte*; in questo unico liquido che condensa tutte le sostanze utili alla nutrizione del corpo, vengono dunque trasformati tutti i più diversi alimenti. Il latte è in sostanza composto come il sangue, solo contiene più grasso e manca di globuli rossi.

Il sottile tessuto del *sistema linfatico* (fig. 444), che si dirama per tutto il corpo, sottrae, come già all'intestino, tutte le sostanze nutritive che temporaneamente siano inutili per il ricco afflusso del sangue, per rimetterle poi in circolazione. Il sistema linfatico è quindi il deposito di tutti i liquidi ancora utilizzabili, e provvede il materiale di risarcimento, mediante l'attività digestiva. I vasi linfatici si riuniscono in un fascio principale, che sale dietro la colonna vertebrale, il canale toracico (a).

Il succo latteo che vi affluisce dai vasi speciali si chiama *chilo*, ed è più grasso della linfa che trovasi nelle altre parti del corpo, e che è limpida come

l'acqua. Una diramazione del canale toracico conduce alle mammelle e dà alla madre la possibilità di offrire al neonato, che fino allora aveva nutrito col proprio sangue, il latte tanto simile al sangue; il latte fra tutti i nutrimenti è quello che esige meno lavoro degli organi di digestione del bambino, i quali appena ora cominciano a funzionare. La corrente principale delle linfe si riversa vicino al punto, dove il sangue, tornando dal suo giro per tutto il corpo arriva al cuore, mediante la vena *principale*. Qui il nutrimento ingerito ha compiuto il suo intero percorso.

È importante seguire le trasformazioni della materia nella circolazione del sangue, che apporta direttamente il nutrimento a tutte le parti dell'organismo, e ne è poi compensato dall'afflusso della linfa. Ma all'organismo animale non basta solo essere nutrito, come quello delle piante, esso ha bisogno anche di energia per il suo movimento e per le altre funzioni vi-

tali. È quindi necessaria una combustione con ossigeno, di cui non abbiamo ancora parlato, nè tale può considerarsi la neutralizzazione dei succhi acidi nell'intestino. Il compito dell'assorbimento di ossigeno e della sua com-

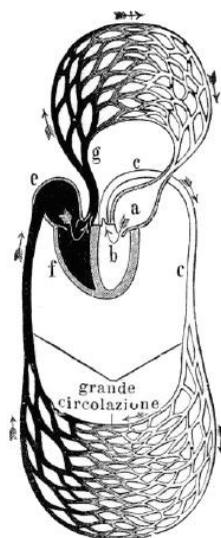


Fig. 445. — Schema della circolazione.

a) e) orecchietta destra e sinistra; b) f) ventricolo destro; e sinistro; c) aorta; k) arterie; v) vene.

bustione spetta parte alla respirazione, parte alla circolazione, e non è mai interrotto, come quello della digestione. Per poter nutrire tutti gli organi, i vasi sanguigni devono quindi spingersi in ogni parte del corpo, e la pressione fa penetrare il sangue nei più sottili vasi capillari. Se il sangue deve cedere sempre ossigeno oltrechè alle vere e proprie sostanze nutritive, anche ai più diversi organi, occorre un compenso a tale sottrazione, e il compenso si ha nei polmoni colla respirazione. Il cuore è l'apparecchio di pressione che provvede alla circolazione del sangue. Colle sue quattro cavità esso forma proprio una perfetta pompa, ed è, astraendo dell'apparato nervoso che serve ai suoi movimenti, il più semplice e più chiaro degli organi meccanici del corpo umano. Seguiamo la circolazione, partendo dal momento in cui il sangue si trova nella cavità principale sinistra del cuore (*b*, della fig. 445); qui il sangue è puro. Per una contrazione del miocardio, si apre una valvola simile a quella di una pompa, e il sangue fresco affluisce nella principale arteria, l'aorta; contemporaneamente, una seconda valvola, che funziona inversamente alla prima, chiude l'apertura che porta alla camera o ventricolo sinistro, in modo che colla contrazione del cuore il sangue non può penetrare in questa. Tutti gli organi vengono irrorati così di sangue fresco e rosso, portato loro dal sistema arterioso rappresentato schematicamente nella nostra figura. Quando il sangue ha compiuto il suo ufficio ed è divenuto di colore azzurro rossastro, ritorna al cuore, e precisamente alla orecchietta destra *e*, per mezzo del siste-

ma venoso *v*. Non dobbiamo immaginarci che tra una pulsazione e l'altra tutto il sangue percorra l'intero sistema arterioso;



Fig. 446. – Valvole dell'Aorta.

solo la massa principale del sangue scorre rapidamente nei grandi vasi, mentre nei piccoli si muove molto più lentamente ed impiega assai tempo a tornare in una arteria principale, dove le sue particelle sanguigne, impoverite di ossigeno, sono trascinate nella grande corrente. Le singole particelle di sangue hanno dunque, nel tessuto cellulare, tutto il tempo di esercitare la loro attività meccanica e chimica; dall'orecchietta destra il sangue affluisce nel ventricolo destro per mezzo di una valvola aperta, se il cuore non si contrae; penetrato il sangue nel ventricolo destro, si chiude questa valvola e se ne apre un'altra, che apre adito al sangue venoso già usato, verso i polmoni *g*. Qui avviene il contatto quasi diretto del sangue, coll'aria aspirata nei vasi capillari straordinariamente sottili dei polmoni, ed il sangue viene così rigenerato. Tornato in questo modo fresco e rosso, il sangue affluisce ora dai polmoni nell'orecchietta sinistra *a*, e da questa, quando la contrazione non l'impedisca, torna nel ventricolo sinistro *b*; di qui alla prossima pulsazione ricomincia di nuovo lo stesso cammino già descritto.

La quantità del sangue, trasportato così per il corpo, è assai rilevante e raggiunge negli adulti circa kg. 5. La composizione di questo vero succo della vita non è sem-

plice; una parte di esso è già quella linfa, prodotta dalla digestione. Dalla linfa ha origine il siero sanguigno, il liquido chiaro rimanente dopo la coagulazione. Ma la parte più attiva del sangue, che serve all'assimilazione dell'ossigeno, è esercitata solamente dai corpuscoli rossi, che in quantità straordinaria (circa un quarto di bilione in un adulto) nuotano nel siero. Oltre a questi, vi sono i corpuscoli bianchi diversi, per composizione e per funzioni fisiologiche, da quelli rossi, e che rispetto a questi si trovano in proporzione di 1 : 350, raggiungendo il numero di circa 1000 milioni nell'uomo sano. In complesso, il 91% del sangue è acqua e il 9% è sostanza secca; di cui poi il 10% è fibrina, derivata dall'albumina, 78% altri albuminoidi, 1% grasso, 4% sostanze organiche estrattive non azotate, e 7% sali inorganici.

I corpuscoli rossi (fig. 447) sono piccoli dischi incavati, rotondi nell'uomo, di diversa forma negli animali, di mm. 0,0077 di diametro e 0,002 di spessore. Non hanno nucleo e quindi non sono vere e proprie cellule, nè hanno movimento autonomo, ma si trovano sospesi nella corrente sanguigna. Per la loro grande elasticità e per la pressione del sangue, possono penetrare nei più sottili pori, prendendo nello stretto passaggio forma allungata, per ritornare subito rotondi appena si trovino liberi; si capisce da questa loro facilità di penetrazione e plasticità quanto eccellente sia la loro azione a comporre e alimentare qualunque organo vitale. Il produttore di questi meravigliosi corpuscoli sembra essere il fegato, che come i polmoni ha una speciale circolazione di san-

gue, indipendente da quella che serve alla nutrizione; ma i corpuscoli rossi debbono formarsi anche in altre parti del corpo; all'analisi chimica risultano costituiti principalmente di albumina, e contengono anche composti ferrici, dai quali deriva l'importantissima proprietà di fissare l'ossigeno.

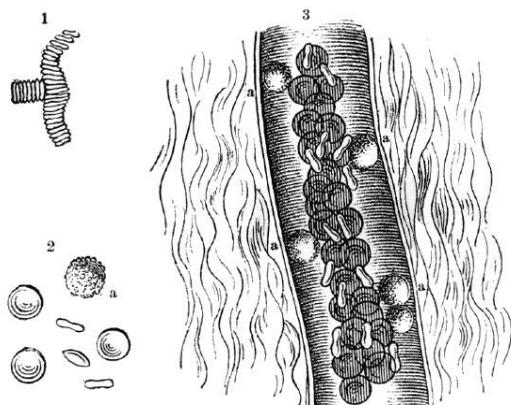


Fig. 447. – Corpuscoli sanguigni nell'uomo.
1) rossi, allineati; 2) rossi, di lato e in sezione; 3) rossi e bianchi.

La fissazione dell'ossigeno avviene dovunque questi corpuscoli vengono in contatto con l'aria; quindi non soltanto nei polmoni, ma in tutta la superficie della pelle, dove i sottili vasi sanguigni vanno a far capo per mezzo di

pori. Noi respiriamo perciò con tutta la superficie del nostro corpo, secondo il bisogno del nostro organismo, come coi polmoni; e l'ossigeno assorbito dalla pelle viene trasformato pure in anidride carbonica. A questo riguardo siamo dunque simili alle piante, mentre ci è poi necessario un altro organo speciale della respirazione, costituito dai polmoni. È notevole il fatto, che nel processo di respirazione delle piante, come in quello degli animali, ha parte importante il ferro, contenuto nei gra-

nuli di clorofilla come nei corpuscoli rossi del sangue, ed esercita certamente una funzione chimica, benchè inversa nei due casi.

I corpuscoli rossi cedono facilmente l'ossigeno assorbito ai diversi organi, nei quali questo si fissa più stabilmente, sviluppa calore coll'ossidazione ed origina la forza meccanica dei muscoli necessaria all'attività dell'organismo. I corpuscoli stessi rimangono inalterati in questa funzione, e servono anche come corpi albuminoidi alla costruzione e al mantenimento dell'organismo. A questo scopo è però necessario siano liberi dal ferro e da altre sostanze inorganiche, necessarie finchè essi funzionavano come fissatori di ossigeno, ed a ciò provvedono quegli organi che servono anche alla purificazione del sangue, cioè le *glandule sudorifere*, distribuite in tutto il corpo, e lo speciale organo il *rene*. Questi agiscono proprio come filtri del sangue di dimensioni capillari, e servono a separare, per mezzo della pressione osmotica le sostanze inorganiche dannose, ed altri composti formati, che sciolti, sono condotti alla vescica urinaria. Sappiamo che le molecole di albumina debbono avere, in confronto alle altre molecole inorganiche, un diametro molto grande, tanto più se l'albumina comincia a divenire gelatinosa per azione degli acidi. Ora, avendo il contenuto del rene, reazione acida, le particelle di albumina così utili per l'organismo non possono passare per il sottile filtro del rene e rimangono in corso, mentre le sostanze inorganiche passano per il filtro; a queste appartengono composti di acido fosforico e di acido solfo-

rico con potassio, sodio, calcio, magnesio e ferro, e si trovano in gran quantità nell'urina, specialmente il cloruro di sodio, disciolti nell'acqua che forma circa il 96% della soluzione. L'urina contiene anche l'*urea* $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, che abbiamo già conosciuto fra i composti ammoniacali. Il sangue nei polmoni viene in contatto anche con l'azoto, ma non ne assorbe per diffusione, se non quanto l'acqua nell'aria libera, e forse meno, per la preferenza verso l'ossigeno. Quest'azoto, così assorbito, non ha alcuna azione utile nel corpo, è anzi dannoso, e perciò viene espulso nell'urina per scomposizione dell'albumina, se si trova in eccesso.

Il rene ha dunque un compito di capitale importanza, quello cioè, di allontanarne le sostanze velenose; e le malattie dei reni sono sempre molto gravi, e a lungo andare portano ad una alterazione dell'organismo. Per esempio, nel diabete, i reni perdono la loro proprietà di filtri e lasciano passare anche le sostanze utili, come lo zucchero prodotto dall'amido, sottraendo così forza all'organismo. I malati di diabete debbono quindi astenersi da cibo ricco d'amido e di zucchero, e specialmente nutrirsi di carne, contenente albumina, e così neutralizzare l'azione dannosa dei reni che non funzionano; poiché le molecole d'albumina essendo assai grosse, come si è visto, sono trattenute dai reni, anche se malati.

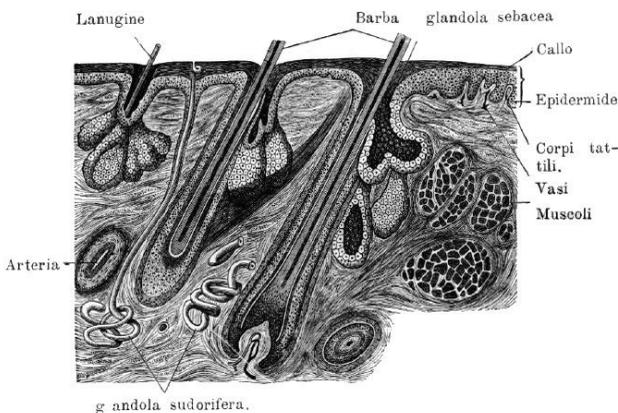


Fig. 448. – Sezione della pelle del labbro.

