



Domenico Scinà  
**Elementi di Fisica Particolare**  
**Vol. I**



[www.liberliber.it](http://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!)

<http://www.e-text.it/>

QUESTO E-BOOK:

TITOLO: Elementi di Fisica particolare - Vol. I

AUTORE: Scinà, Domenico

TRADUTTORE:

CURATORE:

NOTE:

CODICE ISBN E-BOOK:

DIRITTI D'AUTORE: no

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

TRATTO DA: Elementi di fisica particolare / dell'abate Domenico Scina. - Milano : Soc. tip. de' classici italiani, 1833. - 306 p., 4 c. di tav. : ill. ; 22 cm.

Le incisioni fuori testo sono tratte dall'edizione di Palermo : dalla Tipografia Reale di Guerra, 1829-1830.

CODICE ISBN FONTE: manca

1a EDIZIONE ELETTRONICA DEL: 14 ottobre 2013

INDICE DI AFFIDABILITÀ: 1

- 0: affidabilità bassa
- 1: affidabilità media
- 2: affidabilità buona
- 3: affidabilità ottima

DIGITALIZZAZIONE:

Ruggero Volpes, r.volpes@alice.it

REVISIONE:

Gianluigi Trivia, gianluigitrivia@yahoo.com

IMPAGINAZIONE:

Ruggero Volpes, r.volpes@alice.it

PUBBLICAZIONE:

Catia Righi, catia\_righi@tin.it

### **Informazioni sul "progetto Manuzio"**

Il "progetto Manuzio" è una iniziativa dell'associazione culturale Liber Liber. Aperto a chiunque voglia collaborare, si pone come scopo la pubblicazione e la diffusione gratuita di opere letterarie in formato elettronico. Ulteriori informazioni sono disponibili sul sito Internet:

<http://www.liberliber.it/>

### **Aiuta anche tu il "progetto Manuzio"**

Se questo "libro elettronico" è stato di tuo gradimento, o se condividi le finalità del "progetto Manuzio", invia una donazione a Liber Liber. Il tuo sostegno ci aiuterà a far crescere ulteriormente la nostra biblioteca. Qui le istruzioni:

<http://www.liberliber.it/aiuta/>

# Indice generale

DELLA FISICA PARTICOLARE.....	7
Capo primo – Delle affinità.....	8
Capo II. – De' fenomeni capillari.....	21
DELLA LUCE.....	53
Capo primo – Della luce diretta.....	55
Capo II. – Delle ombre.....	76
Capo III. – Della diffrazione della luce.....	86
Capo IV. – Della luce riflessa.....	105
Capo V. – Della rifrazione.....	150
Capo VI. – Della rifrazione della luce per mezzo dei vetri sferici.....	165
Capo VII. – Della luce rifratta pei prismi, e in particolare della dispersione della luce.....	184
Capo VIII. – Degli anelli colorati e dei diversi colori dei corpi.....	207
Capo IX. – Della doppia rifrazione e polarizzazione della luce.....	228
Capo X. – Della visione e degli strumenti ottici.....	272
DEL CALORICO.....	310
Capo primo – Del calorico che dilata i corpi e del calorico specifico.....	313
Capo II. – Del calorico che cangia lo stato de' corpi, e del calorico latente.....	334
Capo III. – Del calorico raggiante.....	349

Capo IV. – Della propagazione del calorico.....	363
DELL’ELETTRICITÀ PER ISTROFINIO.....	378
Capo primo – Della macchina elettrica, e delle ipotesi che dichiarano i fenomeni elettrici.....	379
Capo II. – Dell’influenza elettrica, dell’elettroforo e del condensatore.....	391
Capo III. – Della legge giusta cui varia in distanza la forza elettrica e de’ conseguenti che ne derivano..	403
Capo IV. – Delle attrazioni e ripulsioni, e degli elet- troscopj.....	412
Capo V. – Delle scintille, della forza delle punte e di altri fenomeni elettrici.....	420
Capo VI. Della boccia di Leida e delle batterie elettri- che.....	429
INDICE DEL TOMO PRIMO DELLA FISICA PARTI- COLARE.....	448

ELEMENTI  
DI FISICA PARTICOLARE

DELL'ABATE  
DOMENICO SCINÀ  
P. PR. NELLA R. UNIVERSITÀ DI PALERMO

TOMO I.

MILANO  
DALLA SOCIETÀ TIPOGR. DE' CLASSICI ITALIANI

MDCCCXXXIII

## DELLA FISICA PARTICOLARE

I fenomeni che imprendiamo a spiegare in questa parte della Fisica che dicesi particolare, suppongono e ci manifestano nelle molecole dei corpi una forza per la quale le une tendono verso le altre, e però chiamasi *attrazione molecolare*. Ma come le molecole dei corpi in virtù di sì fatta forza non giungono mai, come dovrebbero, ad un intero perfettissimo contatto; così è chiaro che vi abbia una causa interiore e generale che le respinga, e dal contatto tenda ad allontanarle, e di fatti le tiene lontane; e questa causa, che credesi da alcuni essere il principio del calore, denominasi oggi *calorico*. L'attrazione quindi e il calorico sono sempre in contrasto operando sulle molecole dei corpi, e questi secondo la varia energia di quelle due forze sono costretti a pigliare stati diversi. Prendono lo stato di solidi, quando l'attrazione vince la forza (del calorico) che respinge; di liquidi, quando queste due forze sono quasi in equilibrio; e di fluidi aeriformi, allorchè il calorico supera l'attrazione che tende ad unire le molecole. E perchè molte sono le cause esteriori che operano di continuo, ajutando o contrastando il vigore di quelle due forze; così avviene che i corpi mutano di continuo stato, e secondo che prevale l'energia dell'una o dell'altra, si separano e scompongono, o pur separati si uniscono e combinano. Per lo che i corpi altro non sono che aggregati di molecole agitate di

continuo dalle due forze attrazione e calorico, che mutano di continuo il loro stato, e di continuo si scompongono e combinano, e per cui tutto nell'atmosfera e sulla terra di continuo si distrugge, e sotto altra forma risorge trasmutato. Ora mirando la Fisica a dichiarare i fenomeni che han luogo intorno a noi, non si può fare a meno di conoscere le leggi giusta le quali operano sulle molecole dei corpi i due principj opposti, l'uno che le attira e l'altro che le respinge; imperciocchè quelli hanno a loro cagione d'ordinario o in parte o in tutto le mutazioni di stato, e le composizioni o scomposizioni dei corpi. Per lo che la Fisica chiama oggi in ajuto la Chimica, che si occupa in particolare della composizione e scomposizione dei corpi; e queste due scienze, che prime camminavan divise, si sono oggi per comune vantaggio riunite in tal modo che non di rado riesce assai difficile in alcuni argomenti d'assegnare i limiti che le separano. È tanto l'ordine ed il legame che unisce le diverse parti dell'universo, che le scienze, a misura che si vanno perfezionando, debbono tra loro unirsi, affinchè col mutuo aiuto si possano con sodezza e facilità interpretare le operazioni della natura.

## CAPO PRIMO — DELLE AFFINITÀ.

1. Sebbene l'attrazione molecolare si reputi comunemente una modificazione della gravitazione; pure non è con questa da confondersi, poichè opera di molecola a



molecola e quasi in contatto; laddove la gravitazione si manifesta tra le masse e in distanza. Anzi, secondo che l'attrazione unisce molecole omogenee o pure eterogenee, si distingue con diversi nomi, chiamandosi nell'unir quelle *forza di coesione*, e nell'unir queste *affinità*. Però colla forza di coesione si formano i corpi *semplici*, le cui particelle sono omogenee e diconsi *integranti*, e coll'affinità i *composti*, le cui molecole sono eterogenee e diconsi *componenti*. Ora l'affinità, che è causa della composizione de' corpi, varia per gradi e sino all'infinito nelle loro molecole, e colla sua differente energia separa e combina de' corpi diversi. Conoscere quindi le leggi giusta cui avvengano le composizioni e scomposizioni, è lo stesso che stabilire i modi certi e costanti coi quali opera l'affinità, sia che combini particelle integranti o componenti dei corpi semplici o composti.

2. Cominciando, per proceder con ordine, a considerare l'affinità che opera tra le molecole integranti di due corpi semplici, egli è certo che questa forza opera con più facilità quando i corpi son liquidi. Poichè le molecole, che ne' liquidi stansi slegate, più facilmente s'avvicinano al contatto, e basta una semplice agitazione per determinare l'azione dell'affinità e la loro unione. Ma nei solidi la forza di coesione impedisce all'affinità d'operare di molecola a molecola; ed anche nel caso che uno dei corpi sia liquido e l'altro solido, non può per lo spesso quello vincer la forza di coesione di questo, ed al più annunzia la sua affinità aderendo al solido ed umettandolo. Per agevolare quindi l'azione delle affinità tra i so-

lidi, si sogliono questi separare meccanicamente tritandoli in polvere, o pure fondendoli. Così il rame e lo stagno si combinano per via della fusione, la quale separa le loro particelle integranti. In questo senso la forza di coesione, che unisce, può essere un ostacolo alle combinazioni, e il calorico, che separa, le può favorire. Il caldo, il freddo del pari o in generale la temperatura può aiutare o contrastare l'affinità, aiutando o contrastando la forza di coesione; e la molla dei fluidi aeriformi che allontana le molecole, e la compressione che meccanicamente le avvicina, possono difficolare o facilitare l'azione dell'affinità che può solo operare a insensibili distanze.

Si può ora comprendere come, distrutta la forza di coesione, si separano alcune sostanze dai liquidi, nei quali sono sciolte. Il sale che è stato disciolto può, per mezzo dell'evaporazione del liquido che lo scioglie, pigliare una forma solida e regolare, o, come dicesi, *cristallizzare*. Mescugliando del pari una soluzione di barite con acido solforico dilavato, si osserva che questo acido si unisce alla barite, e formasi un solfato di barite, che diventando più denso e più grave del fluido, cade al fondo del vaso, e piglia il nome di *precipitato*; sicchè egli è vero che tolto l'ostacolo della coesione l'affinità opera con tutta l'energia.

3. Ora la barite è un composto di ossigeno e di *barium*, ed un composto d'ossigeno e di zolfo è l'acido solforico. E come questi due composti si uniscono tra loro nel modo che farebbero due corpi semplici; così è

chiaro che le molecole costituenti avvicinandosi operano tra loro nella stessa guisa che fanno le integranti. Ma trattandosi de' corpi composti sono da esaminarsi più casi per conoscere quanto meglio si può, secondo lo stato presente delle nostre cognizioni, la legge della loro composizione e scomposizione. Il primo è quello in cui un corpo è scomposto da un terzo; così la calce scompone l'acido carbonico dalla potassa, e formasi un carbonato di calce. Questo genere di fenomeni diede luogo alle affinità elettive del Bergmann, perciocchè costui si pensò che alcune molecole de' corpi si univano di preferenza e con più piacere con certe altre, e però unendosi la calce con più avidità coll'acido carbonico, che non fa la potassa, quella a questa lo toglie. Berthollet fu il primo che ci recò delle leggi con che spiegar si potessero più regolarmente le chimiche azioni. Unì all'affinità la considerazione della massa, e dal prodotto di questi due elementi ritrasse l'energia delle molecole ad unirsi, o sia la loro forza chimica. Per lo che con debole affinità e molta massa, o pure all'inverso con piccolo numero di molecole fornite di forte affinità si possono avere forze chimiche eguali che producono gli stessi effetti, e che si possono fra loro equilibrare quando si contrastano.

4. Ma per meglio comprendere le idee del Berthollet, è da sapersi che quando una sostanza va combinandosi con un'altra, e quella quantità ne piglia che corrisponde al vigor della sua forza, si dice *sazia*, e il punto in cui vi giunge si chiama di *saturazione*. In tale stato la forza chimica d'una sostanza è nulla, perchè già è sazia, e so-

lamente può crescere o decrescere a misura che s'allontana o pure si avvicina al punto di saturazione, perchè tanto più cresce o decresce la porzione che non è sazia, e perciò che opera. Così la calce leva acido carbonico alla potassa che ne è sazia, ma a misura che ne va pigliando, la sua forza s'indebolisce, ed all'inverso sorge e va crescendo la forza della potassa a misura che ne va perdendo. E però per questi successivi aumenti e decrementi si giunge ad un punto in cui la forza della calce e della potassa sono eguali e contrarie, e si equilibrano. Allora la calce non potrà più levare acido carbonico alla potassa, e questa ne riterrà sempre una parte proporzionale alla forza, con che resiste e si equilibra a quella della calce. Non succede adunque in tali casi una perfetta scomposizione d'un corpo, e una perfetta combinazione d'un altro, ma una divisione d'una sostanza tra due in parti che sono proporzionali alle rispettive loro forze, con che si equilibrano. È questa la ragione per cui sulle prime non si può mai spogliare interamente una sostanza d'un'altra, con cui è combinata, per mezzo d'una terza. Così per levarsi del tutto l'acido carbonico alla potassa bisogna presentare dopo la prima una seconda, una terza quantità di calce, e forse più, affinchè queste novelle masse possano levare le porzioni d'acido carbonico che restate erano alla potassa.

5. Ma Berthollet non seppe con egual felicità applicare questi principj ai casi più intrigati, quali sono quelli in cui avvengono le scomposizioni reciproche dei sali. Ove si mette in un liquido il sale idroclorato di barite e

il sale solfato di soda, s'osserva che spontaneamente si forma il sale solfato di barite che si precipita, e il sale idroclorato di soda (sal marino) che resta in dissoluzione. I chimici, a dichiarar questo fatto in cui i due acidi idroclorico e solforico si barattano la soda e la barite, aveano recato innanzi delle affinità ch'essi chiamavano *divellenti*, annunziando con questi nomi più presto la loro ignoranza che la ragione del fenomeno. Berthollet dunque rigettò queste affinità *divellenti*, e portò opinione, in quella reciproca scomposizione di sali niente operare l'affinità. I due sali, dice egli, idroclorato di barite e solfato di soda sono ciascuno allo stato di saturazione, in cui han già perduto le loro rispettive proprietà, e perciò formano una combinazione che dicesi *neutra*. Dal che deve avvenire che l'acido del primo sale perduto avendo la qualità di acido per la combinazione colla barite, non può esercitare alcuna affinità col secondo, e per la stessa ragione l'acido del secondo non può esercitare alcuna affinità colla barite del primo. Lasciate quindi da parte le affinità, si rivolse egli ad alcune proprietà fisiche delle molecole delle due sostanze combinate, come è l'attitudine che hanno esse in vicinanza ad unirsi per formare un composto solubile o insolubile, capace o no di fondersi, o di rendersi volatile, o pure di cristallizzarsi. Con questo intendimento, crede egli che le particelle dell'acido solforico in contatto con quelle della barite fisicamente si agglomerano e formano un composto o sale insolubile che si precipita, ed all'inverso le particelle dell'acido idroclorico in contatto con quelle della soda

son disposte a combinarsi, e formano un sale solubile che di fatto resta disciolto.

6. Tutte queste maniere di spiegare le chimiche azioni non parvero bastevoli a dichiararle senza sforzo e naturalmente; anzi son tutti oggi d'accordo che abbia questo egregio chimico concesso alla massa dei corpi più influenza che non si conveniva nell'esercizio delle affinità, che operano nel contatto, e non in distanza. Per lo che è stato introdotto dal Davy e da tanti altri il sistema elettro-chimico, con cui l'affinità chimica si fa essenzialmente dipendere dallo stato elettrico dei corpi. L'elettricità oggi si divide in due fluidi, l'uno *positivo* e l'altro *negativo*, ed è loro proprietà che le molecole fornite della medesima elettricità si respingono, e quelle che l'hanno di nome contrario si attirano. Per lo che Davy pose a principio che due corpi le cui molecole sono in uno stato contrario di elettricità, se tali stati sieno così gagliardi che la loro forza attrattiva vinca quella d'aggregazione, si mettono in combinazione. È questo principio la base del sistema *elettro-chimico*, che è stato con ipotesi dilatato dal Berzelius e dall'Ampère, poichè questi ha supposto in tutte le molecole dei corpi un'elettricità propria, e quegli dei poli o sia dei punti, in cui risiede il vigore dell'elettricità che è diverso nelle diverse molecole. Ma che che sia di tali pensamenti, egli è certo che molti sono i travagli che finora si sono fatti e si vanno ancora facendo per dimostrare l'influenza della elettricità nelle azioni chimiche, e rischiarare così il fenomeno delle affinità. Si crede che lo stato positivo o ne-

gativo delle molecole dei corpi aumenta o diminuisce la loro attrazione, e però sono venuti i chimici a stabilire che due corpi si combinano tanto più facilmente quanto più è intensa la loro elettricità contraria. Dichiarano del pari come si possono scomporre due corpi in presenza di un terzo, le cui molecole dotate sono d'una elettricità la quale abbia un'energia diversa in riguardo ai due corpi componenti. Spiegano in fine le scomposizioni reciproche dei sali per via delle differenze che corrono così tra le affinità che tra le energie elettriche. La stessa compressione, che vincendo la forza del calorico ravvicina le molecole e favorisce la composizione dei fluidi aeriformi, ripete oggi la sua influenza dall'elettricità; perciocchè Becquerel ha dimostrato che la pressione determina uno stato elettrico differente tra due corpi, di cui uno sia fornito di molla. Il fluido elettrico in questo modo esistendo tra le particelle dei corpi diminuisce o aumenta la loro attrazione secondo lo stato loro positivo o negativo, e modificando continuamente la materia diventa cagione e principio di composizioni e scomposizioni.

7. Da ciò che si è detto sin qui si può argomentare che sebbene comparisca di succedere le combinazioni tra le masse dei corpi; pure non abbiano luogo in realtà che tra le ultime particelle dei corpi, che da' chimici sono chiamate *atomi*, perchè incapaci sono di divisione e diminuzione. Però oggi si distinguono gli atomi in *semplici* o *elementari*, ed in *composti*, e questi si dividono da alcuni in ordini diversi, chiamando atomi di *primo ordine*

quelli che formati sono dalla unione degli atomi di due corpi semplici; di *secondo ordine* gli altri che formati sono dalla unione degli atomi di primo ordine, e così successivamente. I chimici adunque si sono rivolti a indagare i fenomeni della combinazione di atomo ad atomo. Ha dato peso a siffatte ricerche la dottrina che chiamasi delle *proporzioni determinate*, secondo le quali si uniscono le sostanze nel combinarsi; poichè date per costanti queste proporzioni, non è cosa fuor di ragione il supporre che la combinazione avvenga tra un atomo d'un corpo e un atomo d'un altro corpo, ed anche tra un numero determinato d'atomi d'un corpo e un numero determinato d'atomi d'un altro. Tra i fatti principali su i quali fondasi la dottrina delle proporzioni determinate, si può in prima recare quello delle scomposizioni reciproche dei sali neutri, giacchè si è osservato che in si fatte scomposizioni i novelli sali che si formano restano del pari allo stato neutro. Di fatto nell'esperimento sopra riferito i sali solfato di barite e idroclorato di soda, che si formarono, sono neutri, come neutri erano prima della scomposizione i sali solfato di soda e idroclorato di barite. Dal che si deduce che la quantità di barite, che neutralizza e sazia i due acidi solforico e idroclorico, ha una relazione costante alla quantità della soda che può egualmente saturarli. Ed in generale le proporzioni tra le quantità delle sostanze che servono di base per neutralizzare una data quantità d'acido, sono sempre le stesse, come del pari le stesse sono sempre le proporzioni tra le quantità d'acido che saturano una quantità della medesi-



ma base.

L'altro fatto è quello, che le sostanze aeriformi o sia i gas si combinano in modo che i loro elementi in volume son multipli gli uni degli altri, e quando i gas si restringono di volume, questa contrazione apparente ha un rapporto semplice col loro volume primitivo. Ora potendosi i solidi e liquidi ridurre per mezzo del calorico allo stato di gas, si è argomentato che anche le combinazioni solide e liquide seguono la legge medesima dei gas.

8. Ma la dottrina delle proporzioni determinate fu ridotta in sistema prima d'ogni altro dal Dalton nella sua *Filosofia chimica*. Egli osservò in prima la combinazione essere molto energica quando le sostanze s'uniscono in una sola proporzione, come fa l'idrogeno coll'ossigeno nell'acqua, o pure in certo dato numero di proporzioni. Ma in questo ultimo caso, in cui un corpo si combina con un altro in proporzioni diverse, i numeri che indicano le proporzioni più grandi sono multipli esatti di quelli che indicano le più piccole; così 100 parti di manganese si combinano con 14 d'ossigeno, o con 28, 42, o 56 parti d'ossigeno, numeri tutti multipli di 14. Ora pensa il Dalton che ove due corpi semplici si uniscono in una sola proporzione, allora un atomo dell'uno s'unisce con un atomo dell'altro; ma se molte e determinate combinazioni possono aver luogo tra questi corpi, allora le loro proporzioni possono essere espresse per un multiplo semplice del numero degli atomi. Poichè un atomo di *A* si può combinare con due atomi di *B*, o uno di *B* con due di *A*, ec.; le quali cose, a creder di lui, si avvera-

no non che tra gli atomi de' corpi semplici, ma tra quelli dei composti.

Con queste idee si fece innanzi il Dalton, e stabilì il peso relativo degli atomi per mezzo di quelle combinazioni nelle quali un atomo si unisce con un altro; poichè dai pesi relativi di due sostanze semplici, che si combinano, dedusse quelli dei loro atomi. Prese quindi, per calcolare i pesi degli atomi, ad unità l'idrogeno, e supponendo che nell'acqua un atomo d'idrogeno s'unisce con un atomo d'ossigeno, ricavò che quello è a questo come 1 a 7,5, e con questo metodo ricavò il peso relativo degli atomi di più sostanze.

9. Siccome siffatti pensamenti parvero ipotetici e sprovveduti delle prove d'esperienza, Davy e Wollaston li vollero fiancheggiare per mezzo delle proporzioni determinate nella combinazione de' gas. Supposero che tutti i gas sotto un medesimo volume contengano un medesimo numero di atomi, e con questa supposizione trasmutarono l'ipotesi del Dalton in un fatto. Imperocchè combinandosi i gas o a volumi eguali, o pure a volumi di cui l'uno è multiplo esatto dell'altro, è chiaro che si uniscono o a numero eguale di atomi, o pure a un numero di cui l'uno è doppio, triplo, ec., dell'altro, nella stessa guisa che avea immaginato Dalton nelle combinazioni dei solidi, in cui un atomo d'un corpo s'unisce con uno o due o tre d'un altro. E con questo intendimento posto i gas a volumi eguali, ricavarono quei chimici inglesi il peso degli atomi di siffatti gas dal loro peso specifico.