Il sudore trasudato dalla pelle, della quale vediamo nella figura la sezione verticale, è fisiologicamente simile all'orina, e le glandole sudorifere sono

costruite in modo analogo a quelle produttrici del rene. Il sudore contiene pure l'urea e il cloruro di sodio, e inoltre una serie di acidi grassi, acido propionico, butirrico, fino circa all'acido caprilico ($C_{10}H_{20}O_2$) dai quali derivano la sua acidità e il suo cattivo odore. Questa attività della pelle, come la sua respirazione, è soggetta a notevoli oscillazioni, e aumenta e diminuisce rapidamente secondo il lavoro esercitato dai muscoli, come la respirazione polmonare; in certi casi si può, sudando, perdere in poco tempo una notevole quantità di liquido, e il Ranke afferma di avere emesso durante un bagno a vapore kg. 1,250 di sudore in un quarto d'ora. È facile comprendere che è bene sudare, in certe circostanze, eliminando rapidamente sostanze inutili e dannose, sottratte al sangue: così un bagno di sudore, porta ad una energica depurazione del sangue. Al contrario, l'interruzione dell'attività sudorifera della pelle ha sempre effetti dan-

nosi come nella febbre, e può condurre anche alla morte; se invece i febbricitanti cominciano a sudare, il pericolo è per lo più superato, poichè il sangue può rinnovarsi anche per l'attività della pelle.

Oltre ai corpuscoli rossi già ricordati, si notano nel sangue i così detti corpuscoli bianchi, che veramente sono incolori, un po' più grossi di quelli rossi e ordinariamente sferici (fig. 447.³); essi hanno un nucleo, e si presentano come vere cellule. Il loro contenuto è protoplasma, il quale, come nelle cellule vive, può stendersi per unirsi ai corpuscoli vicini e trascinarli con sè. Insomma, il corpuscolo bianco è un vero microrganismo, e di questi ne alloggiamo nel nostro corpo circa 1000 milioni. Potrà sorprendere l'idea che nel nostro corpo, che sembra formare un tutto unico e individuale, possano trovarsi così smisurate quantità di elementi viventi; ma è proprio così, e l'esame microscopico ci mostra anche le funzioni vitali e nutritive di questi corpuscoli sanguigni. Il corpo umano è dunque, a questo riguardo, una colonia di un numero infinito di esseri autonomi, che vivono in esso come in un grande organismo di stato.

Come si formino i corpuscoli bianchi del sangue nel corpo, non si conosce ancora bene, ma sembra che vi prenda parte la milza, come il fegato concorre alla formazione di quelli rossi. In massima parte però, essi si moltiplicano spontaneamente per divisione, come i liberi protoplasti, trovando nutrimento a sufficienza nell'albumina solubile nel sangue. Anche nelle linfe e negli altri succhi del corpo si trovano simili corpuscoli proto-

plasti. La loro funzione è depurativa, poichè essi tolgono al sangue le sostanze impure, specialmente piccole masse solide che vengono dai corpuscoli bianchi come inghiottite. Si è paragonata la funzione dei corpuscoli bianchi nel corpo, al servizio di polizia, avendo il compito cioè di imprigionare e poi allontanare dall'organismo tutti gli elementi dannosi; come cellule di albumina, essi prendono però certamente parte alla costruzione organica del corpo.

Quanto alla nutrizione dell'intero organismo, il sangue esercita anche la funzione di un regolare riscaldatore. È noto che la temperatura del sangue degli animali a sangue caldo non può soffrire che oscillazioni limitatissime, altrimenti le funzioni di tutti gli organi ne risentono alterazioni gravissime fino alla morte. Noi sappiamo bene che in tutte le reazioni chimiche ha un'influenza grandissima la temperatura; perciò possiamo dedurne che questa necessità di una temperatura costante negli organismi più sviluppati ha una ragione chimica. Infatti, l'albumina che si trova e agisce in ogni parte dell'organismo animale, mantiene la sua solubilità solo fino ad una determinata temperatura; l'albumina possiede la sua massima solubilità tra i gradi 35° e 40° , che corrispondono alla temperatura media degli animali a sangue caldo; a circa 20° passa ad uno stato gelatinoso, perdendo la scorrevolezza; mentre, aumentando la temperatura oltre i 50° , coagula come si vede nell'uova assodate, e diviene una massa dura, e anche si dissocia. L'albumina gelatinosa torna nuovamente fluida col riscaldamento,

mentre quella rappresa non ritorna fluida col raffreddamento. Di qui possiamo fare delle deduzioni sui rapporti degli organismi composti essenzialmente di albumina, cioè degli animali. Noi crediamo, e i fatti lo confermano, che il calore corporeo di un animale può essere abbassato fino a 20° , rimanendo il corpo irrigidito e apparentemente senza vita; però, restituendo il necessario calore, il corpo riprende le sue funzioni vitali, mentre invece un innalzamento anche piccolo della temperatura diviene subito pericoloso. Infatti, si sa che una febbre a 42° è già gravissima, eppure l'aumento non è che di 5° sulla temperatura normale di 37° ; in rarissimi casi, seguiti sempre da morte, si sono raggiunti i 50° . Gli effetti del freddo sono molto meno pericolosi; infatti, in ogni inverno una quantità di organismi perdono il movimento e la loro attività organica, ma bastano i primi tepori di primavera per risvegliarli a nuova vita. Ma si è osservato che i corpi già irrigiditi per un raffreddamento interno a circa 20° , non possono resistere a un freddo maggiore; non possono certo internamente raffreddarsi al disotto del punto di congelazione dell'acqua, poichè colla dilatazione dell'acqua nel congelamento, i fini tessuti degli organi sarebbero danneggiati, e così l'attività vitale sarebbe interrotta. Ma forse non sarebbe troncata e resa impossibile per il seguito, se anche nell'uomo avviene quello che si dice dei fachiri indiani, che riuscirebbero, mediante un tale raffreddamento del corpo, a interrompere per mesi ed anni l'attività vitale, senza tuttavia morire. Il mantenimento di una invariabile temperatura del

sangue non è dunque condizione indispensabile, in climi dove l'aria non discende sotto zero nè sale sopra i 40°. I cosiddetti animali a sangue freddo hanno sempre temperature corporali corrispondenti a quella esterna, ed hanno per la invariabilità della temperatura del sangue, apparati regolatori meno perfetti che negli animali a sangue caldo. I rettili delle nostre regioni devono dunque irrigidirsi nell'inverno, mentre nei tropici questo non accade, poichè la temperatura raramente discende sotto a quella di 20°, necessaria per far rapprendere l'albumina; anche essi sviluppano calore nelle diverse reazioni chimiche del loro corpo, ma lo cedono presto all'ambiente. Mediante il calore proprio, gli animali a sangue freddo, viventi in temperature sempre vicine a zero, come i fondi marini, possono mantenere nei loro organi temperatura sufficiente per la circolazione dell'albumina; questi esseri possono dunque considerarsi come animali a sangue caldo, ma a temperatura più bassa.

Nell'epoche geologiche, nelle quali non erano ancora comparsi gli animali a sangue caldo, dominava sulla terra una temperatura uniforme che probabilmente non scendeva sotto di quella a cui l'albumina si rapprende, e perciò non erano ancora necessari apparecchi speciali per regolare la temperatura del sangue. L'attività vitale degli esseri di quel tempo non dovette quindi, essere mai interrotta dalle variazioni termiche: ma dopo che furono delineate le zone climatiche, quegli esseri, i quali per la loro organizzazione potevano adattarsi alle più forti variazioni della temperatura vennero ad acquistare

un enorme vantaggio. E tanto più queste nuove forme si svilupparono, quanto più la temperatura del loro sangue poteva mantenersi a quel grado meglio confacente alla mobilità del loro corpo e all'attività dell'albumina; in modo da poter esercitare le loro funzioni di giorno e di notte, in inverno e in estate, provvedendo sempre meglio alla costruzione e al perfezionamento dei loro organi.

Questi apparecchi regolatori della temperatura, perfettissimi nell'uomo, e che contribuiscono a renderlo il dominatore di ogni angolo del globo, sono veramente molto semplici; essi derivano dal principio che l'attività di tutti gli organi dipende dalla quantità di sangue che ad essi affluisce nutrendoli. Prima di tutto, è necessario nel corpo un equilibrio tra il calore prodotto internamente e quello irradiato o trasformato in lavoro, poichè altrimenti il corpo diverrebbe o sempre più caldo o sempre più freddo. Dopo di che, occorre regolare le oscillazioni della temperatura in modo che non debba risentirne il sangue. Questo è possibile e riesce eccellentemente all'uomo; tanto che i viaggiatori polari possono resistere per mesi a temperature, anche 70 o 80 gradi più basse di quella media del corpo umano, senza che questa ribassi neppure di un grado; e viceversa vi sono uomini che sopportano per un quarto d'ora la temperatura di ebullizione dell'acqua, in aria perfettamente asciutta (Ranke. «Der Mensch» I p. 343); e anche in questo caso la temperatura media del corpo non sale di un grado.

Questi meravigliosi regolatori sono gli infiniti pori e

le sottilissime arterie capillari della pelle, la quale come ogni altro corpo, si contrae o si dilata cogli sbalzi di temperatura. Il fenomeno è aiutato da funzioni fisiologiche, essendo le fini ramificazioni delle arterie sotto la pelle, circondate da muscoli che ancor essi si dilatano o si contraggono alle impressioni di caldo e di freddo. Nella contrazione prodotta dal freddo, il sangue viene sottratto alla superficie del corpo; col caldo invece vi viene spinto in maggior copia. Si tratta, però, del solo sangue arterioso, attivo; perciò le nostre mani infreddolite diventano bluastre, poichè vi rimane il solo sangue venoso, che è di tale colore, mentre la pelle diviene rossa col riscaldamento. Il sangue, affluendo agli organi interni per effetto del freddo, fa funzionare questi più attivamente, specialmente il cuore, con sviluppo di calore interno; intanto, colla sottrazione del sangue alla periferia del corpo viene diminuita anche la perdita di calore per irradiazione. A lungo andare però, specialmente nelle parti più esposte, come le dita, il raffreddamento diviene eccessivo, l'albumina perde la sua mobilità, e i muscoli irrigidiscono, divenendo incapaci a funzionare. Spingendo oltre il raffreddamento, anche il sangue comincia a scendere dalla sua temperatura normale; il compenso della maggior attività è insufficiente, e allora gli organi interni cominciano a rallentare la loro attività, soprattutto il cuore, che a poco a poco si arresta. Il corpo si trova allora sulla china precipitosa che presto conduce al congelamento totale, alla rigidità della morte, e anche la coscienza svanisce, avendo bisogno il cervello per la

sua attività di un ricco afflusso di sangue. Se gli organi non sono, nel vero senso, gelati, cioè raffreddati sotto zero, si può riuscire spesso, col lento riscaldamento e con la respirazione artificiale, sollevando e abbassando ritmicamente la cassa toracica, a richiamare alla vita l'organismo che già aveva cessato tutte le sue funzioni; e gli organi non soffrono in generale alcun danno dall'irrigidimento.

L'inverso avviene per proteggere il corpo dal calore eccessivo, benchè non con la stessa rapidità; le arterie della pelle ed i pori si dilatano, permettendo un afflusso maggiore di sangue alla superficie del corpo, e così si ha maggiore irradiazione di calore mentre gli organi interni, impoveriti di sangue, funzionano con minore energia. Intanto, le glandule sudorifere emettono abbondante sudore, che si evapora sulla pelle causando il *raffreddamento d'evaporazione*. Se l'aria è asciutta, noi sopportiamo meglio il calore, appunto perchè l'evaporazione del sudore è più forte nell'aria: così nei paesi tropicali, il calore non è sopportabile dagli europei, vicino alle coste o ai laghi, dove l'aria è satura di vapore acqueo, mentre la stessa temperatura è tollerata nell'interno. La temperatura micidiale che fa coagulare l'albumina, non può penetrare oltre la pelle quando questa è bagnata di sudore. Ma poichè l'emissione del sudore non può durare a lungo senza sottrarre elementi importanti al sangue, il restare esposti a temperature molto elevate è sempre più pericoloso che esporsi a quelle assai basse.

La produzione del calore avviene in tutti gli organi

nei quali si compiono processi chimici di ossidazione, come nel tessuto connettivo e nei muscoli, ma soprattutto nel fegato, che è il vero laboratorio chimico del corpo. Il cibo ingerito provvede a che la produzione di calore non diminuisca mai troppo. Un eccessivo riscaldamento non è possibile in condizioni naturali, poichè in un organo che diviene troppo caldo l'albumina stessa delle sue parti si altera, e l'attività dell'organo diminuisce; quindi la produzione si regola automaticamente.

Secondo l'Helmholtz, un uomo adulto produce, nei nostri climi, 2700 calorie in 24 ore, cioè circa quanto ne producono kg. 0,700 di buon legno, ovvero 0,5 di carbone fossile: in queste calorie non son comprese quelle che vanno spese per il movimento degli organi interni specialmente del cuore. Questo lavoro è considerevolissimo, e il Ranke calcola che in 24 ore arrivi a chilogrammetri 87000, cioè che con la forza spiegata dal cuore in questo tempo si potrebbero sollevare ad un metro di altezza Kg. 87000. Confrontando un tale lavoro con quello medio di un operaio, si trova che esso rappresenta più di $\frac{1}{4}$ dell'energia che l'operaio può spiegare in otto ore di attivissimo lavoro. Il funzionamento del cuore assorbe circa 200 grandi calorie in 24 ore. Delle 2700 calorie, circa 1000 sono impiegate nel riscaldamento del cibo ingerito, dall'aria respirata, e per l'evaporazione dell'acqua nei polmoni e sulla pelle. Delle rimanenti 1700 calorie, una buona quantità va perduta per irradiazione del corpo, ma è difficile precisarla perchè varia col cambiare delle condizioni esterne. Rimangono,

in condizioni normali, nel nostro clima, circa 800-1000 calorie di cui l'uomo può disporre a suo piacere. Se il nostro organismo fosse destinato al solo ufficio di macchina da lavoro, si potrebbe dire che non è veramente una macchina molto economica, perchè appena una terza parte del calore che produce è utilizzabile come energia meccanica; e infatti, ad una macchina simile le nostre moderne macchine a vapore fanno una forte concorrenza. Ma l'energia della macchina umana ha da svolgersi in un altro vastissimo campo, in cui niente può compiere una macchina priva di vita: quello dell'intelligenza. Il perfezionamento della meccanica moderna permette appunto all'uomo di liberarsi da molte fatiche materiali, per dedicare maggiore attività allo sviluppo dell'intelligenza e al suo nobile inalzamento verso le maggiori idealità. È quindi uno dei grandi compiti di chi è alla testa dello sviluppo della moderna civiltà, nelle difficoltà dell'attuale periodo di transizione, di elevare spiritualmente le grandi masse, fin qui considerate come macchine produttrici di energia meccanica, indirizzandole verso quelle più nobili forme di attività, nelle quali le macchine non fanno più concorrenza.

I rapporti fra produzione e consumo di calore sono naturalmente assai differenti nei varî climi. In quelli caldi il calore irradiato è minore, nelle regioni polari maggiore che nelle nostre latitudini temperate. In corrispondenza a ciò, la nutrizione deve compensare nei tropici un consumo giornaliero di solo 1800 calorie circa; nelle zone fredde, invece, un consumo di 4500; gli abitanti

dei paesi freddi debbono ingerire una quantità di cibo, in sostanza carbonio, quasi doppia di quella sufficiente agli abitatori dei tropici. Da questo dipende la preferenza dei primi per i cibi grassi, i quali sono i più ricchi di carbonio e provvedono alla combustione interna nel corpo. Il più ricco nutrimento degli abitanti nei climi freddi non serve solo a compensare le maggiori perdite di calore, ma a fornire maggior copia di energia meccanica, poichè infatti l'uomo nordico è più attivo di quello del sud.

Lo sviluppo della nostra cultura presenta nel corso dei secoli, un chiaro indirizzo verso il nord. Nei tempi preistorici il centro di cultura era l'Egitto; poi si spostò verso Alessandria, Babilonia e Atene, e poi verso Roma; infine, verso la Spagna, la Francia, l'Inghilterra, e così via, sempre più vicino al Polo. Era naturale che le prime esplicazioni dell'intelligenza si manifestassero colà dove la natura era prodiga di tutto all'animale diventato uomo, e dove questo non aveva che da vivere, godendo nello sviluppare senza sforzo le prime scintille dell'intelligenza. Quando poi cominciò la lotta per l'esistenza e la selezione dei migliori, apparve evidente il vantaggio di quelli che sopportavano un clima più freddo; poichè il maggiore dispendio di calore si poteva sempre compensare con maggior quantità di cibo; contro i grandi calori non poteva invece il corpo trovar compenso, senza gravi perdite e diminuzione di energia al lavoro. Così la questione dell'adattamento ai climi più freddi, si riduce in sostanza a una questione di nutrimento.

La tendenza cui abbiamo accennato, dell'espansione

della civiltà verso il nord, trova però un limite nel fatto, che la natura comincia ad essere in quelle regioni molto scarsa nella produzione di sostanze alimentari. Se riusciremo però a ottenere queste sostanze a prezzo molto basso, come per esempio, se potremo ricavare il pane dal legno, l'umanità potrà spingere con maggiore intensità la sua conquista dei paesi nordici, almeno fin dove l'inclemenza del clima non ponga una barriera insuperabile.

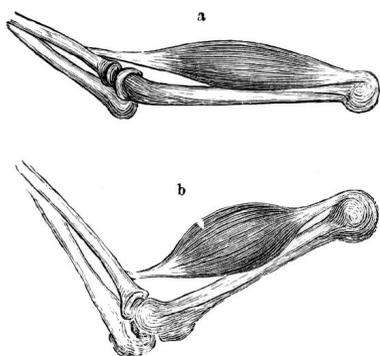


Fig. 449. – Muscolo bicipite:
a) disteso; b) contratto.

Il funzionamento volontario dei movimenti possibili del nostro corpo, che guidati dall'intelligenza contribuiscono dal canto loro allo sviluppo di questa e della nostra cultura, è dovuto all'azione dei muscoli, le vere macchine da lavoro del corpo. Il principio meccanico delle loro funzioni non potrebbe essere più

semplice: tutti i muscoli possono solamente estendersi o contrarsi. La fig. 449 mostra il muscolo del braccio, il quale fa girare l'avambraccio intorno al gomito: in a il muscolo è disteso; in b contratto e quindi accorciato. Una estremità del muscolo è sempre fissa ad un punto, che nella contrazione resta fermo,

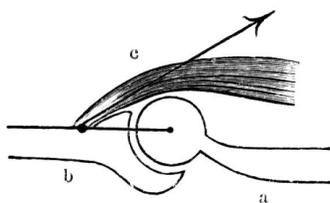


Fig. 450. – Inserzione del bicipite nel gomito.

mentre l'altra estremità si sposta secondo i movimenti. In questo caso il muscolo è fisso alla spalla e l'altra estremità è attaccata all'osso mobile. Nella (fig. 450) vediamo il funzionamento analogo del muscolo della gamba. I movimenti sono poi sempre limitati dalle forme delle ossa o dalla lunghezza e forza del muscolo; queste e le altre disposizioni muscolari dello scheletro son chiaramente comprensibili.

La contrazione del muscolo avviene per effetto di una eccitazione nervosa. Ad ogni muscolo fa capo un nervo che lo mette in comunicazione col cervello e col midollo dorsale.

L'eccitazione nervosa stessa sembra consistere in una debole corrente elettrica che provocherebbe una certa reazione chimica nel muscolo. Non si arriva però a spiegare chiaramente come si esplichino la forza meccanica del muscolo, in misura così potente e subitanea.

La sostanza muscolare consta di un tessuto filamentoso albuminoide, che nei muscoli *volontari* presenta alla sezione una fine striatura, formata da particelle immerse nel tessuto. La sostanza chiara dei fasci muscolari si differenzia molto da quella scura, specialmente nelle proprietà ottiche, poichè la prima è monorifrangente, la seconda birifrangente. Nell'ipotesi dell'unità delle azioni ottiche ed elettriche, causate entrambe dalle onde dell'etere, non vi è dubbio che la sostanza



Fig. 451.
Sezione di
muscolo
striato.

grigia e quella incolora dei muscoli debbano avere oltre quelle ottiche anche proprietà elettriche diverse. Se l'eccitazione dei nervi è di natura elettrica, possiamo supporre che la contrazione dei muscoli volontari sia provocata da una reciproca attrazione delle particelle grigie delle striature muscolari. Queste striature mancano, per quanto a noi risulta, nei muscoli involontari, specialmente in quelli del cuore, ma vi sono anche passaggi da una forma all'altra.

I muscoli sono straordinariamente elastici, e appena cessa l'eccitazione nervosa, si estendono spontaneamente, facilitando così notevolmente il lavoro al corpo.

Comunque si svolgano i rapporti molecolari nella contrazione dei muscoli, il lavoro muscolare ha sempre per effetto una reazione chimica; poichè al lavoro meccanico, cioè al consumo di energia calorifica, il corpo deve sempre provvedere con energia chimica. Si potè anche sperimentalmente dimostrare che il muscolo, che in quiete ha reazione alcalina o neutra, presenta reazione acida dopo il lavoro, proprio come se questo portasse un'ossidazione. Tutti i muscoli sono traversati da vasi sanguigni di straordinaria finezza, che apportano loro sempre sangue fresco in quantità tanto maggiore quanto maggiore è la loro attività. Il sangue assorbe poi i prodotti di ossidazione dei muscoli, una specie di acido lattico, provvedendo così alla nutrizione e depurazione dei muscoli stessi.

Se un muscolo lavora lungamente e eccessivamente, la circolazione del sangue e la relativa depurazione non

possono tener dietro al lavoro eccessivo; i *prodotti dell'affaticamento* si accumulano nel muscolo, e diminuisce sempre più la sua capacità al lavoro; ma dopo poco tempo di riposo, il sangue torna a lavare il muscolo, eliminando i veleni della fatica, e lo riporta nelle prime condizioni di energia. Forse un muscolo può esser paragonato ad un accumulatore, che si carica lentamente per mezzo della corrente sanguigna, e di cui possiamo utilizzare l'energia accumulata, secondo il bisogno, con l'eccitamento dei nervi.

In stretto rapporto coi muscoli stanno le ossa, che da questi sono messe in movimento. La sezione delle ossa mostra che esse non sono una massa priva di vita, ma che anzi sono traversate da numerosissimi canaletti, i quali apportano alle ossa il sangue necessario al loro sviluppo e mantenimento, poichè anch'esse si rinnovano continuamente mediante il ricambio organico. Vi si trovano pure nervi, che sono così particolarmente protetti. Il midollo spinale, che occupa l'interno della colonna vertebrale è proprio un complesso apparato nervoso che regola i movimenti *involontari* o *riflessi*. Anche le ossa sono parti del corpo umano assai complicate, e meraviglioso è il loro sistema di nutrizione e funzionamento; ma sopra questo non possiamo qui trattenerci. Chimicamente, le ossa constano di diversi sali di calcio, principalmente fosfato, in minore quantità carbonato, cloruro e fluoruro, con tracce di fosfato di magnesio.

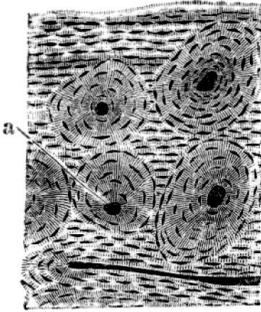


Fig. 452. – Materia ossea, in sezione;
a) canali.

La sostanza collegante è una modificazione dell'albumina. Da questa si formano prima cartilagini molli e pieghevoli, che si indurano in solida sostanza ossea dopo i primi anni di vita. Ogni osso è poi circondato da un involucro, una specie di epidermide, che non impedisce l'accrescimento anche nelle ossa anche già adulte. Le ossa sono inoltre collegate fra loro mediante i *tendini*, resistenti e poco elastici, che risparmiano ai muscoli la fatica di sorreggerle durante lo stato di riposo. Come la pressione atmosferica serve a risparmiare il lavoro, abbiamo già spiegato.

Sopra tutto questo meccanismo, descritto nelle sue linee generali, sta il sistema nervoso, che ne determina e guida tutti i movimenti, ed è a sua volta sottoposto all'influenza del mondo esterno. Il sistema nervoso, che è indipendente in tutto dalla generale circolazione del sangue, anche nella sua nutrizione, penetra con le sue sottilissime ramificazioni in ogni parte del corpo. La sua struttura e disposizione, da cui dipende la intera coscienza del nostro essere, anche prese nel senso proprio, sono state da noi fuggacemente lumeggiate nella nostra introduzione, e la conoscenza del suo funzionamento potrà servirci di garanzia per intendere fino a che punto abbiano valore le cognizioni acquisite per mezzo del sistema nervoso. Riferendoci dunque alle considerazioni

già fatte, aggiungiamo solo pochi dati complementari.

La materia grigia e la materia bianca dei nervi, le cellule nervose e i fasci nervosi, hanno in complesso uguale composizione chimica; solo i vari componenti, ognora presenti, risultano uniti diversamente; soprattutto si ha, accanto a 70-84% di acqua, un ricco contenuto di albumina, e inoltre una sostanza propria al sistema nervoso, il *Protagon*. Questo corpo compare in ogni protoplasma, che è la materia organica primordiale dalla quale derivano quasi tutte le sostanze organiche, e che caratterizza l'organismo vivente. Dal Protagon si formano indubbiamente dopo la morte, i prodotti trovati nella materia cerebrale, Lecitina, Colesterina e Cerebrina, tutte assai ricche di fosforo.

Nella materia nervosa trovansi, come nei muscoli, dopo una lunga attività, i *veleni della fatica*; e, come i muscoli, i nervi emettono allora, per mezzo del sangue, anidride carbonica. Le reazioni che qui avvengono possono essere di natura puramente chimica, o anche in parte elettrica, cioè uguali a quelle dei muscoli. I tossici vengono a poco a poco eliminati col lavaggio eseguito dal sangue, specialmente durante il sonno, nel quale la nostra materia cerebrale è depurata e rinnovata, riportando al cervello la freschezza necessaria a ricevere e trasmettere le varie sensazioni.

L'attività del nostro spirito si riduce anch'essa ad un fenomeno di ossidazione, come nel lavoro meccanico, con relativo consumo di energia e di calore dell'organismo. Non è possibile di separare il lavoro dei nervi, che

trasmettono l'impressione ricevuta dagli organi esterni del corpo, al cervello o provocano il movimento dei muscoli, dall'attività esclusivamente spirituale del pensiero. Noi non sappiamo se anche nel puro pensiero, che non richiede alcun movimento degli organi esterni nè di altre parti del corpo, l'interno del cervello non debba pur compiere un lavoro; si può pensare che le cellule cerebrali, in servizio proprio e al proprio comando, siano poste in vibrazione, perchè sappiano che anche il pensare produce affaticamento ed esaurimento, e che, come avviene per i muscoli, il riposo rinfresca e ripristina le forze mentali. Se il pensiero non fosse accompagnato da un lavoro meccanico o molecolare, sfuggirebbe alle leggi ed effetti della materia e sarebbe un atto trascendentale. Molti psichiatri sono di opinione che la facoltà del pensiero non affatichi di per se stessa, poichè anche nel sonno pensiamo continuamente, sognando, benchè senza collegamento fra il pensiero e la coscienza. Questo collegamento sarebbe dunque il fatto materiale del nostro organismo, non il pensiero in sè. Ma qui siamo agli ultimi limiti del nostro campo e ci arrestiamo, non dovendo occuparci che dei fenomeni fisici.