10. Berzelius ha studiato un poco più i fatti, e però le sue idee sono meno arbitrarie. Si sa che l'ossigeno unendosi con molti corpi forma degli acidi e degli ossidi, distinguendosi quelli da questi in ciò, che i primi fanno arrossare la tintura di tornasole, ed i secondi le restituiscono il colore ceruleo, dopo che si è cangiato in rosso per l'azione degli acidi. Ora è proprietà degli acidi d'unirsi cogli ossidi metallici, terrosi e alcalini; e Berzelius ha osservato che la quantità dell'ossigeno che si trova negli acidi e negli ossidi che si combinano, è eguale, o pure l'ossigeno dell'acido è doppio, triplo, ec., di quello dell'ossido. Di che venne ad argomentare che se l'acido contiene due volte più d'ossigeno che l'ossido, ha due atomi d'ossigeno, tre se ne contiene tre volte di più, e così di mano in mano. Per lo che trattando della composizione delle sostanze elementari, stabili a canone che nella combinazione degli atomi di due elementi un solo atomo dell'uno si combina con uno, o due, o tre, ec., atomi di un altro elemento per formare un atomo composto di primo ordine; che se in luogo di uno si prendano due atomi d'un elemento, questi si possono solamente combinare con 3, e non mai con 4, 5, o altro numero maggiore di atomi d'un altro elemento. Passò poi alle leggi della combinazione degli atomi composti di primo ordine, ed ebbe anche cura di determinare al pari del Dalton il peso degli atomi; ma come questi avea scelto ad unità l'idrogeno, Berzelius prese a principio dei suoi calcoli il peso dell'atomo dell'ossigeno rappresentato per 1, o per 100. Egli ha quindi stabilito delle ta-

vole per i pesi degli atomi nei corpi semplici, e il loro numero e il loro peso nei corpi composti che sono o non sono forniti d'organi. Dopo di che è facile il comprendere che si esprimono oggi le proporzioni con che i corpi si possono combinare, per via di certi numeri che le rappresentano, e chiamansi proporzionali; così il numero proporzionale dell'ossigeno è 10, e 25,60 è quello del calorico, e dalla somma di questi due numeri proporzionali semplici ne risulta 35,60 numero proporzionale del composto calce. E parimente 10 ossigeno e 1,243 idrogeno danno 11,243 del composto acqua (Si vegga Berzelius nel *Saggio sulle proporzioni chimiche*). Ma sebbene abbia egli abbracciato tutta la scienza nelle sue ricerche, e recato delle formole per esprimere le proporzioni degli elementi; pure non si tengono per rigorosi i risultamenti delle sue esperienze, nè si crede che le sue formole sien dotate d'esattezza matematica. Ciò non pertanto i travagli di tutti i chimici sono al presente diretti a fondare la dottrina degli atomi e delle proporzioni determinate ed il sistema elettro-chimico, per potersi condurre quanto più si può la chimica alla dignità di scienza esatta, capace non solo di verificare, ma di prevedere i dettati dell'analisi.

A sì fatte ricerche intendono al presente i chimici, e secondo questi principj vanno essi ragionando. Ma i fisici hanno impreso un'altra via che rovescia del tutto le teoriche di quelli. Non ammettono più che la luce, il calorico, l'elettricità, il magnetismo sien de' fluidi, e non riconoscendo che unico e solo fluido imponderabile, che

chiamano *etere*, colle vibrazioni di questo dichiarano i fenomeni della luce, del calorico, dell'elettricità e del magnetismo. Di modo che le affinità altro non sono che azioni meccaniche dell'etere sulle particelle fornite di peso, che le stringe a prendere nuova disposizione, nuovo ordine, nuovo sistema di equilibrio, secondo la specie diversa e la diversa energia delle vibrazioni da cui sono sospinte. E però a spiegare le azioni chimiche vanno i fisici cercando e introducendo una novella meccanica che denominano *molecolare*. Ciò non pertanto non essendo ancora questa stabilita, e non essendo ancora i loro pensamenti giunti a sodezza, ci atterremo ai principj ed al linguaggio che al presente è in voce presso i chimici. Verremo in fatti spiegando, quasi per un'applicazione, i fenomeni capillari colla dottrina dell'attrazione molecolare: e sebbene abbia dimostrato il Becquerel che in tali fenomeni si producano delle correnti elettriche; pure noi supponghiamo che queste non altrimenti operano, che fa l'attrazione molecolare, o almeno che non l'alterano o distruggono.

## CAPO II. — DE' FENOMENI CAPILLARI.

### Esperimento I.

Ove s'immerge nell'acqua un tubo strettissimo, s'osserva che l'acqua s'innalza sopra il suo livello, e presenta una concavità nel mezzo della sua superficie; ma se il

tubo è unto interiormente di grasso, si osserva che l'acqua resta sotto al suo livello e piglia una figura convessa.

### Esperimento II.

Ove un tubo così stretto s'immerge nel mercurio, si vede che la di lui superficie resta sotto il suo livello pigliando una figura convessa; ma se il tubo sia stato prima perfettamente disseccato d'ogni umidità, allora il mercurio s'innalza e piglia la figura concava.

### Esperimento III.

Immergendosi tubi dello stesso diametro nell'acqua e nell'alcool, si osserva che l'acqua s'innalza più che l'alcool. Ed in generale dati tubi strettissimi ma d'egual diametro, ove questi s'immergono nello stesso fluido fornito di temperature diverse, il fluido che ha più alta la temperatura si eleva meno, e più l'altro che ha meno alta la temperatura.

### Esperimento IV.

Qualunque sia la spessezza dei tubi, purchè abbiano lo stesso diametro, l'innalzamento del liquido, che ha la medesima temperatura, si fa in tutti all'altezza medesima. Ma se variano in diametro, l'innalzamento succede quasi nella ragione inversa dei diametri de' tubi. Così per le esperienze dell'Haüy e del Tremery, posto il diametro interno del tubo  $2^{\text{mm}}$ , l'acqua innalzavasi sul suo livello  $6^{\text{mm}},75$ , e l'olio d'arancio  $3^{\text{mm}},4$ ; e preso un tubo di  $4/3$  di millimetro, l'acqua vi si sollevava sino a  $10^{\text{mm}}$  e

l'olio d'arancio sino a 5, altezze quasi eguali a 10,12 e 5,1, ossia secondo la ragione inversa dei diametri: lo stesso risulta dalle esperienze del Gay-Lussac.

11. Ora questi tubi avendo un diametro così stretto, che si rassomiglia a quello de' capelli, sono stati chiamati *tubi capillari*; i fenomeni dell'innalzamento e dell'abbassamento che producono sono stati detti *fenomeni capillari*, e la proprietà di produrre siffatti fenomeni è stata detta *capillarità*.

Per dichiarare i fenomeni che ricavato abbiamo dagli esperimenti, si sono rivolti i fisici all'attrazione molecolare di cui è dotata ciascuna molecola della materia, e per meglio dimostrarla in tali fenomeni hanno recato alcune esperienze che la confermano.

#### Esperimento V.

Equilibrata in aria una bilancia da una parte con un peso, e dall'altra con un pezzo circolare di vetro o di metallo o d'altro, che tien luogo di piattello, si cominci a calare dolcemente per mezzo d'una vite, finchè la superficie piana del vetro o del metallo giunga quasi in contatto colla superficie dell'acqua, dell'alcool o d'altro fluido di che è pieno un vaso sottoposto. Così facendo si vedrà che la superficie del vetro o del metallo aderirà tanto forte alla superficie dell'acqua o dell'alcool, che è necessario d'aggiungere de' piccoli pesi alla bilancia per distaccarla: anzi il vetro, il marmo o altro che è capace d'esser bagnato dal fluido sottoposto, ove si distacca, seco porta aderente un piccolo e sottile strato di fluido.

12. Ponendo mente a questa esperienza, egli è chiaro che le particelle del vetro o in generale del solido s'attaccano in prima a quelle del fluido in virtù d'una forza che è l'affinità. E come per via del peso aggiunto non si separa propriamente il solido dalla superficie del liquido, ma il primo strato dalle altre molecole che stanno di sotto; così non si può chiamare in dubbio che si debba vincere l'attrazione che si esercita tra le particelle del medesimo liquido, o, come dicesi, la sua forza di coesione. Di fatto lo sforzo necessario a distaccare quel primo sottile strato è molto maggiore che non è il suo peso, perchè vincer deve l'aderenza che ha quello strato col restante della massa fluida. Che poi il solido aderisca al liquido in virtù dell'affinità, e il primo strato del liquido cogli altri sottoposti in virtù della forza di coesione, o in generale e quello e questo in virtù dell'attrazione molecolare, si può dimostrare da ciò, che l'attrazione del solido e del liquido opera a distanze insensibili, come fa l'attrazione molecolare. Di fatto per quanto sia sottile o spesso il solido che aderisce, purchè abbia la stessa ampiezza, l'adesione che ne risulta è sempre la medesima, perciocchè è sempre la sola materia della prima superficie del solido che viene in contatto, e come tale è quella che può sola operare. E parimente di qualunque natura che sia il solido, purchè abbia costanti le dimensioni, ove si pone in contatto colla superficie d'un liquido, vuole sempre lo stesso sforzo per esserne distaccato, giacchè vincer dee la forza medesima, che è quella con cui il fluido aderisce con sè stesso. Il che dimostra che il



primo sottilissimo strato del fluido che aderisce al solido è bastante ad impedire l'azione di questo sopra il resto del fluido, o sia che il solido fuori del contatto non opera. Per lo che l'adesione dei solidi coi fluidi, che li bagnano, o l'altra dei fluidi con sè stessi, come quella che nasce da una forza che è sensibile a distanze insensibili ed è energica solo nel contatto, proviene dall'attrazione molecolare, che opera nel contatto a distanze piccolissime.

13. Tornando ora alla considerazione dei fenomeni capillari, egli è certo che il vetro dei tubi, come quello che è bagnato dall'acqua, opera sopra questa attirandola; ma la sua azione non si può estendere al di là di quel sottilissimo strato d'acqua che aderisce all'interna superficie del tubo, siccome abbiamo dimostrato dal V esperimento, e si ricava dal IV, in cui si prova che la spessezza del tubo niente influisce all'elevazione dell'acqua. All'attrazione quindi del tubo è da aggiungersi quella dell'acqua sopra sè stessa. Per lo che la piccola colonna liquida situata nell'asse del tubo, come quella che è ad una distanza sensibile dalle pareti interiori, non è sostenuta dal tubo, ma dall'attrazione delle colonnette contigue che la circondano, e queste da altre contigue, e così di mano in mano, finchè si giunge al punto in cui l'azione del tubo è sensibile, ed eleva le molecole che lo toccano. L'innalzamento dunque delle colonne aquee proviene dall'attrazione del tubo per il liquido, e di questo sopra sè stesso. Ma queste due maniere d'attrazione pare che sien legate colla figura concava che prende il

liquido che s'innalza, come gli esperimenti I e II dimostrano; ed al contrario il fluido s'abbassa quando prende la superficie convessa. E però quelle due maniere d'attrazione che operano di certo nei fenomeni capillari, è da dire che si combinano in tal modo, che generano quella concavità nel fluido quando questo si eleva, e quella convessità quando questo si abbassa. Esaminiamo adunque come quelle due forze operano, in che modo si compongono e tra loro si riferiscono, come generano la concavità o convessità, e quindi l'elevazione o l'abbassamento del fluido.

14. Essendo le due maniere d'attrazione della medesima natura, si suppone, come è ragionevole, che differiscano nella loro energia, ma che seguano la medesima legge d'incremento o decremento nel variar delle distanze; di modo che ad una medesima distanza le due forze esercitate sopra una molecola elementare del fluido da una molecola elementare del tubo, e da una molecola elementare del fluido, sieno sempre tra loro in una costante ragione, cioè in quella delle energie di quelle forze che si possono indicare per  $\varphi$ ,  $\varphi'$ . Ciò posto, sia  $O$  (*fig. 1*) una molecola situata in un punto della superficie orizzontale  $MN$  compresa dentro i limiti della sfera di azione del tubo; egli è chiaro che la molecola  $O$  sarà attratta ad un'ora dal tubo e dal fluido in esso contenuto. Ed esaminando in prima le attrazioni del tubo, consideriamo ciascuna delle molecole  $R$  della superficie interna del tubo poste al disotto del livello  $MN$  del fluido, e comprese dentro la sfera d'azione. Non vi ha dubbio che

ciascuna di queste molecole del tubo esercita sopra  $O$  una forza più o meno obliqua che potrà risolversi in tre  $Os, st, tR$  parallele a tre assi coordinati o perpendicolari fra loro, che s'intendon condotti per  $O$  o altro punto, due delle quali  $Os, st$  sono orizzontali, l'una normale e l'altra parallela ad  $Op$ , e la terza  $tR$  verticale e parallela ad  $Or$ . Dalla somma di tutte queste forze si distruggono le  $st$ , perchè a ciascuna corrisponde una eguale e contraria dall'altra parte del piano  $OpD$ , e non restano che le sole due, una orizzontale parallela ad  $Op$ , e l'altra verticale parallela ad  $Or$ . Or queste due forze si possono esprimere per due funzioni  $y$  e  $x$  della distanza  $Op$  moltiplicate per l'energia  $\varphi$ , o sia la forza orizzontale diviene  $\varphi y$  e la verticale  $\varphi x$ .