Per mezzo dei nervi e degli organi dei sensi, il nostro meraviglioso organismo rimane in perenne ed ampia relazione col mondo esteriore.

Se consideriamo che le onde eteree, le quali dalle stelle dell'estremo firmamento arrivano a eccitare la nostra retina, sono state influenzate in forma affatto determinata, da masse materiali a distanza immensurabile,

dobbiamo riconoscere che *un legame materiale ci unisce all'intero Universo*, di cui noi siamo una parte, come una cellula del nostro organismo è una parte di noi. Infatti, una microscopica cellula all'estremità del nostro dito, dipende da un'altra pure invisibile cellula del cervello, come questa dipende in misura maggiore o minore da tutte le parti del nostro corpo. Possiamo confrontare gli impercettibili filamenti nervosi che vanno a far capo agli organi esterni, coi vasi capillari di una pianta, la quale raccoglie il nutrimento dal terreno che la circonda, in piccolissime particelle che essa riunisce ed elabora nei suoi organi interni: così noi riuniamo ed elaboriamo i movimenti della materia che dall'esterno ci arrivano e sono da noi percepiti come impressioni sensitive, per formare un tutto che deve poi, come il nutrimento del corpo, essere ridotto ad altre forme, per esser condotto ad un organo centrale. In questo si riunisce tutto il nutrimento spirituale, e si completa la sua elaborazione, come gli organi della digestione elaborano il cibo, distribuendolo poi all'organismo.

In relazione particolare può l'uomo entrare cogli altri uomini, per mezzo del sistema nervoso, e dei sensi: è la solita legge, *similia cum similibus*, già da noi osservata anche nel mondo inorganico nei fenomeni chimici e specialmente in quelli di cristallizzazione, e che, almeno nei gradi inferiori di aggruppamenti materiali, si può spiegare colla pura meccanica.

È infine, ancora il sistema nervoso, che all'uomo rende possibile la costituzione della famiglia, dello stato, e

di tutte le grandi società umane, in cui le facoltà intellettuali di un individuo vengono ad esplicarsi in pro di molti altri; così le conoscenze acquistate e le idee si comunicano e si propagano tra gli uomini di tutta la terra a beneficio ed inalzamento dell'intera umanità. Tutte le fibre nervose di un singolo individuo hanno radice e si nutrono in un comune terreno nutritivo, si alimentano dello stesso cibo come i nostri organi della corrente sanguigna. Ma anche questa grande organizzazione spirituale dell'umanità crebbe da piccoli principî.

Dal legame materiale e manifesto fra la madre e il neonato, alla nascita di questo, ebbe origine il primo e più forte legame spirituale fra due individui, l'affetto materno; da questo poi l'amore della famiglia, la riunione delle famiglie in colonie, e così via; ed oggi vediamo i popoli della Terra e le nazioni stesse unite in grandi associazioni internazionali, per conseguire fini comuni, pratici o ideali.

Così vediamo sorgere un mondo meraviglioso e ognor più perfetto, con l'aggregazione di organi su organi, sistemi su sistemi, di modo che l'individuo, rinunciando ad una parte della sua individualità, contribuì a formare un vastissimo organismo risultante dalla fusione di innumerevoli organizzazioni minori. Questo sviluppo progressivo si iniziò dall'atomo primordiale vibrante liberamente negli spazi dell'universo, attraverso alle gradazioni dell'atomo chimico, della semplice molecola, fino ai sistemi ancora ultramicroscopici delle molecole albuminose e protoplasmatiche; poi, dalle pri-

me semplicissime cellule, fino alla sorprendente costruzione del corpo umano, risultante pure da milioni e milioni di elementi, fino alla costituzione di un'umanità organizzata e pensante, ognor più conscia del suo essere e dei suoi alti destini. L'uomo non è nella umanità che una cellula del pensiero e del lavoro; ma ogni elemento organico ebbe dalla natura il suo determinato posto e le sue precise funzioni.

Come lo sviluppo dell'umanità prosegue indisturbato il suo cammino, benchè giornalmente migliaia di individui siano fermati nella loro attività dalla morte, e tra questi pur tanti che generalmente si giudicano non sostituibili; come nell'umanità si ha un continuo ricambio tra la vita e la morte; così nell'individuo, ogni giorno, ogni ora, milioni di esseri minori terminano il loro ufficio per far posto a nuovi nati. È questa la funzione principale di ogni organismo, di allontanare ciò che è usato e sfruttato per sostituirlo con elementi nuovi e migliori. Poichè il singolo non può essere eterno, se il tutto deve crescere e svilupparsi; e la morte è il più potente aiuto per questa conservazione del tutto, secondo l'idea Darwiniana della selezione dei migliori nella lotta per l'esistenza. Ogni individuo morente è sostituito da un migliore, e la morte contribuisce al miglioramento del grande organismo, di cui l'organismo più piccolo scomparso non era che una parte.

Dappertutto in natura è alternazione e oscillazione, ricambio e circolazione di materia fra le diverse forme di esseri: nel moto dei corpi celesti, nelle variazioni seco-

lari delle temperature, con le interposte epoche glaciali, nel succedersi delle stagioni, del giorno e della notte, del sonno e della veglia. Anche i passaggi della materia da uno stato di aggregazione all'altro, la circolazione dei succhi vitali nel nostro organismo, quella dell'acqua nella Terra, l'alternarsi degli strati geologici nella formazione delle montagne, la trasformazione di corpi inorganici in corpi organici, il ritorno delle escrezioni organiche alla natura morta, sono forme di attività della materia, infaticata in questa circolazione. La decomposizione delle sostanze organiche è un fattore fisiologico della massima importanza in questa circolazione.

Colla decomposizione, i più complicati composti organici sono di nuovo ridotti in corpi inorganici e semplici. Non si tratta qui soltanto delle sostanze minerali che le piante assorbono dal terreno, ma della dissociazione degli elementi organogeni sotto forma di anidride carbonica, acqua e ammoniaca. Abbiamo già veduto che nell'organismo animale si formano anidride carbonica e acqua, eliminate poi per mezzo del sangue, poichè anche nel corpo vivente si ha continua distruzione di cellule, e i loro prodotti di decomposizione debbono essere allontanati.

Fino a che si attribuiva la formazione dei composti organici ad una misteriosa forza vitale, si comprendeva che questi composti dovessero spontaneamente scindersi appena che la vita venisse a cessare. Ma noi dobbiamo ricercare altrove le cause della decomposizione, come abbiamo cercato quelle della formazione degli or-

ganismi: la decomposizione, anche in un corpo morto, non avviene incondizionatamente, e nell'alcool e a bassa temperatura possiamo conservare lungamente corpi di animali; anzi nelle regioni nordiche, come allo Spitzberg, riescono a conservare perfettamente la carne di renna e perfino di pesce, per settimane, anche nell'estate quando la temperatura è + 5 o 10.° La ragione è, che la putrefazione avviene per opera di microrganismi, i quali non possono vivere nell'alcool, nè negli altri liquidi antisettici usati appunto per la conservazione delle sostanze organiche. Inoltre, questi microrganismi soffrono e muoiono col freddo intenso e perciò sono molto più rari nelle regioni nordiche che da noi. Vi è dunque molta analogia fra putrefazione e fermentazione; anzi, questa si può chiamare l'incipiente putrefazione di prodotti vegetali. La molecola complicata dello zucchero d'uva, sotto l'azione dei fermenti si scinde nella più semplice molecola d'alcool, e in anidride carbonica e acqua, i prodotti caratteristici di tutte le scomposizioni organiche. Si potrebbe chiamare l'alcool un prodotto di putrefazione dello zucchero, e l'aceto dell'alcool. Anche nei primi stadî della digestione, che sono caratterizzati dalle fermentazioni, si hanno decomposizioni; e le sostanze nutritive sono rese solubili per opera dei succhi gastrici che le decompongono in sostanze più semplici. Solo nell'azione assorbente delle villi intestinali ricomincia il processo di ricostruzione. Ma le sostanze non ancora assimilate, si decompongono ulteriormente, e da allora comincia nel corpo umano il vero processo di putrefazio-

ne, che avviene nell'intestino retto, per cui le materie di rifiuto prima di essere espulse sono decomposte; e ciò per opera di microrganismi, dei quali solo da poche decine d'anni è stata riconosciuta l'importanza per le funzioni vitali del nostro corpo.

Oggi si può dire che senza di questi esseri la vita sarebbe assolutamente impossibile. Eppure, sono esseri della stessa specie, cioè batteri, quelli che causano le più tremende malattie. Anche di qui si comprende come sottilmente distribuita sia l'attività della natura sull'organismo vivente. I batteri di diverso genere compiono un ufficio necessarissimo per la vita, cioè di continuare la decomposizione incipiente, e riportare alla natura morta il più presto possibile quelle sostanze ormai incapaci a sostenere la lotta per la formazione organica normale; così, queste sostanze, trasformate potranno essere utilizzate subito per nuove e migliori costituzioni. I batteri apportatori di malattie non possono aver presa in un corpo perfettamente sano, a meno che, come nelle epidemie, non vi penetrino in numero grandissimo. Essi, una volta venuti a contatto col sangue, sono sterminati dai corpuscoli bianchi, prima di poter giungere a formare colonie nei polmoni, negli intestini, o in altri organi, dove per la loro enorme intensità di riproduzione potrebbero estendere il processo dissolvente sull'intero organo attaccato, divenendo più potenti dei corpuscoli reagenti (fagociti) potentissimi protettori dell'organismo sano. Se noi riusciamo, il che si può per lo più ottenere con buone norme d'igiene e regole di vita, a mantenere

sani gli organi della digestione, i polmoni e il sangue, il corpo saprà anche nelle epidemie difendersi dalle invasioni dei batteri.

È noto che ogni malattia infettiva, che può considerarsi anche come un processo di dissolvimento degli organi, ha il suo speciale agente specifico, come di ogni fermentazione è stato scoperto il particolare fermento. Si distinguono i *bacilli*, i quali per lo più sono causa di malattie, dai *micrococchi*, a cui appartengono i fermenti che provocano la fermentazione alcoolica (fig. 409). Ma come il fermento della birra non potrebbe produrre il vino dall'uva, così quello del vino non sarebbe capace a trasformare questo in aceto. La maggior parte di questi fermenti si trovano sospesi nell'aria, e lasciando lungamente esposti all'aria i liquidi alcoolici, zuccherini, ecc.

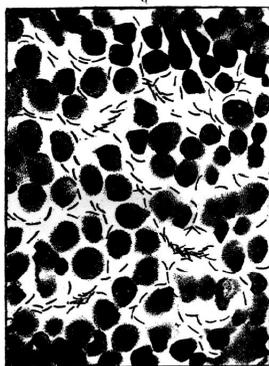
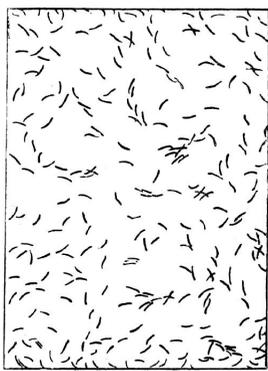


Fig. 453. — a) bacilli dell'acqua;
b) bacilli della tubercolosi.
Bacterî.

questi entrano facilmente in fermentazione, in apparenza spontaneamente, come spontaneo sembra lo sviluppo delle malattie infettive. La fig. 453 rappresenta due specie di microrganismi; l'uno

d'essi si trova in ogni acqua potabile, l'altro è il temuto

bacillo della tubercolosi.

Tutti questi microrganismi, anche quelli che comunemente diciamo fermenti, si trovano biologicamente in uno stato intermedio fra piante e animali, per quanto risulta dalle loro funzioni e caratteri chimico-fisiologici. Essi non contengono clorofilla, come mostra già il loro stesso colore, e non possono perciò scindere l'anidride carbonica come le vere piante, nè quindi assorbire il nutrimento direttamente dalla natura inorganica. Non potendo dunque esistere, se non per via di altri esseri viventi, essi si possono considerare come parassiti; da questo loro carattere deriva la possibilità del loro sviluppo nei corpi animali senza l'azione della luce, indispensabile alle altre piante; la posizione di tali microrganismi, intermediari fra il mondo animale e vegetale, spiega la loro attitudine ad agevolare il passaggio della materia dai composti organici a quelli inorganici, chiudendo così il corso circolatorio della vita.

Una speciale proprietà di questi meravigliosi esseri microscopici, che li rende particolarmente adatti a spiegare i loro effetti salutari o deleteri nei corpi viventi, è la loro capacità di svilupparsi e prosperare precisamente a quella temperatura di 37° - 40° , che è propria del sangue. Il freddo è loro assai più nocivo del caldo; si conoscono dei fermenti che non perdono la loro vitalità neppure nell'acqua bollente, e che prosperano benissimo anche nell'acqua calda e relativamente ricca di anidride solforosa, delle sorgenti termali nelle zolfatare del Vesuvio.

Non si sono trovati organismi nei fermenti della dige-

stione; ma poichè anche questi, come quelli della saliva, provocano la fermentazione in modo analogo al lievito, si può supporre che in questi *fermenti chimici* o *enzimi*, si scopriranno un giorno dei microrganismi. Questi fermenti si formano nelle cellule viventi e contengono, come i funghi, assai più azoto di quel che sia nelle vere e proprie piante; per tale carattere si accostano quasi agli animali, mentre poi, per la loro struttura e per le funzioni organiche, restano sempre ad infinita distanza dalla maggior parte delle piante.

Dove comincia il vero processo di dissoluzione, compariscono anche visibili funghi, i quali propriamente scompongono l'albumina. Poichè ogni molecola di albumina contiene un atomo di zolfo, quest'atomo nella scomposizione si unisce all'idrogeno pure liberatosi, a formare l'idrogeno solforato, al quale è dovuta quella nauseabonda esalazione caratteristica delle sostanze animali in putrefazione. Le piante al contrario contengono solo pochissima albumina, e i prodotti gassosi della loro decomposizione consistono in idrocarburi, specialmente nel più semplice di questi, il metano (v. p. 444). Inoltre, quando la putrefazione è avanzata, si ha anche sviluppo di ammoniaca, secondo il contenuto di azoto, quindi maggiore nei resti di animali che in quelli vegetali, e di anidride nitrosa e nitrica, con aumento del cattivo odore esalante dai corpi in dissolvimento.

Molto probabilmente, entrano qui di nuovo in azione i batteri; poichè l'azoto fissato nelle piante e negli animali viventi non si libera mai dai composti organici allo

stato gassoso, come invece fanno, almeno in parte, gli altri elementi organici. L'inerzia dell'azoto, una volta passato allo stato libero, è considerevole, e gli organismi non hanno apparecchi per fissare l'azoto dell'aria. Tutte le meravigliose energie chimiche e gli organi perfettissimi di cui abbiamo veduto l'incessante lavoro per la formazione di complicatissimi composti nel corpo vivente, non sono tuttavia capaci di fissare questo elemento così estremamente inerte.

Se questo fosse liberato nel processo di putrefazione, come le altre sostanze costitutive dell'organismo, ciò dovrebbe condurre alla lenta ma sicura morte di ogni essere. Ma, per mezzo del fermento nitroso, l'azoto si unisce con l'ossigeno dell'aria formando acido nitrico, che filtra nel terreno e là forma i nitrati necessarissimi per il terreno vegetale, specialmente il salnitro.

Nella decomposizione, tutte le sostanze ritornano al mondo inorganico. La circolazione della materia, che dal mondo inorganico, per mezzo delle piante, passa negli animali fino a formare le cellule del nostro cervello, nel quale tutto il mondo si riflette incessantemente, e di nuovo per la putrefazione ritorna al mondo inorganico, è così completa. La composizione chimica dell'*humus* che i processi di putrefazione danno oggi alla terra, è, alla vita vegetale, molto più adatta e vantaggiosa che non il primitivo suolo pietroso, in cui vegetarono le primissime piante. In ogni ciclo percorso dalla materia, essa viene macinata sempre più finamente, e resa sempre migliore per gli esseri viventi che da essa trarranno il nutri-

mento. Questi che noi chiamiamo cicli, sono veramente linee spirali che portano a gradi di vita sempre più elevati: spesso le discese sono più rapide delle salite, poiché è sempre più facile demolire che costruire, e così avviene sovente che le ascensioni dello sviluppo sfuggono alla nostra osservazione. Noi vediamo frequentemente le razze degenerare, ma il perfezionamento degli esseri viventi nella lotta per la vita, nel senso darwiniano, procede pur così lentamente, che si può sempre disputare sul valore e sulla generalità di questa legge, la più naturale fra tutte le leggi di natura, e che in realtà domina e regola tutti i fenomeni.

Gli atomi, pur senza istinti e senza sensazioni, cercano di prendere il posto più vantaggioso nella lotta, formando coi loro simili i composti più stabili secondo le leggi più semplici della meccanica. Questi composti più stabili e più forti disfanno quelli più deboli, e se ne appropriano le parti, per formare sostanze sempre più complesse. Si formano così molecole tanto complesse, che noi non riusciamo a riconoscerne completamente la costituzione, sebbene le loro dimensioni siano ancora molto inferiori a quelle osservabili col microscopio. I sistemi materiali si evolvono diventando sempre più perfetti, e cresce di pari passo la loro attitudine ad agire sull'ambiente, fino all'uomo, il quale comincia a dominare la natura.

Ma solo una minima parte della materia dell'universo si evolve, salendo a tale altezza. Dobbiamo credere che anche sugli altri mondi, questo sviluppo della vita ha

avuto luogo forse in altre forme, ma solo alla superficie dei pianeti; la massa interna di questi non vi prende parte e rimane materia inorganica morta. Ma qui bisogna, da un più elevato punto di vista, considerare che tutti i fenomeni che avvengono alla superficie di un pianeta sono del tutto insignificanti di fronte al compito che questo pianeta adempie nel suo sistema celeste, e di fronte alla grandiosità dei fenomeni astronomici. Il vero organismo da considerare è il sistema planetario, nel quale il pianeta si trova, come un atomo di carbonio in una molecola di albumina. La vita sulla superficie dei pianeti ha bensì bisogno di questa disposizione, di questo organismo astronomico, poichè ad essa occorre la rotazione del pianeta, la luce e il calore del sole; ma il sistema astronomico non ha bisogno della vita. Essa non è che una vegetazione parassitaria alla superficie dei corpi celesti, un fenomeno transitorio nel tempo, mentre gli astri adempiono ad un loro compito più vasto, il quale però sfugge alla nostra intelligenza.

3. – Il mondo degli astri.

La vita dipende, fino nei più delicati e particolari fenomeni, dalle condizioni astronomiche e astrofisiche nelle quali essa si svolge. Abbiamo, già più volte, detto dell'azione del Sole sulla vita vegetativa; e sappiamo che tutte le reazioni chimiche, anche quelle del ricambio negli organismi, dipendono dalle condizioni di tempera-

tura. Abbiamo rilevata l'importanza di queste alternazioni che formano il giorno e la notte, le stagioni, e anche periodi più lunghi, nei quali si producono le ère glaciali e potenti dislocazioni di materiali terrestri, che rinnovano i terreni a poco a poco esauriti dall'attività vitale, col sollevamento di letti di mare, mentre i continenti si abbassano e spariscono sotto le onde. E anche più spesso del terreno, deve essere rinnovata l'acqua, il principale costituente dei corpi viventi: per mille vene e grossi corsi, essa scorre al mare, come il sangue venoso al cuore; ma il sole ha la forza di toglierla ancora al mare purificata, sollevandola allo stato di vapore e di nubi, che poi la rilasciano cadere su tutta la terra, fornendo perenne e fresco alimento a tutte le sorgenti. Il più piccolo pesciolino utilizza questa energia solare, come l'utilizza l'uomo, colle sue gigantesche macchine a vapore, le quali spingono sugli oceani immensi edifici galleggianti.

Esaminate le forze agenti nelle macchine degli organismi viventi, forze essenzialmente chimiche e inerenti al misterioso mondo molecolare, gettiamo ora uno sguardo sulle forze agenti alla superficie terrestre e a quelle cosmiche, generatrici dei grandi movimenti, le quali sono comprese nel campo puramente fisico e restano a noi più accessibili. Questo studio costituisce una scienza a parte, la Fisica terrestre e cosmica, della quale non possiamo esimerci dal dar qui un fuggevole cenno, almeno nella parte di quelle forze fisiche che si manifestano con maggior potenza intorno a noi.

Il fenomeno più comune e manifesto è quello del corso delle acque, che abbiamo paragonato alla circolazione sanguigna dell'organismo terrestre. Da ogni parte esse affluiscono ai bacini fluviali, dove l'acque scorrono lentamente verso i bacini sterminati del mare; qui avviene la purificazione, poichè le particelle terrose si depositano nei fondi marini, e in parte si fermano nei letti dei fiumi. Anche il contenuto salino del mare agisce come purificatore, e in certo modo come disinfettante, preservando le acque marine dal divenire melmose e putride. Nel mare stesso, una circolazione interna che produce il continuo ricambio delle acque, è mossa dalle variazioni di densità dipendenti dalla temperatura. Dalle calotte glaciali dei poli, l'acqua disciolta si abbassa, formando correnti fredde sul fondo marino, simili ai fiumi della superficie terrestre, le quali si dirigono verso l'equatore; quivi gradatamente l'acqua si scalda, sale alla superficie, spinta dalla massa sottostante, per riprendere la via verso i poli.

Anche l'atmosfera risente una grande influenza dalla circolazione dell'acqua, poichè essendo questa più calda dell'aria nei climi nordici e più fredda nei tropici, comunica parte del suo calore all'aria, giovando così all'equilibrio della temperatura, per cui i climi dei paesi marini sono sempre più miti. Anche in questo vi è analogia tra il corso delle acque e la circolazione del sangue; abbiamo veduto infatti, che una delle funzioni più importanti e benefiche di quest'ultimo è la distribuzione e moderazione del calore nell'organismo. La circolazione delle

acque avviene principalmente per mezzo delle grandi correnti marine, che, come le principali correnti aeree, risentono gli effetti della rotazione della Terra.

L'irradiazione solare produce l'evaporazione di una parte dell'acqua alla superficie del mare, e quest'evaporazione avviene a qualunque temperatura, con assorbimento notevole di calore. È importante in questi fenomeni, il fatto che la massa terrestre assorbe l'energia solare, ma per via fisica, e non chimica, come le piante. Lo stantuffo della gigantesca macchina terrestre viene sollevato coll'acqua evaporante dal mare, e l'energia consumata si accumula nelle nuvole natanti sopra di noi, sempre pronta a scaricarsi con effetti ora benefici ora disastrosi.

Le molecole d'acqua vengono sollevate fino alle più alte regioni atmosferiche, per effetto del generale movimento dell'aria, dipendente, come quello del mare, dall'irradiazione solare e dalla rotazione terrestre: lassù l'irradiazione riflessa della superficie terrestre non giunge a fornire molto calore, e il vapor d'acqua si condensa allora in nebbia, passando allo stato di piccolissime goccioline d'acqua, come quelle della rugiada sull'erbe. Solo allora torna ad agire gradatamente l'attrazione terrestre e l'acqua ricade in pioggia, restituendo in lavoro meccanico l'energia accumulata. Naturalmente, l'acqua è trasportata nell'atmosfera prima di ricadere, e cadendo in regioni sufficientemente calde ritorna rapidamente allo stato di vapore ricominciando il solito ciclo. In condizioni di calma atmosferica, il passaggio a vapore e vi-

ceversa, avviene ad una determinata altezza, e noi vediamo, perciò, spesso le nuvole limitate come da strati orizzontali nettissimi. Anche quando la forma delle nuvole si mantiene lungo tempo inalterata, avviene in esse un continuo ricambio, e da ogni nuvola piove continuamente; soltanto che l'acqua cadendo non arriva fino in terra, tornando a evaporare per aria, per ricondensarsi poi di nuovo alla stessa altezza.

Se però l'umidità dell'aria diviene eccessiva, la nuvola ingrossa troppo, le goccioline d'acqua discendenti raggiungono altre sottostanti e si uniscono a quelle; e più grosse divengono le gocciole, minore diventa la resistenza dell'aria alla loro caduta, finchè raggiungono tali dimensioni e peso da poter traversare anche i sottostanti strati atmosferici più caldi senza rievaporare, e giungono alla superficie della Terra come *pioggia*.

Spesso il vapore acqueo giunge in regioni atmosferiche a temperatura inferiore a 0° : allora non si ha più formazione di nebbia, ma si formano dei cristalli di ghiaccio intorno agli atomi di pulviscolo atmosferico, i quali agiscono come centri di attrazione, e ne risulta la *neve*. L'acqua cristallizza nel sistema esagonale, e le prime graziose formazioni della neve, sono appunto stelle a sei raggi (fig. 431), che dopo essersi aggirate liberamente nell'aria, si riuniscono in sistemi maggiori, formando i comuni *focchi di neve*. Anche questi aghi cadono continuamente dalla nuvola, come le goccioline d'acqua, e debbono disporsi verticalmente per incontrare la minima resistenza nell'aria. Si può con tutta esattezza calcolare

quale deve essere l'effetto di rifrazione luminosa che una massa di questi cristallini esercita sopra un raggio di luce solare che lo traversi, e si dimostra che allora deve prodursi il fenomeno conosciuto col nome di *parelio* e *paraselene* (secondo che intorno al sole o alla luna), fenomeno assai frequente nelle regioni polari. Si formano anelli di 22 e 46 gradi di diametro, intorno agli astri luminosi, accompagnati anche da altri anelli secondari che incrociano quelli principali (fig. 454). Dove due di questi anelli luminosi, di per sè poco pronunziati, si incon-



Fig. 454. – Aloni solari.

trano, abbiamo una regione particolarmente luminosa e di queste se ne possono dunque vedere 4 e più. Il Cornu ottenne lo stesso fenomeno, con cristalli d'allume esagonali, sospesi in un liquido trasversato da un raggio lu

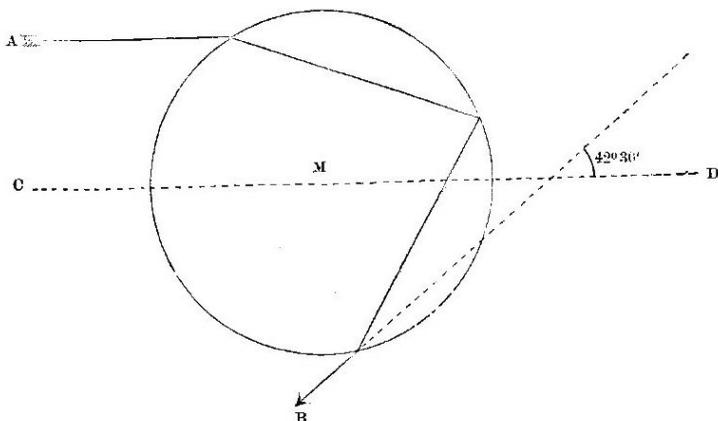


Fig. 455. – Produzione dell'arcobaleno (sole all'orizzonte). C D). orizzonte; A). raggio incidente; – B) raggio emergente di luce rossa.