Le stesse sono le forze per le quali è attratta la molecola  $O$  dalle molecole del tubo poste al di sopra del livello  $MN$ ; e però sarà  $\varphi y$  la forza orizzontale, e  $-\varphi x$  la verticale, perchè opera in senso contrario alla prima o sia a  $\varphi x$ .

Ricercando poi le attrazioni del fluido sulla molecola  $O$ , si prenda  $Op' = Op$ , e condotta la perpendicolare  $p'D'$ , è facile a comprendersi che si distruggeranno due a due, perchè eguali e contrarie, le attrazioni orizzontali di tutte le molecole comprese nello spazio cilindrico  $Dpp'D'$  e poste due a due alla medesima distanza dall'asse  $Or$ , e in una linea che passi per lo stesso asse. E però non potrà risultare dall'azione delle molecole comprese in questo spazio, che un'azione verticale nella direzione  $Or$ , la quale si potrà esprimere per  $\varphi'z$  indicando

$z$  una funzione di  $Op$ , e  $\varphi'$  l'energia dell'attrazione delle molecole elementari del fluido.

Finalmente è da considerarsi l'attrazione che esercitano sopra  $O$  le molecole del fluido contigue a  $p'D'$ , le quali avendo rispetto ad  $O$  la stessa posizione che hanno le molecole della materia del tubo contiguo a  $pD$ , esercitano al par di queste la loro forza. E siccome le forze orizzontale e verticale delle molecole del tubo sono  $\varphi y$  e  $\varphi x$ ; così quelle delle molecole del fluido sono  $\varphi'x$  e  $\varphi'y$ . Solamente è da pigliarsi  $-\varphi'y$ , perchè questa forza orizzontale del fluido opera in senso contrario a quella della materia del tubo.

La molecola  $O$  adunque è sollecitata dalle forze orizzontali  $\varphi y$ ,  $\varphi y$ ,  $-\varphi'y$ , e dalle verticali  $\varphi x$ ,  $-\varphi x$ ,  $\varphi'z$ ,  $\varphi'x$ . Dalle prime si raccoglie l'unica forza orizzontale  $(2\varphi - \varphi')y$ , e dalle altre l'unica verticale  $\varphi'(z+x)$ .

15. Nel caso che sia  $2\varphi = \varphi'$ , o sia  $\varphi = \frac{\varphi'}{2}$ , ne segue che la forza orizzontale è nulla, e solamente opera la verticale coll'energia dell'attrazione del fluido sopra sè stesso. E perchè ogni molecola è attratta egualmente dal fluido circostante, però quella forza verticale opererà egualmente per qualunque molecola. Per lo che ogni molecola della superficie, che si suppone orizzontale, sarà sollecitata da una egual forza perpendicolare alla superficie, e la superficie resterà piana ed orizzontale ed in equilibrio come era.

16. Ma se la forza orizzontale  $(2\varphi - \varphi')y$  non sarà = 0,

ma una quantità positiva, e perciò diretta da  $O$  verso  $p$ , allora la risultante di questa e della verticale devierà da  $Or$  verso  $pD$ . E come questa risultante deve essere perpendicolare alla superficie del fluido, affinchè questa resti in equilibrio; così è di necessità che la superficie del fluido s'inclini in  $O$  all'orizzonte al di sopra di  $Op$  e al di sotto di  $Op'$ , o, in altri termini, divenga concava. Ciò si vede chiaro nella *fig. 2*, in cui le due forze orizzontale e verticale  $AS$  e  $AT$  danno la risultante  $AV$ , che è perpendicolare in  $A$  alla curva  $AB$ , come dimostra la tangente  $DA$  guidata alla curva. Se poi  $(2\varphi - \varphi')y$  è una quantità negativa, o sia diretta da  $O$  verso  $p'$ , allora la risultante delle due forze orizzontale e verticale devierà da  $Or$  verso  $p'D'$ , e la superficie del fluido per corrispondere perpendicolare a questa risultante dovrà abbassarsi sotto di  $Op$  e innalzarsi sopra di  $Op'$ , o sia divenir convessa. Così nella *fig. 3* la risultante  $AV$  corrisponde verticale al punto della curva convessa  $RA$ , come si vede dalla tangente  $DA$ .

17. Ci basta d'aver accennato in qual modo dalla relazione delle forze attrattive del tubo e del fluido ne debba risultare una differenza di figura nella superficie del fluido, giacchè questa sarà piana, concava o convessa secondo che  $\varphi$  sarà eguale, maggiore o minore di  $\frac{1}{2}\varphi'$ . Ma variando il fluido nel tubo medesimo, è naturale che venga a variare la concavità o convessità della curva. Poichè restando costante l'azione del tubo, e va-

riando quella del fluido, si alterano le due forze orizzontale e verticale, e queste diversamente componendosi mutano la direzione della risultante. Laonde diversa viene a farsi la giacitura dell'elemento del fluido, che a cagione dell'equilibrio deve perpendicolare corrispondere a quella risultante, o sia diversa viene a farsi la concavità o convessità della curva. E però diversa secondo i fluidi diversi sarà l'inclinazione dei lati estremi della curva  $AR$  rispetto alle pareti del tubo. Ma i primi elementi della curvatura hanno sensibilmente la medesima inclinazione in tubi di diametro diverso, purchè sia la medesima la materia del tubo e il medesimo fluido. Poichè è così insensibile la distanza a cui il tubo attrae il fluido, che la sua superficie interna opera come piana e non come curva: e però l'azione del tubo è indipendente dal raggio della curvatura, ed è sempre la medesima, qualunque sia il diametro del tubo capillare. E come, oltrepassato il limite dell'attrazione del tubo, il fluido per l'attrazione sopra sè stesso piglia sensibilmente la figura d'un segmento sferico; così avviene che i lati estremi di siffatto segmento si confondono con quelli dei piani situati al limite della sfera d'attrazione del tubo. Tutti quindi i segmenti sferici sono egualmente inclinati alle pareti del tubo, qualunque sia il suo diametro, e tutti saranno presso a poco simili tra loro.

18. È oltre a ciò da riflettere che dipendendo la concavità della superficie da  $\varphi \geq \frac{1}{2} \varphi'$ , egli è chiaro che

crescerà la concavità a misura che cresce  $\varphi$  in confronto di  $\frac{1}{2}\varphi'$ . La Place dimostra che la concavità diviene quella d'un mezza sfera allorchè  $\varphi = \varphi'$ , e da ciò ricava che la medesima concavità deve aver luogo allorchè  $\varphi$  è alquanto più grande di  $\varphi'$ ; poichè attaccandosi il fluido alle interne pareti del tubo per l'azione di  $\varphi$ , vi forma un velo che fa le veci d'un secondo tubo. E come l'azione di  $\varphi$  non oltrepassa al di là di questo velo; così questo secondo tubo è il solo che attrae il fluido, e però s'avrà lo stesso caso di  $\varphi = \varphi'$ , o sia la concavità del fluido è quella d'una mezza sfera. Di che si può dedurre che la superficie concava dell'acqua, ed in generale di tutti i fluidi che umettano il vetro, debba essere emisferica nei tubi capillari. Questa verità, che fu ricavata da La Place col calcolo, fu confermata dalle esperienze di Haüy e Tremery, i quali misurando con quella esattezza che maggiore si può la differenza che corre tra il punto più basso e il più alto della concavità, la trovarono presso a poco eguale al raggio de' tubi, come dovea essere nel caso che la concavità fosse emisferica.

19. Dipendendo all'inverso la convessità da  $\varphi \leq \frac{1}{2}\varphi'$ , egli è chiaro parimente che crescerà la convessità a misura che va diminuendo il valore di  $\varphi$  relativamente a  $\frac{1}{2}\varphi'$ . La Place dimostra che quando il valore di  $\varphi$  è trascurabile e quasi nullo rispetto a  $\varphi'$ , allora la superficie

del fluido è quella d'una mezza sfera convessa. E questo stesso ha ricavato Haüy dalla esperienza, e si può osservare dalla rapidità con cui si unisce in globetti rotondissimi il mercurio sparso sopra il vetro o altri corpi, perchè assai maggiore è l'attrazione che esercita sopra sè stesso, che quella che sente dagli altri corpi.

20. Raccogliendo ora tutti questi conseguenti, si vede che  $\varphi = 0$  determina la convessità d'una mezza sfera, e da  $\varphi = 0$  giungendo a  $\varphi = \frac{1}{2} \varphi'$  si ha una superficie sem-

pre meno convessa, che diviene piana quando  $\varphi = \frac{1}{2} \varphi'$ .

Oltrepassato questo limite la superficie diviene concava, e prende la concavità d'una mezza sfera, quando  $\varphi = \varphi'$ , concavità che conserva eziandio quando  $\varphi \geq \varphi'$ , o sia quando il fluido bagna le pareti interne del tubo.

21. Procedendo più oltre nella dichiarazione dei fenomeni capillari, ci resta ora a sapere in che modo la concavità della superficie sia cagione dell'elevazione, e la convessità dell'abbassamento de' fluidi nei tubi capillari. O, in altri termini, è da ricercare quali sieno le forze, e in che senso queste operino sopra quelle superficie, onde si comprenda la elevazione o pur l'abbassamento dei fluidi che deve aver luogo nei tubi capillari.

E prima d'ogni altro è da ricordare che l'azione del tubo sopra il fluido, come quella che opera ad una distanza insensibile, altro non fa che iniziare la figura concava o convessa. Di modo che ad una distanza insensibi-



le dal tubo altra forza non opera, trascurata quella della gravità che è piccolissima e quasi nulla, che l'attrazione del fluido sopra sè stesso. E perchè si proceda con più semplicità, è da sapersi come una massa fluida che sia piana o concava o convessa operi coll'attrazione sopra un filo fluido sottilissimo che è interno o esterno alla medesima, e sempre ad essa normale, giacchè l'azione delle forze si propaga in qualunque colonnetta o punto d'una massa fluida.

E cominciando a considerare l'azione d'una massa fluida a base piana, sia  $abcd$  (*fig. 4*) questa massa, la quale operi sopra il filo fluido sottilissimo  $or$ , che le sia interno e normale alla base. Si prenda quindi nella parte superiore di questo filo la molecola  $m$  situata ad una distanza di  $ab$  minore del raggio della sfera d'attrazione del fluido, e si guidi il piano  $lk$  in modo che  $m$  sia egualmente lontana dal piano  $ab$  e  $lk$ . Allora è egli manifesto che la molecola  $m$  sarà egualmente attirata e verso l'alto e verso il basso, perchè eguali sono le quantità del fluido situate da una parte e dall'altra. Sarà solamente  $m$  attirata verso il basso dal fluido sottoposto al piano  $lk$ , la cui azione non è bilanciata da altra, e questo fluido sarà quello collocato tra il piano  $lk$  e il termine del raggio della sfera d'attrazione che si parte da  $m$ . Per lo che l'attrazione che sentirà  $m$  verso il basso sarà espressa da quel raggio diminuito di  $mz$ , o sia da  $r-mz$ . Lo stesso ragionamento si può fare per qualunque altra molecola del filo fluido che è collocata ad una distanza da  $ab$  minore del raggio della sfera d'attrazione. Ma questo oltrepas-

sato, l'attrazione riesce nulla, perchè sempre la molecola verrà attratta egualmente in senso contrario, cioè di sopra e di sotto dal fluido.