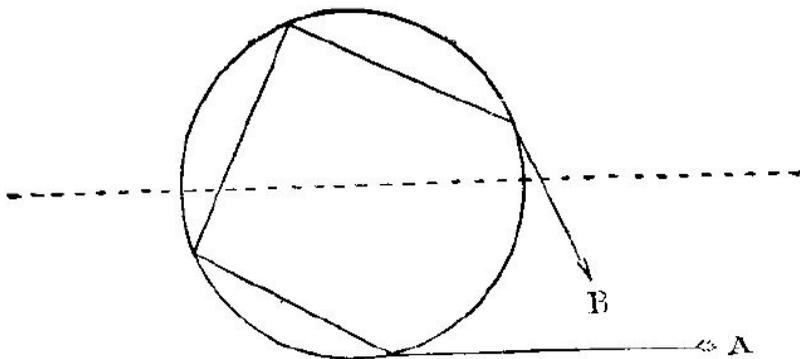


Fig. 456. – Riflessione multipla della luce nelle gocce d'acqua.

minoso. In modo analogo si forma l'arcobaleno per effetto delle gocce di pioggia. Se il Sole colpisce una goccia d'acqua, parte dei raggi luminosi sono totalmente riflessi alla superficie interna di questa, in una direzione

dipendente dal potere rifrangente dell'acqua, e così vengono a colpire l'occhio dell'osservatore; l'angolo che il raggio incidente forma con quello rifratto, deve essere diverso per i singoli colori di varia rifrangibilità, e risulta di gradi $42\frac{1}{2}$ per la luce rossa, e $40\frac{1}{2}$ per la violetta; perciò nell'arcobaleno i colori spettrali si presentano separati, il rosso al di fuori, il violetto all'interno, e la larghezza dell'arcobaleno è circa 2 gradi, cioè circa 4 diametri solari. Prolungando la linea che dal Sole giunge direttamente a noi, ossia verso la direzione opposta al Sole, la striscia rossa dell'arcobaleno formerà un angolo di $42\frac{1}{2}$ gradi con questa; perciò l'arcobaleno non sarà visibile se il Sole è più alto di gradi $42\frac{1}{2}$ sull'orizzonte, e l'arco sarà tanto maggiore, quanto più il Sole è vicino a questo, così al tramonto l'ampiezza dell'arco arriva fino a comprendere quasi metà della volta celeste. Può aversi anche un secondo arco più debole con inverso ordine di colori, se l'irraggiamento è abbastanza potente perchè siano visibili anche i raggi di una seconda riflessione nella goccia d'acqua (Fig. 455 e 456); il secondo arcobaleno comincia ad un ampiezza d'angolo di 50° , sulla linea del Sole, e termina a $53\frac{1}{2}$; è dunque più largo del primo. Molti altri magnifici fenomeni ottici sono dovuti all'umidità dell'aria, o ai corpuscoli a questa mescolati (come il pulviscolo vulcanico), e tra questi specialmente i *crepuscoli*, l'*arrossamento* del cielo all'alba e al tramonto, la tinta rosea delle vette alpine, l'azzurro cangiante del cielo, ecc.

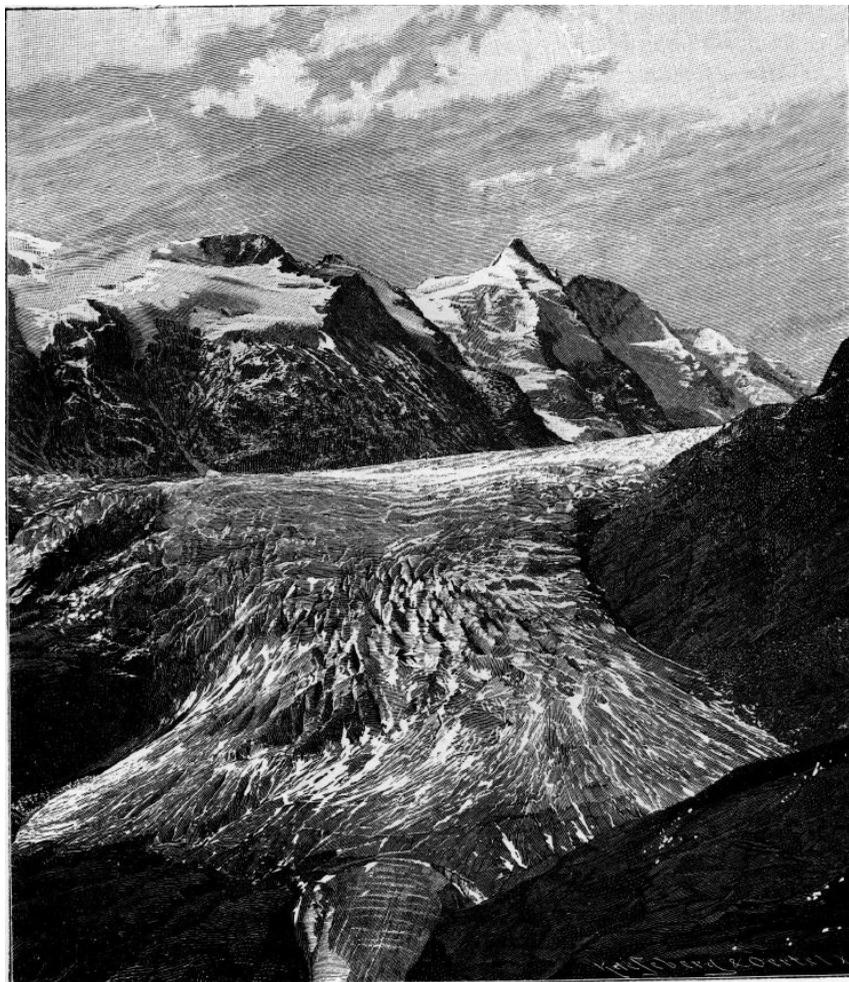


Fig. 457. – Nevaio e ghiacciaio nelle Alpi.

In ogni stagione dell'anno si formano nelle alte regioni atmosferiche aghi di ghiaccio; ma naturalmente, la neve può arrivare a terra soltanto se il freddo si mantiene sufficiente fino in basso, perchè questa non si sciogla

per aria. Nelle giornate estive si hanno violenti sconvolgimenti atmosferici, se queste nuvole di aghi di ghiaccio, che sono le più alte e hanno forma di *cirri* o *pecorelle*, si incontrano e mischiano con le nuvole di pioggia. Riproducendo fenomeni analoghi in laboratorio, ne consegue sviluppo di elettricità, che si libera dall'attrito dell'acqua col ghiaccio. Questa è secondo le ultime teorie, l'origine delle scariche elettriche. Tra gli strati atmosferici a diverso stato di temperatura ed elettricità, i fiocchi di neve sono spesso trasportati in qua e in là, come le palline di sambuco nella danza elettrica (fig. 265), e dai fiocchi, per il disgelamento e la nuova congelazione, si hanno grani di nevischio, e anche chicchi di grandine.

L'acqua, distillata dai raggi del sole e cristallizzata nelle alte regioni atmosferiche, è allo stato di massima purezza, e sarebbe troppo pura per i bisogni degli organismi viventi.

Il lieve sapore dell'acqua potabile è dovuto ai minerali ch'essa discioglie filtrando nel terreno. Sulle alte montagne, nei ghiacciai e nevai, si accumulano riserve d'acqua che servono a fornire perennemente il piano sottostante, anche nella stagione estiva quando è scarsa la pioggia. Così da per tutto in Natura, noi vediamo regolari successioni e cicli di fenomeni; scoprirne e seguirne l'ordine e il meccanismo, è uno dei più seducenti problemi che si offrono allo spirito osservatore.

Le alte punte delle Alpi, sempre coperte di neve, che sembrano sottratte ad ogni attività, ricevono e serbano a

noi risorse di vita nelle loro deserte solitudini. Invero, quanto più bello è il tempo, quanto maggiore è l'evaporazione dell'acqua non compensata da pioggia, tanto più rapidamente fonde nei nevai la neve ad alimentare, per milioni di vene, sorgenti, ruscelli, torrenti e fiumi. Perciò, i grandi fiumi che hanno le loro sorgenti nelle alte montagne hanno fra estate e inverno assai minori differenze di livello, che non altri corsi d'acqua che provengono da regioni meno elevate; così, per esempio, meno il Reno che l'Elba. Così, nelle praterie dell'America settentrionale, si dissecca in estate la vegetazione rapidamente cresciuta in primavera, perchè il terreno non è irrigato dai fiumi che abbiano le loro sorgenti nell'alta montagna. Le regolari inondazioni del Nilo sono la conseguenza delle condizioni climatiche del suo corso superiore, dove in primavera cadono abbondantissime piogge, senza che, per insufficiente elevazione del suolo e per il clima, tutta questa massa d'acqua sia conservata in forma di neve e ghiaccio.

I corsi d'acqua sono le arterie e le vene della terra. Nel loro corso superiore essi portano e distribuiscono acqua limpida e fresca, raccogliendola da milioni di sorgenti; nel corso inferiore, essi raccolgono le acque adoperate, inquinate, e le riportano al gran cuore, al mare, da cui il sole le risolleverà purificate e le farà circolare di nuovo.



Fig. 458. – Piramidi di erosione.
(Parco nazionale degli stati Uniti).

Ma anche un altro compito ha l'acqua sulla Terra; quello di portare al mare, a poco a poco, le montagne. Ogni ruscello si scava il suo letto e porta a valle pietre e sabbia; tutte le vallate alpine, e le forre che noi percorriamo ammirando, sono state in generale scavate dall'acqua e dai ghiacciai dell'era glaciale. Anche le semplici piogge e le acque superficiali possono col tempo portar via grande quantità di materiali, come apparisce in maniera caratteristica dalle piramidi che rimangono, dove una pietra incastrata ha protetto il terreno sottostante (fig. 458).

Nelle nostre escursioni di vacanze, abbiamo visto, in montagna, ruscelli pieni di grosse pietre, sulle quali l'acqua, spesso scarsa, si frangeva schiumosa, e mal ci riusciva a comprendere come la stessa acqua avesse potuto portar qui dalla montagna quei blocchi giganteschi. Ma nella

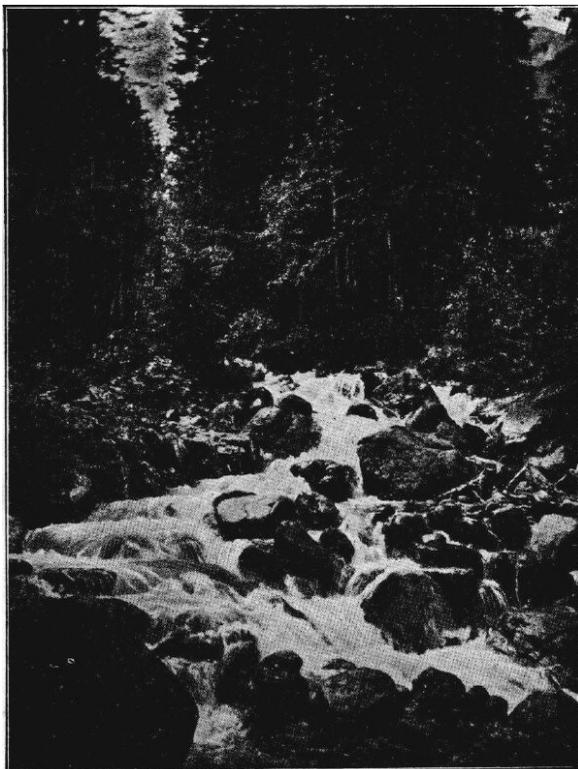


Fig. 459. – Torrente alpino.

prima estate, quando diviene intensa la fusione delle nevi sui monti, i ruscelletti limpidi diventano selvaggi e gonfi torrenti, il cui fragore sale dalla valle come un tuono, o come un lontano e non interrotto fuoco di fucileria. Il torrente allora trascina giù una grande quantità di massi, che rotolano e battono gli uni con gli altri, cosicchè sulla riva si avverte un continuo leggero tremito della terra. Con l'acqua passa una vera corrente di pietra (fig. 459).



Fig. 460. – Effetti dell'erosione delle acque.
(Montagne Rocciose).

Questa azione distruttiva dell'acqua comincia già nelle regioni delle nevi, dove l'acqua penetrando nelle fenditure e gelando, con la sua espansione esercita una enorme forza che può spaccare e triturare le rupi. L'acqua corrode incessantemente le rocce più dure; ogni rivuletto si scava nella roccia un canale che

col tempo si fa sempre più profondo. L'azione erosiva dell'acqua che così solca le montagne, finisce con lo scavare sui loro fianchi profonde vallate, vere spaccature che possono fino dividere e interrompere la catena montuosa (fig. 460); e penetrando negli strati interni della montagna, può anche minarla in modo da produrre immense rovine a valle (fig. 461). Enorme è la quantità di materiale terrestre che con l'acqua discende al mare, e il lavoro dura ininterrotto da milioni di anni. Nel seno

del mare la terra si riposa, insieme coi resti viventi in essa sepolti, a cui essa diede vita, in successioni innumerevoli di generazioni, lassù in alto, vivificata dalla inesauribile energia del Sole.