Se poi il filo fluido sia  $or'$  esterno e superiore alla massa piana fluida, si scelga la molecola  $m'$  che di sopra sia tanto lontana da  $ab$  quanto lo è  $m$  al di sotto. È chiaro allora che  $m'$  sarà tirata all'ingiù dal fluido sottoposto al piano  $ab$  colla stessa forza con che  $m$  era attirata dal fluido sottoposto al piano  $lk$ . Difatto l'attrazione di  $m'$  potrà essere espressa da  $r-m'o$ , e come  $m'o = mz$ , essa sarà espressa da  $r-mz$ , o sia esattamente eguale all'attrazione di  $m$ . E parimente sarà nulla l'attrazione di  $m'$ , allorchè questa è collocata ad una distanza da  $ab$  maggiore del raggio della sfera d'attrazione. Che se la massa fluida piana fosse posta al di sopra in un modo che il filo fluido  $or'$  divenisse interno ed  $or$  esterno, allora altra differenza non si avrebbe che nel senso dell'attrazione, perciocchè avrebbe luogo non verso il basso come prima, ma all'insù. Sicchè tutte le molecole tanto del filo fluido interno  $or$ , quanto dell'esterno  $or'$ , che sono egualmente lontane da  $o$ , saranno egualmente attratte dalla massa fluida piana cui sono contigue, finchè si giunga al raggio della sfera d'attrazione, in cui cesserà ogni attrazione. E come le attrazioni dell'uno e dell'altro filo sono eguali; così l'attrazione totale nell'uno e nell'altro sarà la medesima, e si potrà esprimere per  $K$ .

22. Ma se la massa fluida in luogo d'esser piana sia terminata da una mezza sfera, o da un segmento sferico concavo o convesso, è da sapersi quale sia la sua attra-

zione sopra un filo fluido interno o esterno e perpendicolare alla superficie della massa attraente. Sia dunque *FPGLH* (fig. 5) una massa fluida terminata da una concavità emisferica *FPG*, si vuol sapere quale sia l'attrazione che esercita sopra il filo fluido interno e normale *PV*?

Guidando *TZ* piano tangente alla concavità *FPG*, tutta la massa si divide in due; l'una *TL* terminata da una superficie piana ove il valore dell'attrazione è *K*, e l'altra *FPGTZ* che è un menisco emisferico, sicchè conosciuta la forza attraente di questo menisco si avrà subito l'attrazione totale di tutta la massa terminata da quella concavità.

A conoscere il valore del menisco sia *OP* o pure *O'P* il raggio di una sfera, e *TZ* il piano tangente di essa; allora i menischi si possono considerare come generati dalla rivoluzione degli spazj *QPN*, *qPN* attorno il diametro della sfera, e perciò come composti d'infiniti strati cilindrici concentrici generati dalla rivoluzione delle *QN*, *qN*. Ciò posto, se i raggi *OP*, *O'P*, avranno un valor sensibile, e *PN* sia dentro i limiti di quella insensibile distanza in cui è sensibile l'attrazione, ne segue che le *QN*, *qN* le quali sono prossimamente eguali a  $\frac{PN^2}{2OP}$ ,  $\frac{PN^2}{2O'P}$  avranno un valore insensibile rispetto a *PN*, e molto più in riguardo a *PV*. Tutti i punti adunque delle *QN*, *qN*, e delle superficie da esse generate avranno sen-

sibilmente la stessa posizione e distanza rispetto alle molecole fluide di  $PV$ , e però posta eguale la distanza, le attrazioni saranno come le masse attraenti, o sia come le superficie cilindriche, le quali essendo proporzionali alle  $QN, qN$ , saranno al pari delle  $QN, qN$  in ragion reciproca de' raggi  $OP, O'P$ .

Ora le attrazioni delle superficie cilindriche dei menischi operando obliquamente da giù in su, sono da scomporsi in orizzontali e verticali, le prime delle quali prese a due a due, come eguali e contrarie, si distruggono. Non restano quindi che le sole verticali, le quali, essendo  $QN, qN$  infinitamente piccole rispetto alle loro distanze dalla molecola attratta, saranno nella stessa ragione delle forze oblique, dalle quali nascono, o sia nella ragione reciproca dei raggi  $OP, O'P$ .

Potendosi lo stesso ragionamento applicare a tutte le altre superficie cilindriche generate da  $SX, sX$ , è da raccogliersi che le attrazioni dei due menischi generati dai due spazj circolari  $QPT, qPT$ , che si rivolgono intorno al diametro della sfera, sono nella ragione reciproca dei raggi  $OP, O'P$ . Chiamando adunque  $H$  un coefficiente costante, e  $b$  il raggio d'una sfera, sarà  $\frac{H}{b}$  l'attrazione d'un menisco sferico sopra un sottilissimo filo fluido esterno rispetto alla sfera, e perpendicolare al menisco nel punto di contatto del piano tangente e della sfera.

23. Dopo di che egli è manifesto che essendo l'attrazione della massa piana  $RZ$  eguale a quella della sfera e

del menisco, l'attrazione della sola sfera sul filo  $PV$  sarà eguale a quella della massa piana diminuita dell'altezza del menisco, o sia  $= K - \frac{H}{b} =$  all'azione del segmento sferico di sensibil grandezza  $SPM$ ; giacchè essendo il resto della massa sferica superiore a  $SM$  ad una distanza sensibile da  $PV$ , non potrà sensibilmente influire sull'attrazione delle molecole di  $PV$ . Viene quindi da sè il valore dell'attrazione che esercita sopra  $PV$  la massa fluida  $FPGLH$  terminata dalla concavità emisferica  $FPG$ . Poichè la massa fluida  $TL$  che attrae all'ingiù  $= K$ , e l'azione del menisco  $FPGZT$  che attira all'insù  $= \frac{H}{b}$ , e l'attrazione totale all'ingiù  $= K - \frac{H}{b} =$  a quella della massa fluida  $SPMKI$ , giacchè il resto del fluido essendo ad una distanza sensibile da  $PV$  non può sensibilmente operare. Solamente è da notarsi che non solo il valore di  $\frac{H}{b}$  deve risultare sempre minore di  $K$ , ma incomparabilmente minore; perciocchè avendo il raggio  $b$  un qualunque sensibile valore, non potrà aumentarsi di assai il valore di  $\frac{H}{b}$ ; e però l'attrazione del menisco è incomparabilmente minore di quella che esercita una massa fluida terminata da una superficie piana.

Sia al contrario il filo fluido interno alla sfera, il cui raggio sia  $O''P$ . Allora poste  $PN$ ,  $PX$  dentro la sfera delle

attrazioni, e  $Q'N$ ,  $S'X$  eguali a  $QN$ ,  $SX$ , ne risulterà un menisco generato dalla rivoluzione dello spazio  $TPQ'$  eguale al primo, e però l'attrazione verticale di siffatto menisco sopra  $PV$  sarà parimente  $= \frac{H}{b}$ , e diretta da  $V$  verso  $P$ . Ma perchè questo menisco opera all'insù, o sia in senso contrario di  $TL$  che attrae all'ingiù, la sua attrazione sarà  $-\frac{H}{b}$ . Ora l'attrazione della sfera sopra il filo fluido interno  $PV$  essendo eguale alla differenza tra le due attrazioni d'una massa fluida terminata da una superficie piana e dal menisco, risulterà  $K + \frac{H}{b} =$  all'attrazione che esercita sopra  $PV$  la massa fluida  $IS'PM'K$ , che termina in una superficie convessa  $S'PM'$  di segmento sferico; giacchè il resto della massa fluida per la distanza non opera. Si raccoglie quindi generalmente che l'attrazione d'una massa fluida, terminata da una porzione sensibile di una superficie sferica, sopra un filo fluido posto nella direzione del suo asse, sarà  $K - \frac{H}{b}$  se la superficie è concava, e  $K + \frac{H}{b}$  se è convessa.

24. Potrà accadere che la massa fluida sia terminata da una superficie concava o convessa di rivoluzione che non sia la sferica; allora l'azione del menisco attraente sul filo fluido è quella stessa dello sferico, o sia  $\frac{H}{b}$ ,

perchè dentro i limiti dell'attrazione sensibile quel menisco con questo si viene a confondere. Ma non così avviene quando la superficie che forma il menisco non appartiene a un solido di rivoluzione. In questo caso la geometria insegna che tagliandosi una tal superficie in tutti i sensi per piani che passano per il punto di contatto  $P$  e gli sieno perpendicolari, questi piani intersecheranno diverse curve, ciascuna delle quali avrà un circolo osculatore al punto  $P$ , e tra i raggi di curvatura di siffatti circoli ne avranno due, l'uno massimo e l'altro minimo, i quali appartengono a due sezioni, che son poste l'una rispetto all'altra ad angoli retti. Ora chiamando  $b$  il massimo raggio osculatore,  $b'$  il minimo, e  $H$  la costante, si dimostra che l'attrazione del menisco sul filo fluido è  $= \frac{H}{2} \left( \frac{1}{b} + \frac{1}{b'} \right)$ , e però l'attrazione della massa fluida, secondo che sarà terminata da una superficie concava o convessa, sarà  $= K \mp \frac{H}{2} \left( \frac{1}{b} + \frac{1}{b'} \right)$ .

E posto il raggio di una sfera  $B = b$ , e quello d'un'altra  $B' = b'$ , si dimostra che l'attrazione del menisco sarà eguale a  $\mp \frac{H}{2} \left( \frac{1}{B} + \frac{1}{B'} \right)$ , o sia che l'attrazione del menisco sarà eguale alla semisomma delle azioni dei due menischi sferici nascenti da due sfere, di cui l'una ha per raggio il massimo e l'altra il minimo raggio osculatore della superficie al punto del contatto. Che se la massa fluida fosse terminata da una superficie concavo-con-

vessa, come è la gola d'una puleggia, si dimostra che l'attrazione di siffatta massa sopra un filo fluido interno normale alla superficie in un punto ove il raggio di concavità sia  $b'$ , e quello di convessità  $b$ , verrà espressa da

$$K - \frac{H}{2} \left( \frac{1}{b'} - \frac{1}{b} \right).$$

Del resto tutte queste cose si possono leggere ampiamente dichiarate e dimostrate nella Memoria del Pessuti inserita nel tomo XIV, parte I delle *Memorie di Matematica e di Fisica della Società Italiana delle Scienze*.

25. Siamo ora in istato di spiegare i fenomeni capillari che da noi sono stati accennati nei primi quattro esperimenti. Sia  $NOM$  (fig. 6) la superficie concava rinchiusa nel tubo capillare, e  $OZ$  un canaletto dilicatissimo di esso fluido, che partendosi dal punto più basso del menisco traversi l'asse del tubo, e piegandosi al di sotto prima nell'orizzontale  $ZR$  e poi nella verticale  $RV$ , riesca alla superficie libera del fluido fuori dell'attrazione del tubo. In questa posizione non vi ha dubbio che i due orifizj  $O$ ,  $V$  sono premuti da forze ineguali; perciocchè  $V$  è tirato da una massa fluida terminata da una superficie piana =  $K$ , e  $O$  della stessa massa terminata da una superficie concava

=  $K - \frac{H}{b}$ . E come la superficie concava,

quando i fluidi bagnano i tubi, è sferica (num. 18); così  $b$  esprime il raggio della sfera cui si appartiene il segmento sferico  $NOM$ . Ora è impossibile che in tale stato vi sia equilibrio; e però è necessario che il liquido



si alzi nel tubo capillare sino che il peso della piccola colonna sollevata  $OP$  compensi ciò che manca all'azione attrattiva per cagione della concavità della superficie  $NOM$ . Chiamando dunque  $g$  la gravità specifica del fluido, e facendo eguale all'unità la base della colonnetta  $OP$ , sarà il peso di questa  $g.OP$ , e in tal modo la pressione che era  $K - \frac{H}{b}$  diverrà  $K - \frac{H}{b} + g.OP = K$ , o sia facendo  $g.OP = \frac{H}{b}$  ne nascerà equilibrio.