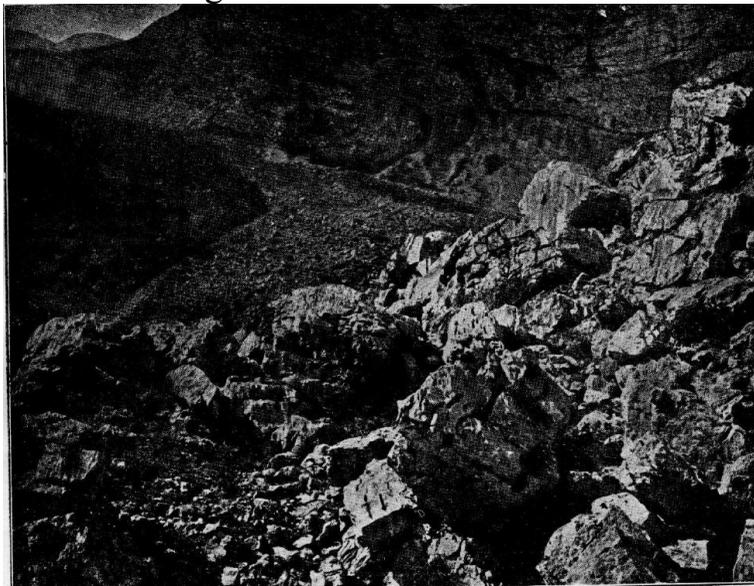


Fig. 461. – Detriti rocciosi in montagna.

Questo lavoro distruttivo dell'acqua non può certamente essere che l'arco discendente di una traiettoria segnata alla materia; poichè, altrimenti, non potrebbe esservi più alcuna montagna sulla terra, se a tale azione distruttrice non si opponesse un'azione costruttrice. Possiamo, infatti, dimenticare la forza gigantesca che sollevò il fondo dei mari antichi fino alle nubi? La geologia ci mostra che questo è realmente avvenuto: alle maggiori altezze, nelle regioni delle nevi perenni, si trovano rocce sedimentarie con resti di animali marini, e forma-

te perciò in mare. È vero, che le più elevate montagne terrestri son anche costituite di rocce cristalline non stratificate, come il granito; e si suppone che queste rocce primitive siano la prima materia formatasi quando per il raffreddamento si solidificò la superficie terrestre, prima fluida e incandescente; ma vi è chi crede, che anche i graniti siano rocce sedimentarie, cristallizzate in acque calde o trasformate dal calore; in ogni caso, esse sono le rocce più antiche, che nella serie geologica precedono tutti gli altri terreni stratificati. La fig. 462 mostra una sezione trasversale delle rocce costituenti le Alpi: dalle due parti della massa centrale di granito, si



Fig. 462. – Strati geologici nelle Alpi.

a) rocce cristalline primitive; b) schisti; c) calcare; d) gres; e) pianura.

trovano terreni sedimentari con strati quasi verticali, che originariamente dovevano coprire il granito, e furono spezzati e divisi da un improvviso sollevamento di questo, oppure, sollevatisi insieme, furono nella parte superiore portati via dalle acque; poichè le rocce sedimentarie, già lavorate dall'acqua, sono da questa, più facilmente corrose e alterate e portate via, che non le rocce primitive cristalline. Queste invece resistono molto all'azione meccanica e chimica dell'acqua, e le montagne da esse formate compiono ottimamente, e meglio di tutte le altre, la funzione di trattenere e raccogliere le ac-

que in laghi o serbatoi. Solo l'azione del ghiaccio e dei ghiacciai, di cui conosciamo la multiforme potenza, può attaccare energicamente le rocce cristalline. Così, nella Norvegia, si formarono i profondi *fiords*, in epoche più rigide dell'attuale. In tutte le regioni polari, comprese quelle che lo furono un tempo, si osserva il caratteristico aspetto che i *fiords* danno al paesaggio.

Dove cercheremo le forze che sollevano la superficie terrestre in onde, come fa il vento sulle acque? Se occorrono forze cosmiche per sollevare l'acqua dal mare e rimetterla in circolazione, ancora più intense saranno quelle necessarie a tali movimenti dei materiali solidi terrestri. Un tempo, questo compito era attribuito al vulcanismo: per il raffreddamento del nostro pianeta, la sua superficie ha dovuto contrarsi, e aprirsi in lunghe spaccature, attraverso le quali la materia fluida interna si è aperta la via traboccando. Così si diceva secondo le antiche teorie, e l'allineamento dei vulcani lungo tali linee di frattura, delle quali la più grandiosa è quella segnata dalla catena delle Ande, sembrava essere buon argomento in favore di questa maniera di vedere. Ma osservazioni più precise sulle condizioni dei vulcani, hanno fatto comprendere che il vulcanismo ha nel fenomeno una parte secondaria; cioè, che i vulcani si formarono quando già le fenditure si erano aperte, e che non ne furono la causa, ma un fenomeno conseguente. La pressione che sollevò le montagne non agì dal basso in alto ma lateralmente; fu essa che ruppe e alzò spingendole, le rocce primitive. Ma tutto questo avvenne con grande len-

tezza, e continua anche oggi sotto i nostri occhi, dove vediamo i terreni sollevarsi, senza che vi sia alcuna azione vulcanica, come nei famosi terreni di Laibach.

Le forze che sollevarono le montagne son quelle stesse che diedero alla Terra la forma che ha. Come la gravità assegna ad ogni pietra il posto nel quale tutte le forze agenti sul corpo si fanno equilibrio, così essa in ogni tempo ha fatto della superficie terrestre una superficie di equilibrio.

Questa superficie di equilibrio della Terra, noi sappiamo bene, che non è una sfera, ma, a causa della rotazione intorno all'asse polare, un ellissoide di rotazione dei cui assi si può calcolare il rapporto, che si trova poi esser coincidente con le misure. Questo rapporto dipende dalla velocità di rotazione, ossia dalla lunghezza del giorno; la quale non può che crescere col tempo, perchè tutte le varie influenze che agiscono esternamente sulla Terra, non possono che tendere a ritardare questo suo movimento: perciò deve diminuire lo schiacciamento polare e prodursi insieme uno spostamento della massa terrestre superficiale verso i poli; spostamento in vero lentissimo, perchè, secondo le osservazioni, la lunghezza del giorno in un millennio non è diventata sensibilmente più grande. Ma vi sono anche altre perturbazioni dell'equilibrio, per cui l'asse terrestre si sposta entro la terra stessa in maniera sensibile producendo un cambiamento delle latitudini. Si è trovato che questo spostamento dell'asse, ossia dei poli, ha un periodo, e segue una specie di spirale, per cui il polo in un migliaio d'an-

ni si sposta in maniera assai sensibile; e anche per questo, in tal movimento, deve aversi uno spostamento delle masse terrestri dall'equatore verso i poli.

Ma, forse, queste oscillazioni dell'asse terrestre sono piuttosto l'effetto che la causa degli spostamenti di massa che avvengono alla superficie della Terra. È provato, ormai con sicurezza, che la Terra, per cause cosmiche, è soggetta a periodiche ère glaciali, come quella in cui quasi tutta l'Europa era coperta da una cappa di ghiaccio, spessa come quella che copre ora la Groenlandia. In questo periodo, nella zona glaciale, venivano ad accumularsi grandi masse di ghiaccio, sicchè ne doveva esser perturbato l'equilibrio terrestre, e doveva prodursi un effetto di reazione. È molto significativo il fatto, che le ère glaciali si siano alternate fra i due emisferi terrestri; così ora l'emisfero sud è in un periodo glaciale, mentre noi abbiamo passato il punto medio di un'era interglaciale. Una metà della Terra viene dunque ad esser caricata di ghiaccio più dell'altra e, per l'equilibrio, deve prodursi un movimento e uno scambio di materiali fra i due emisferi: dalla zona glaciale tenderanno le masse solide terrestri a portarsi verso l'altro emisfero, le masse liquide al contrario tenderanno ad accumularvisi. L'emisfero che si trova nell'era glaciale sarà dunque più ricco di acque, l'altro di continenti: e così, precisamente, si vede essere dei due emisferi nello stato attuale.

Noi abbiamo molti indizi, che in un'epoca geologica, forse prossima a quella preistorica, un gran continente si è sommerso nell'Oceano indiano, di cui rimangono le

vestigia nelle Isole della Sonda e nell'Australia. Dall'altro lato, l'Europa del Nord si solleva continuamente fuori del mare; specialmente nella Scandinavia si è potuto accertare e misurare questo uniforme sollevamento, a cui si devono le caratteristiche coste a picco o terrazze (Fig. 463). Questo è il movimento di masse, destinato a equilibrare l'azione livellatrice delle acque.

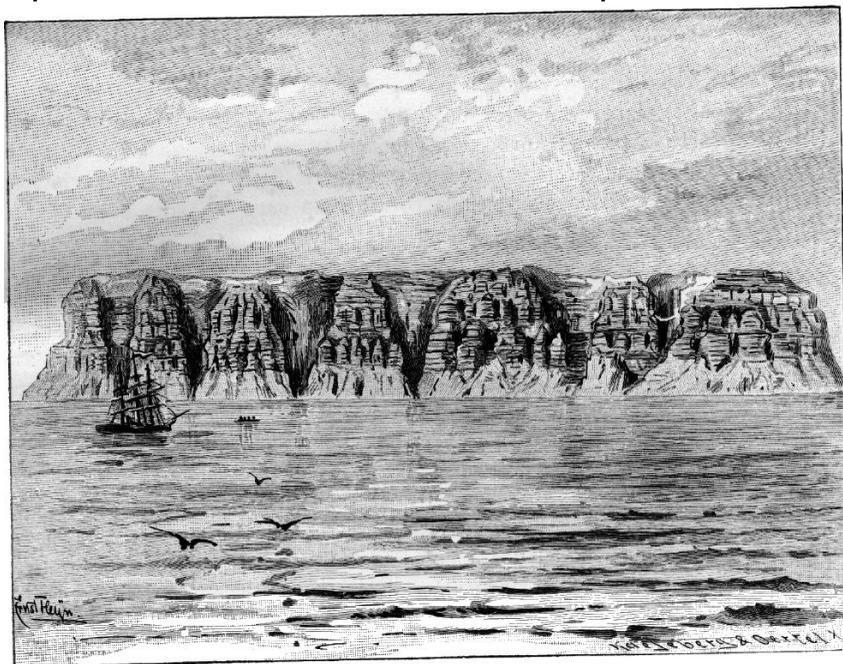


Fig. 463. – Costa a picco nello Spitzberg.

I due emisferi terrestri che l'equatore divide sono, alternativamente, l'uno continentale l'altro oceanico. Mentre l'attività dell'uno è sospesa o limitata, sull'altro fiorisce la vita, sviluppandosi ampiamente sopra un continente nuovo e fresco; così il centro dell'attività vitale

alla superficie terrestre oscilla dal Sud al Nord, e non è impossibile che le spedizioni inviate al polo Sud scoprono sotto i ghiacci le vestigia della civiltà primitiva da cui sarebbero derivate quella egiziana, cinese e indiana. Questi primitivi popoli, spinti dai ghiacci, si sarebbero avanzati nel nostro emisfero di qua dall'equatore, distribuendosi sopra i continenti, spinti verso nord da un'attrazione irresistibile che sussiste anche oggi.

Così, insieme con le stagioni dell'anno, possiamo considerare periodi, da misurarsi a millenni, alternantisi fra i due emisferi, nei quali le forze naturali trasportano e sommuovono i continenti rinnovando la vita, come a primavera il contadino rivolta le sue zolle, per renderle ancora feconde.

Le cause di questi periodi glaciali sono certamente astronomiche; e per esse son da considerare, non solo i rapporti della Terra col Sole, che fin qui abbiamo considerato come solo fattore astronomico nell'economia dei fenomeni terrestri, ma anche con gli altri pianeti del sistema. Venere e Marte e i più lontani e maggiori fratelli della Terra, Giove e Saturno, ci insegnano la strada che abbiamo da percorrere nel corso dei secoli per svilupparci ed evolverci. Tutti questi astri partecipano alla continua trasformazione della nostra Terra, come pure la Terra ha parte nelle vicende degli altri mondi per quanto esse siano diverse.

Se il nostro sistema fosse costituito solamente dal Sole e dalla Terra, noi percorreremmo la nostra orbita annuale sempre esattamente nello stesso piano, e le sta-

gioni si manterrebbero sempre nello stesso rapporto fra i due emisferi. Ma la traiettoria della Terra intorno al sole è un'ellisse, cosicchè i due astri si avvicinano e si allontanano, e il movimento della Terra è alternativamente accelerato e ritardato.

Attualmente la Terra si trova al perielio, cioè alla minima distanza dal sole, al principio dell'anno, cioè nell'inverno dell'emisfero boreale. Per questo, il nostro inverno è mitigato e alquanto abbreviato. Il contrario avviene per l'emisfero australe, per il quale l'estate coincide col perielio e l'inverno con l'afelio, cosicchè là l'inverno è più crudo e più lungo. Tale differenza climatica fra i due emisferi, porta nella temperatura media invernale, sullo stesso parallelo, una differenza di quasi 10 gradi.