26. Il contrario avviene quando convessa è la superficie  $N'O'M'$ , poichè essendo l'azione del fluido in  $O' = K + \frac{H}{b}$  per darsi l'equilibrio in  $V$ , in cui la pressione =  $K$ , è di necessità che si diminuisca l'altezza della colonnetta abbassandosi da  $P$  sino in  $O'$ . Allora il peso della colonnetta  $PO'$ , o sia  $g.O'P$  facendosi  $= \frac{H}{b}$  verrà ad accrescere la pressione in  $V$ , e vi avrà equilibrio, perchè  $K + g.OP = K + \frac{H}{b}$ .

27. Essendo adunque tanto nel caso della concavità quanto in quello della convessità  $\frac{H}{b} = g.OP$ , sarà l'elevazione o l'abbassamento del fluido nel tubo capillare  $OP$ , o pure  $O'P = \frac{H}{gb}$ . E come  $H$  e  $g$  sono costanti, quell'elevazione e quell'abbassamento è proporzionale

ad  $\frac{1}{b}$ , o sia è nella ragione inversa del raggio della curvatura al punto  $O$ . Ora le superficie dei menischi essendo sferiche, e dipiù simili tra esse, ove la materia del tubo è la medesima, e il fluido è anche lo stesso (num. 17), ne viene che i raggi di curvatura sono proporzionali alle corde delle curve  $NOM$ ,  $N'O'M'$ , o sia ai diametri interni  $NM$ ,  $N'M'$  dei tubi. Data adunque la materia del tubo, e dato il fluido, l'innalzamento o la depressione sarà sempre nei diversi tubi nella ragione inversa del diametro interno di essi, siccome si è veduto coll'esperienza dell'innalzamento dei fluidi acqua ed olio di arancio, e si può dimostrare colle altre dell'Haüy e Tremery sull'abbassamento del mercurio, nelle quali posti i diametri dei tubi di  $2^{\text{mm}}$ , e  $4/3$ , si ebbe l'abbassamento  $3 \frac{2}{3}$  e  $5,5$ , i quali numeri sono precisamente nella ragione inversa di quei diametri.

28. Ma come l'elevazione e l'abbassamento sopra o sotto il livello dipende dalla concavità o convessità; così questa figura è intimamente connessa colla relazione che hanno tra loro le due forze di attrazione del tubo col fluido, e di questo con sè stesso. Di che avviene che essendo (num. 19)  $\phi$  attrazione del tubo = 0, o pure minore di  $\frac{1}{2} \phi'$  attrazione del fluido con sè stesso, la superficie risulta sempre convessa. È questa la ragione per la quale venendo meno l'attrazione del tubo per l'acqua, ove questo è unto di grasso, perchè viene meno il con-

tatto, l'acqua piglia in luogo della superficie concava la convessa, e però s'abbassa in luogo d'elevarsi, come si accennò nell'esperimento I. E al contrario disseccato perfettamente il tubo, il mercurio tolta l'umidità si mette in contatto col vetro, e l'attrazione del tubo che, ove era umido, diveniva nulla, risorge, e fatta alquanto maggiore di  $\frac{1}{2}\phi'$  determina la concavità della superficie del mercurio, e questo in luogo d'abbassarsi si eleva, come si additò nell'esperimento II.

29. Si comprende parimente che variando le due attrazioni tra il tubo e il fluido, e di questo con sè stesso, diversa ne debba risultare la concavità o convessità, e diverso l'innalzamento o la depressione, siccome abbiamo notato nell'esperimento III.

30. Finalmente è da riflettere che quanto più si alza la temperatura dei liquidi, tanto più questi si dilatano, e l'azione loro sopra sè stessi si viene a menomare. E come l'innalzamento del fluido è proporzionale alla densità; così alterandosi nello stesso fluido per le diverse temperature la densità, deve variare la sua elevazione, siccome si è detto nell'esperimento III.

31. È facile, dopo queste considerazioni, di spiegare gli altri fenomeni capillari. Haüy e Tremery trovarono l'innalzamento dell'acqua di millimetri 6,5 tra due lastre parallele verticali che eran distanti tra loro per un millimetro, o sia la trovarono presso a poco eguale a quella che osservarono in un tubo di 2 millimetri. Incastrarono

di più un cilindro in un tubo di vetro in modo che i loro assi si confondeano, e restava tra l'uno e l'altro un interstizio capillare. Avea il tubo per diametro interiore 5<sup>mm</sup>, e il cilindro per esteriore 3<sup>mm</sup>, sicchè l'interstizio loro era di un millimetro. Tuffando quindi nell'acqua il tubo e il cilindro così disposti, osservarono che l'acqua si alzava nell'interstizio capillare un poco meno di 7<sup>mm</sup>, cioè presso a poco quanto con un semplice tubo di vetro, il cui diametro era di 2<sup>mm</sup> che diede un innalzamento di 6,75.

32. Or questi esperimenti han ragione ne' principj già stabiliti; le prime direzioni della curvatura provengono dal fluido che tocca il corpo solido, e queste direzioni son sempre le stesse, dato il fluido medesimo e la stessa materia, qualunque sia la forma, sieno tubi, o pure piani. Però i fenomeni capillari han luogo così tra i piani verticali, come tra i tubi cilindrici incastrati. La differenza poi dell'elevazione tra i semplici tubi e i tubi incastrati, o tra i piani paralleli, proviene dagli stessi principj. In generale, pel num. 24, l'azione della superficie concava o convessa sulla colonna sollevata è la metà dell'azione di due sfere che avrebbero per raggi il più grande e il più piccolo dei raggi osculatori della superficie al punto

più basso, o sia  $= K - \frac{H}{2} \left( \frac{1}{B} - \frac{1}{B'} \right)$ . Ma se uno di questi raggi diviene infinito, allora l'azione risulterà  $K - \frac{H}{2} \left( \frac{1}{B} - \frac{1}{\infty} \right)$ , o sia  $K - \frac{H}{2B}$ . Tale è il caso di due lastre parallele e dei due tubi incastrati; giacchè il raggio

osculatore della massa attraente in una direzione perpendicolare alla distanza dei due piani, o dei due tubi, è evidentemente infinito. Non così avviene in quei tubi in cui i due raggi osculatori sono eguali, e l'azione viene ad essere, siccome si è detto nei num. 23, 25,  $K - \frac{H}{B}$ .

Chiamando adunque  $A$  l'altezza del fluido nel tubo, e  $a$  l'altezza o tra le lastre parallele o tra il cilindro e il tubo, si avrà per l'equilibrio  $K - \frac{H}{B} + g.A = K$  nel tubo, e

$$K - \frac{H}{2B} + g.A = K \text{ tra le lastre e tra il cilindro e il tubo.}$$

D'onde viene  $A = \frac{H}{g.B}$  e  $a = \frac{H}{2g.B}$ , e quindi  $a = \frac{A}{2}$ , o sia l'elevazione tra il cilindro e il tubo o pur tra due lastre parallele sarà la metà di quella che ha luogo in un tubo capillare, il cui diametro è eguale alla larghezza di quegli interstizj capillari, ovvero, che è lo stesso, ad un'altezza eguale a quella a cui s'innalza in un tubo capillare d'un diametro due volte più grande, cioè d'un raggio eguale alla larghezza di quegli interstizj.

Questo teorema, che ha luogo per l'innalzamento, si avvera del pari per la depressione del fluido nel caso che la superficie sia convessa.

33. Un secondo fenomeno si osserva tra due lastre che, riunite in una delle loro estremità ad un angolo acutissimo, si calano in un vaso pieno di acqua, poichè non solo l'acqua s'innalza in mezzo al loro interstizio capil-

lare, ma l'acqua innalzata si conforma ad una superficie curva  $b'x'$ , come si vede nella *fig. 7*. Ora è facile di comprendere in generale la ragione di questo fenomeno, e di mostrare che la curva generata dall'innalzamento dell'acqua sia un'iperbola. Siccome gl'interstizj capillari si vanno facendo più larghi nei punti più lontani dall'angolo; così l'elevazione dell'acqua va successivamente decrescendo, e dalla superficie dell'acqua che mano mano decresce si forma una curva che ha rivolta la sua convessità verso la linea d'unione delle due lastre. Dimodochè tutta l'acqua innalzata si può considerare come tanti cilindri  $x'x$ ,  $t't$ ,  $r'r$ , ec., che vanno successivamente crescendo di altezza, mentre vanno all'inverso diminuendo i diametri delle loro basi, che sono rappresentati dalle perpendicolari  $zx$ ,  $ut$ ,  $sr$ , ec., nella *fig. 8*. E come le altezze dei tubi capillari sono nella ragione inversa de' diametri dei tubi; così le altezze  $x'x$ ,  $t't$ ,  $r'r$ , ec., (*fig. 7*) sono nella ragione inversa dei diametri delle basi  $zx$ ,  $ut$ ,  $sr$ , ec., o sia nella ragione inversa di  $ax$ ,  $at$ ,  $ar$ , ec. (*fig. 8*), perchè per la geometria queste linee sono proporzionali a quei diametri. Donde egli è chiaro che la curva  $b'x'$  è un'iperbola per la ragione che  $ax$ ,  $aa'$  sono gli asintoti,  $xx'$ ,  $t't$ ,  $r'r$ , ec., sono le ordinate all'asintoto  $ax$ ; e  $ax$ ,  $at$ ,  $ar$ , ec., le ascisse, giacchè secondo le proprietà dell'iperbola le ascisse sono in ragione inversa delle ordinate corrispondenti.

34. Un altro ordine di fenomeni capillari è quello del movimento dei liquidi nei tubi conici, o tra due lamine inclinate sotto un piccolo angolo; e questi fenomeni si

dichiarano spontaneamente cogli stessi principj. Sia il tubo conico *ahb* (*fig. 9*), in cui l'asse *hr* abbia la posizione orizzontale, e in questo tubo s'introduca una piccola colonna d'acqua o un poco d'olio d'arancio. Si vedrà allora che l'acqua o l'olio si muoverà verso il vertice *h*. Non vi ha dubbio che essendo capillare la larghezza del tubo, il fluido piglierà la forma concava alle due estremità *fg*, *mn*, e però sarà attratto in senso contrario dai due menischi concavi, che sono di forze ineguali, l'una maggiore in *fg* e l'altra minore in *mn*. Poichè essendo il raggio di curvatura *b* in *fg* più piccolo del raggio di curvatura *b'* in *mn* l'azione del menisco  $\frac{H}{b}$  è maggiore di quella dell'altro  $\frac{H}{b'}$ . E però il fluido si muoverà verso *p*, e andrà accrescendosi il suo movimento quanto più s'avvicina al vertice, perchè tanto più si menoma il raggio di curvatura e cresce la forza attrattiva del menisco  $\frac{H}{b}$ . Si può solamente fermare il movimento del fluido ove s'innalza alquanto il vertice del tubo conico; perchè allora per l'inclinazione del tubo comincia ad operare la gravità del fluido, e questa bilancia l'azione del menisco, che lo tira all'insù verso il vertice. Il contrario avviene se all'acqua si sostituisce il mercurio. Allora le due superficie del mercurio diventan convesse, e per la differenza delle due curvature s'imprime al fluido un movimento in senso contrario, o sia verso *r*.

35. Non altrimenti che in un tubo capillare conico succede il movimento d'una goccia di fluido tra due piani, che, postone uno orizzontale, formano un piccolissimo angolo tra loro; giacchè tra questi piani gl'interstizj capillari van decrescendo come nel cono, e la retta, che cadendo perpendicolare divide in due parti eguali l'angolo d'inclinazione, rappresenta l'asse del cono.