Ma la Terra sente anche l'influenza dei pianeti suoi compagni, per la quale l'asse maggiore dell'ellisse, ossia la linea della minima nostra distanza dal sole, è soggetta a un movimento, che si chiama movimento della linea degli apsi. Questa linea, secondo le più esatte misure, si inverte in circa 10400 anni; dopo un tal periodo, ritorna dunque l'emisfero nord in quelle estreme condizioni in cui è ora il Sud. Il periodo delle ère glaciali è dunque di circa 21 mila anni; e in tal periodo di tempo oscilla il livello del mare, oscillano le masse continentali, cambia il centro di gravità dell'attività tellurica, passando dall'uno all'altro emisfero. Questo è il gran ciclo della vita terrestre, in cui il fondo dei mari vien sollevato e portato alla luce del sole, perchè di nuovo di-

venga campo alla vita, dopo essere stato come tomba comune negli abissi oceanici. La formazione delle montagne è indubbiamente connessa con questi movimenti, poichè, dove già si è sollevato un nucleo di rocce primitive, ivi si rompono, come le onde sul lido, i terreni mobili e si sovrappongono, come nel periodo terziario è avvenuto intorno al massiccio delle Alpi. Quell'acqua che nel suo libero stato tanto lavora alla distruzione delle montagne, contribuisce a farle sorgere, quando pel freddo sia essa stessa divenuta una roccia. Così, sempre meglio vediamo agire nella natura questi mirabili regolatori che assicurano la stabilità o la perpetua e progressiva alternazione dei fenomeni.

Ma ancora altre cause cosmiche agiscono per produrre questa dislocazione delle masse terrestri, cause la cui azione non può essere seguita nel tempo e soggetta a previsioni e misure. Così agisce, lo abbiamo già visto, il progressivo rallentamento della rotazione terrestre. Vi contribuisce indubbiamente la grande quantità di materiale meteorico che continuamente cade sulla terra, a cui la terra deve comunicare il movimento proprio a sue spese. L'effetto è certo piccolo, ma nel corso di millenni è possibile che sulla terra cadano anche grosse masse dallo spazio celeste, dove non mancano; e l'urto, che prescindendo da una locale catastrofe, non dovrebbe avere per noi alcun effetto dannoso, potrebbe essere la causa di un permanente spostamento dell'asse terrestre, che allora porterebbe per conseguenza anche un lento spostamento della massa terrestre. Le attuali oscillazioni

dell'asse terrestre sono forse gli effetti postumi di un tale avvenimento; come pure è possibile, che la terra abbia avuta, una volta, una seconda luna più piccola e più vicina, che poi precipitò su di essa.

Tali incontri o urti di corpi celesti avverranno tanto più raramente, quanto più grandi son questi, perchè i grandi corpi celesti sono in molto minor numero dei piccoli. Per la vita dei grandi corpi celesti, gli urti disastrosi sono soltanto raramente temibili, e il loro regolare sviluppo può compiersi tranquillamente in molto lunghi periodi di tempo. Certamente, sono in ogni luogo possibili delle catastrofi, che pongano un termine inatteso alla nostra esistenza. Fra i milioni di stelle che empiono il firmamento, solo raramente, appena ogni diecina d'anni, ne compare una nuova ad annunziarci col suo splendore improvviso una di tali catastrofi. La stella nuova apparsa nel 1901, alla fine di febbraio, nella costellazione di Perseo, è uno dei casi più belli e notevoli di questo genere. Ma vi furono sempre stelle, le quali dapprima non brillavano affatto o debolmente, che per alcune settimane o mesi si accesero di nuova luce, per estinguersi poi di nuovo, a poco per volta: non mai però si videro soli splendidi, del genere del nostro, urtarsi insieme e cambiare in tal guisa repentinamente la loro luce. Tutte quelle stelle erano morte da lungo tempo, erano nell'arco discendente della loro esistenza, e forse l'avvenimento catastrofico non fece che accelerarne la trasformazione, riportando la materia a nuovo splendore.

Nei sistemi di mondi ormai vecchi, debbono veramente queste collisioni avvenire più frequentemente, perchè i pianeti sempre più si avvicinano al loro sole, raffreddandosi, e finalmente vi cadono: appunto come, nei sistemi molecolari, gli atomi si accostano sempre più al comune centro di gravità, fino a riunirsi tutti insieme quando la temperatura sia discesa allo zero assoluto. In questo più alto grado di sistemi materiali che noi possiamo sensibilmente conoscere, nei sistemi celesti, il movimento dei pianeti intorno al centro di massa del sistema, corrisponde nell'effetto a quella forza latente che nei sistemi atomici abbiamo chiamato energia potenziale o forza di tensione, che tende sempre a diminuire, mentre l'energia di movimento delle masse tende ad aumentare. Questo principio possiamo nei sistemi celesti seguirlo assai meglio che in quelli molecolari.

Quando un astro nella sua corsa ne incontra un altro più piccolo e meno veloce, può trascinarlo via con sè, comunicandogli una parte della propria velocità, che ne sarà diminuita: la forza viva totale rimane invariata, ma il sistema ingrossato eserciterà verso l'esterno una forza maggiore. I corpi celesti si ingrossano come le molecole. Ci ripeteremmo troppo, se ancora una volta mettessimo in rilievo l'analogia fra i sistemi atomici e quelli celesti, cosa che nel corso di quest'opera abbiamo fatto ripetutamente.

Le spirali delle rivoluzioni, le vediamo sempre più allargarsi. I sistemi che hanno vissuto, in cui tutti i pianeti sono di nuovo riuniti col loro sole e hanno esaurito tutta

l'energia potenziale, son ridotti allo stato di semplici atomi celesti, che posseggono soltanto movimento ed energia cinetica, senza aver modo di adoperarla. Ma, in grazia di questo movimento, l'atomo celeste cerca ora nello spazio un compagno, per formare, incontrandosi con lui, un nuovo e maggiore sistema, ossia, diremo, una nuova molecola; così comincia una circolazione più grande di quella percorsa, che può portare ad un grado di sviluppo, quale prima non sarebbe stato possibile.

E poichè tutti i fenomeni fisici o chimici si riducono a movimenti della materia, devono ripetersi in ogni sistema più elevato tutti questi fenomeni; e nulla vi è di contraddittorio nel supporre, che vi siano gradi di sviluppo, in cui gli astri siano gli atomi e che per corrispondenti organi sensori possano fare le stesse impressioni, come su noi il mondo che ci circonda. Rispetto alle nostre vedute generali, nulla vi è di fantastico, o in certo modo di soprannaturale, nell'ammettere la possibilità che tutta la via lattea coi suoi milioni di soli, non rappresenti altro che una molecola di albumina di un essere vivente, del quale noi uomini abitiamo un atomo. Specialmente, rispetto all'unità delle forze naturali, la costituzione dell'uno o dell'altro sistema materiale e le loro condizioni di movimento sono identici. Dobbiamo dunque assegnare un termine, una fine all'universo? Ciò non riuscirà mai: gli ordini dei fenomeni e delle entità naturali si perdono, sopra o sotto di noi, nell'infinito. Noi vediamo e consideriamo solo quegli ordini di cose per cui i nostri organi sensori, il nostro sistema nervoso e il nostro spi-

rito sono stati creati.

Ma possiamo chiamarci felici, poichè ci è concesso di riconoscere l'esistenza di questi successivi ordini di cose, che ci conducono sempre più avanti e sempre più in alto.

La fisica non vuole, invero, render piena giustizia a quest'ultimo principio dell'evoluzione progressiva e saliente: ma sulla via tracciata da Clausius può considerare l'*entropia* dell'universo. Accanto al principio incrollabile della conservazione dell'energia, bisogna riconoscere un altro principio: cioè, che le due specie di energia, quella cinetica e quella potenziale, possono bensì tramutarsi continuamente l'una nell'altra, come difatti vediamo avvenire; ma che questa trasformazione si fa con una certa legge e avviene solamente in uno certo verso; e che, precisamente, in un sistema isolato, sul quale, cioè non agiscano forze esterne, l'energia potenziale tende a cambiarsi in energia cinetica. Ma questa, non compiendo alcun lavoro esterno, avvenuta che sia la trasformazione, il sistema diventa incapace di ogni altra trasformazione o evoluzione. E questo, che vale per ogni sistema isolato, deve pur valere per tutti i sistemi materiali che formano l'Universo. Tale appunto fu la conclusione prima a cui si giunse, quando si osservò che il calore, qualunque fosse la sua natura, passava sempre da un corpo più caldo a uno meno caldo; cosicchè alla fine, stabilitosi l'equilibrio termico nell'Universo, tutti i movimenti fisici della materia, i quali non sono altro che forme di calore, dovrebbero cessare.

Ma, secondo i nostri concetti, le due forme di energia non sono sostanzialmente differenti. Il movimento rotatorio di una massa di un sistema, o planetario o molecolare, non produce verso l'esterno una forza speciale, come se l'attrazione della massa centrale fosse cresciuta. Una pietra meteorica che gira intorno al sole, rappresenta solo energia di tensione; ma questa, che è per lo spazio celeste energia potenziale, diventa cinetica, quando la pietra meteorica incontrando la nostra atmosfera, si arroventa dando luogo a un grande sviluppo di calore. Non vi è dunque alcuna differenza nelle trasformazioni di queste due energie, quando si considerino i fenomeni nel loro complesso.

Gli atomi primitivi che ancora non si sono scontrati con alcun altro loro eguale, posseggono solamente forza viva: ma quanto più si aggruppano e formano sistemi complessi, tanta più di tal forza viva si trasforma in energia di tensione, consistente nel movimento reciproco delle singole masse attorno al comune centro di massa. Ma anche questa deve diminuire, perchè non vi è nell'universo alcun movimento senza resistenza, e perchè nessun sistema è isolato; e quando tutte le masse del sistema si siano insieme congiunte e saldate, il movimento interno sarà diventato nullo. Ma il sistema avrà ancora il suo movimento progressivo, e questo potrà comunicarsi ad un altro, nel quale scambio l'energia cinetica potrà ancora diventare energia di tensione e movimento interno, i quali poi, anche qui, potranno diminuire e annullarsi, e così via. Le masse diventeranno sem-

pre più grandi, e il loro movimento sempre più piccolo; e così siamo condotti alle stesse conclusioni a cui ci conduce il principio del continuo accrescimento dell'entropia.

Noi faremo un passo avanti, se facciamo successivamente diminuire anche la forza di tensione in cui si tramuta continuamente la forza viva; poichè la forza viva comunicata ad ogni singolo atomo non può essere infinita, e decrescendo continuamente, deve in un certo tempo necessariamente ridursi a zero; per i diversi gradi di sviluppo, gli atomi primitivi vengono sempre più a trovarsi nello stato dei corpi celesti.

Un atomo di idrogeno, che noi portiamo fino a pochi gradi dallo zero assoluto, ha ancora un certo movimento di tensione, e poichè è liquido, anche un po' di energia cinetica, in confronto col suo recipiente, il quale partecipa ai movimenti cosmici della terra. Un tale atomo avrà dunque, rispetto a un punto fisso dello spazio, la velocità di alcune diecine o centinaia di chilometri al secondo, mentre se esso è formato di atomi primitivi o eterei, deve avere avuto una volta la velocità della luce. E ora, contribuisce alla costituzione del nostro mondo terrestre e alla conservazione della vita, per la quale occorrono tali movimenti relativamente piccoli.

Ma gli atomi eterei liberi, da tutte le parti arrivando, penetrano questi sistemi di atomi materiali, apportandovi la loro energia; per quello che ci permettono i nostri mezzi di indagine, il numero e la energia di questi atomi primitivi, da cui dipendono i movimenti dei corpi cele-

sti, la loro luce e tutte le proprietà della materia, rimangono invariate. La quantità di questi atomi primitivi dobbiamo dunque considerarla infinita, non assegnando principio al tempo, poichè non è ancora sopraggiunto lo stato della eguale entropia; e perciò essa non avverrà mai.

In ultima analisi, anche la legge della conservazione dell'energia si fonda sopra questa perpetua presenza e forza degli atomi primitivi. La materia senza moto non ha di per sè alcuna proprietà. Se il numero o la velocità degli atomi primordiali variasse, varierebbero pure le proprietà della materia e specialmente quella che ci apparisce come energia. È un errore, che si ode spesso, il dire che la legge della conservazione dell'energia, porta alla conclusione che l'energia totale contenuta nell'Universo è costante; in tal caso sarebbe una costante anche l'infinito. È pure errore l'uscire dai limiti del fatto in sè esatto, e, poichè una parte finita dell'Universo, separata dall'infinito rimanente, deve arrivare allo stato di energia per mancanza di movimento, trarne la stessa conclusione per il tutto. L'ipotesi della limitazione o isolamento di un sistema è cosa in sè impossibile e fuori d'ogni esperienza: tutto in natura è collegato in catena non interrotta, e noi riprendiamo le forze perdute dall'infinito inesauribile. Nell'intero universo regna quell'equilibrio di forze e di attività che noi vediamo nel campo del mondo a noi accessibile.

Dalla prima collisione centrale di due atomi primordiali, per cui tutta la loro energia si annulla ma ne nasce

un corpo più grande che è capace di esercitare forza, di procedere verso gli altri, e unirsi, formando come la pietra angolare di una nuova costruzione, noi vediamo tutti i corpi dello spazio ingrossarsi continuamente, completare la loro struttura, aggruppandosi sempre più sotto la grandine degli urti atomici. Solo l'accrescimento è possibile, sebbene possa avere i suoi periodi oscillanti: solo il più grande può distruggere il più piccolo e ingrossarsi così anche di più. L'evoluzione procede sempre più in alto, sopra base sempre più grande. Gli atomi diventano corpi celesti, e questi sono ancora atomi di un grado più elevato. Non vi è fine e termine, se non nella insufficienza dei nostri sensi e del nostro intelletto.

FINE