36. Possiamo in fine dimostrare come e perchè tendono ad avvicinarsi o a riunirsi i due piani verticali e paralleli tuffati in un fluido allorchè sono mobili e ad una distanza piccola l'uno dall'altro. Sieno  $cd, pe$  (fig. 10) le sezioni dei due piani paralleli tuffati in un fluido la cui superficie di livello sia  $MN$ . Egli è chiaro dalle cose da noi spiegate che i due punti  $u, k$  della lamina  $cd$  sono egualmente premuti dal fluido internamente ed esternamente; poichè tolta la pressione che esercita l'atmosfera, la quale opera egualmente fuori ed entro le lamine, quella del fluido  $hi$  sopra di  $u$  nasce dall'attrazione sopra sè stesso (che essendo la superficie piana è  $= K$ ) e dal peso della colonnetta  $hi$ , che chiamando  $g$  la sua gravità specifica, e facendo la base  $= 1$ , sarà  $= g.hi$ ; sicchè il punto  $u$  è premuto dalla forza  $K+g.hi$ . E come la superficie in  $u$  è piana, così opera  $u$  verso  $i$  con una forza contraria  $=K$ ; e però la pressione in  $u$  sarà eguale a  $K+g.hi-K=g.hi$ . Or questa pressione esterna è eguale all'interna in  $k$ ; perchè  $ox$  opera col suo peso  $g.ox$ , e colla pressione in  $o$  eguale a  $K - \frac{H}{2b}$  (num. 25). E come  $\frac{H}{2b} = g.oy$ ,



pel num. 25; così la pressione tutta sarà  $K-g.oy+g.ox$ , della quale togliendo  $K$  pressione in senso contrario della superficie piana  $k$ , ne verrà  $g.ox-g.oy = g.xy = g.hi$ . Tutti adunque i punti esteriori ed interiori corrispondenti della lamina, che sono tuffati nell'acqua, sono egualmente premuti, e in virtù di tali pressioni i due piani non si possono tra loro avvicinare. Ma differente è la pressione interna dall'esterna nei punti corrispondenti che son sopra alla superficie di livello, come nel punto  $t$ , poichè mentre la pressione esterna, non avuto riguardo a quella dell'atmosfera, è nulla, l'interna risulta negativa. Così la pressione di  $o$  contro  $t$  è eguale  $K-g.oy+g.oz$ , contro cui opera  $t$  colla forza  $K$ . Sarà dunque  $K-g.oy+g.oz-K = -g.yz$ ; e il punto  $t$  del piano sarà spinto da fuori in dentro con una forza eguale al peso d'un filo fluido compreso tra il punto  $t$  e la superficie di livello.

37. Nulla del pari è la pressione esterna in un punto  $p$  della piccola altezza  $fa$  del menisco  $fog$ , ma l'interna è del pari negativa. Poichè supposto il canaletto orizzontale  $np$ , la pressione che si fa da  $n$  verso  $p$ , ove si chiami  $b'$  il raggio di curvatura in  $n$ , sarà, pel num. 24,  $K - \frac{H}{2b'}$ . E come da  $p$  si parte una forza  $K$  che opera in senso contrario verso  $n$ ; così la pressione in  $p$  sarà  $= -\frac{H}{2b'}$ . Ora per avere il valore di questa forza è da porre mente che tutta la pressione in  $n$  si trasmette perpendicolarmente al canaletto obliquo  $nl$ . Dimodochè una

si fatta pressione unita al peso relativo del canaletto  $nl$  è sostenuta ed equilibrata da  $nol$  colla pressione in  $o$ .

Chiamando adunque la pressione in  $n$ ,  $K - \frac{H}{2b'}$ , e '1

peso relativo di  $nl$ ,  $g.ap$ ; sarà  $K - \frac{H}{2b'} + g.ap = K - \frac{H}{2b}$ ,

che è la pressione in  $o$ ; e però  $\frac{H}{2b'} = \frac{H}{2b} + g.ap$ . Ma

$\frac{H}{2b} = g.oy$  (num. 25); dunque  $\frac{H}{2b'} = g.oy + g.pa = g.pm$

. Per lo che il punto  $p$ , ch'è sospinto da  $-\frac{H}{2b'}$ , sarà spinto da fuori in dentro da una forza eguale al peso di un filo fluido compreso tra il punto  $p$  e la superficie di livello  $MN$ .

38. Tutti adunque i punti dei due piani compresi tra  $f$  ed  $E$  (*fig.* 10), ove sorge il fluido esternamente, ed internamente sono spinti di fuori in dentro con forze eguali ai pesi di altrettanti fili fluidi compresi tra quei punti e la superficie di livello  $MN$ . E come ciò ha luogo per l'uno e l'altro piano  $cd, pe$ ; così l'uno all'altro tende ad avvicinarsi e ad unirsi colla somma di quelle forze.

39. Lo stesso teorema ha luogo per una ragione contraria, allorchè il fluido tra i due piani invece di elevarsi s'abbassa. Poichè trovandosi il fluido più alto nell'esterno e meno nell'interno, tutti i punti esteriori del piano compresi tra gli estremi della curva esteriore ed interiore del fluido sono premuti dal fluido nell'esterno, ed i pun-

ti che a questi corrispondono nell'interno non hanno alcuna pressione, e però acquistano i due piani una tendenza ad avvicinarsi.

E ragionando come sopra si è fatto, si può dimostrare che i punti dei due piani che sono toccati nell'interno e nell'esterno dal fluido, sono egualmente premuti, e che i punti esteriori compresi tra gli estremi delle due curve interna ed esterna del fluido sono sospinti da fuori in dentro da forze equivalenti ai pesi d'altrettanti fili fluidi compresi tra que' punti e la superficie superiore di livello del fluido. Ora l'analisi dimostra che la somma dei fili fluidi, dai quali ciascun piano è sospinto, sia nel caso dell'elevazione, sia in quello dell'abbassamento, equivale alla metà d'un parallelepipedo fluido, la cui base è quella porzione della lamina compresa tra gli estremi delle due curve, l'una interiore e l'altra esteriore; e l'altezza è la somma delle distanze che hanno i due estremi delle due curve, una interiore e l'altra esteriore dalla superficie di livello.

40. E così di mano in mano colla stessa chiarezza e colla stessa semplicità si dichiarano tanti altri fenomeni che si osservano in tutti gl'interstizj e intorno ai corpi immersi nei liquidi. L'ascensione dell'acqua nel legno, nello zucchero e nella sabbia, dell'olio nei lucignoli delle lucerne, e in generale dei liquidi nei corpi porosi, la vegetazione dei sali o sia le cristallizzazioni che oltrepassano la superficie dei liquidi, la forma sferica delle gocce pendenti, la forza che sospinge gli uni verso degli altri, e talora allontana i corpi galleggianti secondo che

son atti a bagnare o no, l'assorbimento de' gas per mezzo dei corpi porosi, e tanti altri fenomeni non sono che effetti della capillarità. E quel che è più, questi ed altri simili fenomeni non si dichiarano d'una maniera congetturale, ma si deducono da un'unica formola, e se ne calcolano esattamente le leggi.

## DELLA LUCE

41. La luce, di cui prendiamo a favellare, in altro non consiste, secondo alcuni, che in un fluido sottilissimo che illumina, allorchè le sue particelle sono agitate e poste in movimento da corpi che si chiamano luminosi. Cartesio fu uno di questi, perchè ebbe un raggio di luce per una serie di globetti elastici e contigui che sono sospinti e mossi da una materia da lui chiamata *sottile* che è naturalmente fluida ed agitata, e di continuo operando sopra tali globetti li mantiene in un movimento che è riposto in piccole e ripetute vibrazioni. Huyghens modificò il pensamento del Cartesio, e tolti i globettini e la materia sottile, affermò con più semplicità che la luce si propaga nel fluido universale o etere, non altrimenti che il suono nell'aria. Secondo altri poi la luce è un fluido lanciato da corpi luminosi, che perdono di continuo a cagione di sì fatte emanazioni qualche parte della loro propria sostanza. Di fatto per Newton un raggio è una serie di molecole che tutte spiccansi dal corpo luminoso, tutte sono fornite d'un movimento di traslazione, e tutte di mano in mano e continuatamente si succedono. Non piacque all'Eulero questa opinione del Newton, e riprodusse quella dell'Huyghens. Ma era tale l'autorità di quell'illustre fisico sopra gli spiriti, che tutte le scuole, lasciando da parte l'Eulero, abbracciarono ed insegnarono il sistema dell'emanazione. È stato solo ai nostri tem-

pi che Young studiando con gran diligenza i movimenti di vibrazione richiamò l'attenzione dei fisici verso il pensiero dell'Huyghens, e coi travagli prima di Young e poi con quelli del Fresnel<sup>1</sup> è già caduto il sistema delle emanazioni, e tornato in onore quello delle vibrazioni. Per lo che oggi si considera la luce come prodotta dalle vibrazioni dell'etere o fluido universale che occupa lo spazio vòto tra i diversi corpi in natura. E come questo fluido è sommamente elastico e sottile, così le sue vibrazioni si comunicano eziandio a traverso dei corpi trasparenti, di cui agitano non che le molecole, ma l'etere tra i loro pori interposto. In questo senso i corpi luminosi per sè sono dei fuochi che mettono in movimento il fluido etereo; si chiamano corpi illuminati quelli che propagano il moto di vibrazione; si dicono diafani o trasparenti tra i corpi illuminati quelli che lascian passare le vibrazioni ricevute, e finalmente portano il nome di opachi quelli che ne impediscono la trasmissione. È questa al presente la maniera di pensare dei fisici; ma quale che si fosse, è giusto d' esporre in prima i fenomeni della luce, perchè si conosca se questi si possano meglio e con più semplicità dichiarare colla ipotesi delle emanazioni o delle vibrazioni. E prima d'ogni altro cominciamo a considerare la luce nel punto che giunge direttamente agli occhi nostri, e stabilire le leggi cui ella, quale si fosse la sua natura, esattamente obbedisce.

---

<sup>1</sup> In Italia è sostenuta quest'ipotesi da Nobili nella sua *Meccanica della materia*.

## CAPO PRIMO – DELLA LUCE DIRETTA.

42. Se per mezzo d'un bucolino si dà ingresso a un raggio di luce in una camera oscura, chiunque potrà osservare che il raggio si muove e prosegue il suo cammino in linea retta. Anzi se nel fondo della stanza oscura siavi un altro piccolo foro da cui possa uscire il raggio della luce che è stato già introdotto, si vedrà che esso va più oltre procedendo nella medesima linea retta. Al contrario se introducesi un raggio in un tubo piegato ad angolo, questo non potrà passare a traverso del tubo, perchè il raggio, camminando sempre in una direzione rettilinea, non potrà piegarsi nella stessa forma con cui il tubo è piegato. Sempre poi e costantemente si vede da chicchessia un oggetto lucido per la linea retta che congiunge l'oggetto e i nostri occhi; per lo che, senza aumentare altre prove sopra un argomento da sè evidente, si può stabilire che la prima legge cui obbedisce la luce nell'atto che si propaga, è quella che essa tende sempre a propagarsi in linea retta.

43. Siccome i fisici riferivano il movimento della luce alle piccole distanze che aver si possono sulla terra; così erano venuti nell'opinione che la sua propagazione fosse istantanea. Roemero fu il primo ad avvertirli nel 1676 ch'essi andavano errati, e trovò il modo di calcolare la celerità della luce per mezzo dell'eclisse del primo satellite di Giove. Movendosi questo pianeta nella sua orbita *DIE* (*fig.* 15) e il suo primo satellite nell'orbita

*HGF*, mentre la terra gira per *ABC* intorno al sole collocato in *S*, avviene che ove si trova il pianeta Giove in *E* nella stessa linea *ES* col sole, deve gittare un'ombra dietro di sè, dentro cui immergendosi il satellite *F*, questo si oscura, e da cui emergendo il suo eclisse finisce. Ora Roemero s'accorse che se la terra trovavasi in congiunzione in *A*, l'eclisse del satellite *F* non ritardava, e succedea giusto nel tempo designato dal calcolo. Ma se la terra, in luogo di trovarsi in *A* nel tempo dell'eclisse, era collocata verso *B* o tra *B* e *C*, l'eclisse del primo satellite *F* ritardava, e questo ritardamento giungeva al suo *maximum*, quando la terra nel tempo dell'eclisse era in opposizione in *C*. Tentò sulle prime di riferire questo ritardo al moto del satellite; ma chiaro vide che il fenomeno non dipendeva nè dal movimento del satellite, nè da quello di Giove. Pensò quindi di riferirlo al moto e alle varie distanze in cui si trovava la terra nel tempo in cui avea luogo il ritardo dell'eclisse. Siccome, disse egli, un corpo impiega più tempo a muoversi quanto più il suo cammino s'allunga; così è cosa naturale che percorrendo la luce, la quale si parte dal satellite *F*, un cammino più lungo per giungere allo spettatore sulla terra, quando questa si trova tra *A* e *B*, o pure tra *B* e *C*, o finalmente in *C*, debba essa luce impiegarvi un tempo più lungo. E però l'eclisse del satellite *F* ritarda non perchè succede in un tempo che è diverso da quello designato dal calcolo e dalle tavole, ma perchè la luce impiega un tempo maggiore, a misura che il suo cammino s'allunga, per le varie distanze in cui si trova la terra dal satellite.



Questa distanza giunge al *maximum* quando la terra si trova in *C*, e perciò quando la terra è in opposizione deve aver luogo il *maximum* di ritardamento dell'ecclisse. Persuaso Roemero della verità di questa spiegazione, venne il primo annunziando che il movimento della luce non è istantaneo, come allora si credeva, ma che si fa in un tempo sensibile. E comechè avesse egli apprezzato la quantità del massimo ritardo dell'ecclisse del primo satellite per 11' a cagione dell'imperfezione in cui erano ai suoi tempi le tavole di Giove e dei suoi satelliti; pure oggi si sa che il ritardamento massimo giunge a 16'26". Di che è facile il conchiudere che la luce impiega 16'26" a percorrere presso a 66 milioni di leghe. Poichè la massima distanza in cui si trova la terra essendo in *C*, ad altra non riducesi che ad *AC*, o sia al diametro dell'orbita terrestre, che si valuta intorno a 66 milioni di leghe. Se dunque la quantità del massimo ritardo corrisponde al massimo cammino che percorre la luce per *AC*, non ci è alcun dubbio che la luce impiega 16'26" per trascorrere 66 milioni di leghe; o sia che la luce, supposto il suo moto uniforme, si propaga con tale velocità che percorre quasi 67000 leghe per 1".

44. Questa verità è stata confermata da Bradley nel 1728 per via della spiegazione del fenomeno detto dell'aberrazione delle stelle fisse, da noi già esposto nella *Meccanica celeste* (num. 191 e 192), e che ad altro non riducesi se non a ciò, che le stelle da noi non si veggono nel luogo reale in cui trovansi, ma compariscono di descrivere in un anno un circoletto parallelo all'ecclittica,

di cui il centro è il luogo vero. Una tale apparenza di moto nelle stelle fisse è stata ivi da noi dichiarata come fa Bradley per i due movimenti della luce e della terra, per cui ora altro non intendiamo di fare che indicare quella spiegazione, e dare quasi un'immagine sensibile della causa dell'aberrazione. A ciò fare consideriamo un osservatore sulla terra che riguarda una stella per mezzo d'un tubo applicato verticalmente al proprio occhio. Se la terra fosse immobile, non ci è dubbio che un tale osservatore vedrebbe la stella nel suo vero luogo; perciocchè i raggi che ne partono, passando a traverso del tubo verticale, verrebbero dritto cadendo sopra l'occhio dell'osservatore; o pure se la terra fosse in moto, e la propagazione della luce fosse istantanea, parimente i raggi, passando pel tubo, cadrebbero verticali sull'occhio dell'osservatore, e questi vedrebbe la stella nel suo luogo reale. Ma se la luce si muove in tempo e la terra cammina, l'osservatore non potrebbe per certo vedere la stella per mezzo del tubo applicato verticalmente al suo occhio; poichè entrando la luce nel tubo nell'atto che l'osservatore si move, il raggio che ha cominciato ad entrare nel tubo non può giungere dritto sino all'occhio, ma s'imbatte nella parete del tubo a cagione del moto progressivo che ha il tubo coll'osservatore, o sia colla terra. È di necessità, nel caso de' due moti combinati della luce e della terra, che l'osservatore applichi il tubo in una posizione inclinata al suo occhio, come si osserva nel tubo  $AB$  (*fig.* 17), affinchè possa vedere la stella. Imperocchè se il tubo inclinato  $AB$  fosse immobile, il rag-

gio entrando in  $A$  non potrebbe giungere all'occhio in  $B$ ; ma come nell'atto che il raggio entra in  $A$  il tubo cammina e si mette nella posizione  $DC$ , così il raggio cammina dentro il tubo senza imbattersi nella parete, che gli fugge di sotto a cagione del suo movimento, ed è atto ad arrivare sino ad  $H$ , allorchè il tubo si trova nella posizione  $DC$ . Nell'istante però che il raggio sta per toccare la parete del tubo in  $H$ , il tubo movendosi piglia la posizione  $IG$ , e fuggendo la parete di sotto al raggio che sta per toccarlo, ne avviene che il raggio può giungere per la nuova posizione  $IG$  sino al fondo del tubo, o sia sino all'occhio dell'osservatore. Questi adunque in luogo di riferire il raggio e la posizione della stella lungo la direzione  $AG$ , che ci somministra il luogo vero della stella, lo riferirà lungo la direzione del tubo inclinato  $GI$ , e riferendo la stella ad una sì fatta direzione la vedrà in un luogo apparente che è distante dal reale per l'angolo  $IGA$ . Ora una tale apparenza dell'aberrazione delle stelle essendo stabilita sopra certe e indubitate osservazioni, è ben da conchiudersi che noi a cagione dei due moti della luce e della terra vediamo le stelle in quel luogo in cui le osserveremmo nel caso che applicato portassimo sopra i nostri occhi un tubo inclinato. Ma tolta l'immagine del tubo, si può ricondurre il fenomeno alle leggi del moto composto, da noi stabilite trattando della Statica. Se il raggio della stella cade da  $F$  (*fig.* 18), e si porta in  $B$  nel tempo che la terra cammina da  $C$  in  $B$ , l'impressione che riceverà lo spettatore collocato sulla terra dal raggio della stella, sarà composta da questi due movimenti, e avrà

luogo per la direzione  $BE$ , o sia riferirà la stella non già al punto  $F$  luogo reale, ma all'apparente  $E$ . Poichè vale lo stesso come se supposta la terra immobile in  $C$ , s'imprimesse al raggio della stella, oltre il moto per  $FB$ , un altro eguale e parallelo a  $CB$ ; e siccome in tale caso imprenderebbe il raggio la diagonale  $FC$ , così essendo l'osservatore trasportato colla terra da  $C$  in  $B$  nel tempo stesso che il raggio della stella si porta da  $F$  in  $B$ , a cagione dei due movimenti riceverà l'impressione risultante giusta la direzione della diagonale  $BE$  eguale e parallela alla diagonale  $FC$ , e l'angolo  $EBF$ , come quello che è la misura dell'aberrazione, ci dà la differenza tra il luogo in cui si vede la stella, e quello in cui realmente è. Dal fenomeno adunque dell'aberrazione si raccoglie ancora che la propagazione della luce non è istantanea; poichè l'aberrazione racchiude e suppone necessariamente che la luce nel propagarsi impiega un tempo o sia si move con una velocità che si compara e misura colla velocità con cui la terra si move nella sua orbita.

Nel parallelogrammo  $EFBD$  (*fig.* 18) conosciuta la velocità con cui si muove la terra, che è rappresentata dal lato  $BD$ , e l'angolo che fa la risultante  $EB$  con  $FB$ , che è rappresentato dall'aberrazione che si trova calcolata per  $20''$ ,25, è facile di conoscere, come noi abbiamo dichiarato nella Statica, la velocità della luce o il lato del parallelogrammo  $FB$ . In questo modo si è ricavato che il rapporto tra la velocità della terra e quella della luce è  $::1:10313$ . Ciò posto, si può facilmente ora determinare in quanto tempo percorrerà la luce con tale velo-

città il diametro  $AC$  (*fig. 15*) dell'orbita terrestre. Poichè conosciuto il rapporto tra il diametro d'un cerchio e la sua circonferenza, e dato il tempo che impiega la terra a percorrere la sua orbita di  $365^{\text{g}}6^{\text{ore}}$ , è fuor d'ogni dubbio che se la terra si movesse colla sua media velocità pel suo diametro, lo percorrerebbe in  $118^{\text{g}}23^{\text{ore}}20'$ . Ora la luce si muove con una velocità che è 10313 volte maggiore di quella della terra; dunque dovrà impiegare un tempo 10313 volte minore, o sia  $16'26''$ , a percorrere il diametro dell'orbita terrestre. E siccome questo tempo di  $16'26''$  coincide esattamente col massimo ritardamento dell'eclisse del primo satellite di Giove già notato (num. 42); così ne segue che la luce, sia che percorra la gran distanza che passa tra noi e le stelle, sia che percorra uno spazio più piccolo, quale è il raggio dell'orbita terrestre, sempre si muove colla stessa velocità; e quindi il suo movimento è da tenersi per uniforme ed equabile. Di che siamo abilitati a conchiudere: 1.º che la luce propagandosi dal sole giunge a noi sulla terra nel tempo di  $8'13''$ ; perciocchè se essa si muove uniformemente, e impiega a percorrere il diametro  $AC$  (*fig. 15*) il tempo di  $16'26''$ , dovrà impiegare metà di questo tempo a descrivere metà del diametro, o sia il raggio  $SC$  che rappresenta la distanza tra il sole e la terra: 2.º che la luce, così quella che si propaga dai corpi luminosi, quali sono le stelle, come quella che si rimbalza dai corpi opachi, quali sono i satelliti di Giove, si muove colla stessa uniforme velocità, la quale è stata determinata (num. 43) di 67000 leghe in  $1''$ .

45. Siccome la luce cammina per sentieri rettilinei; così venghiamo ad acquistare un abito felice di riferire sempre gli oggetti nella direzione rettilinea in cui i raggi giungono a ferire gli occhi nostri, qualunque fosse stato il cammino battuto dalla luce. E però i raggi sono da considerarsi come tante verghe diritte interposte all'occhio e agli oggetti, per mezzo de' quali si sente l'impressione di questi, e se ne misura e determina la distanza, i contorni, la grandezza, la figura, o altro. Nasce da ciò, che ciascun raggio, come quello che eccita il sentimento del punto dell'obbietto da cui si parte, quasi dipinge e porta l'immagine d'un tal punto. Due dunque sono, dirò così, gli effetti che osservansi, allorchè la luce percote il nostro occhio. Il primo è che ciascuna particella lucida nell'ipotesi di Newton, o ciascuna piccola vibrazione di luce in quella di Huygens, ci porta con essa l'immagine di quel punto da cui essa si parte o proviene. Il secondo, che qualunque sia il cammino che prende la luce, sempre noi riferiamo quella immagine nella direzione dell'ultimo raggio rettilineo che batte il nostro occhio.

46. Girando l'occhio intorno intorno al corpo lucido *B* (*fig.* 11), che sia, per ragion d'esempio, una candela, noi vediamo in *A*, *D*, *C* e in qualunque altro punto la luce che si diffonde da *B*. Questo fatto, che facilmente si comprova con una fiaccola che accesa si porta in un piano in tempo di notte, piglia la sua ragione da ciò, che il cammino della luce è rettilineo. Poichè essendo proprietà della luce di propagarsi in linea retta, un punto luminoso, se non gli si frappone un ostacolo, deve potersi

vedere da qualunque parte da cui una linea retta si può tirare, che giunga sino al punto lucido. E come da tutti i punti intorno si possono tirare tante linee rette al corpo luminoso; così questo è da considerarsi come il centro d'una sfera di luce che si propaga ed estende indefinitamente in ogni senso e per ogni parte. Indi è che i raggi si propagano in tutte le direzioni, e ch'essi, come si partono dal punto lucido, si vanno tra loro allontanando, o come dicesi, camminano divergenti tra loro. I raggi  $B$ ,  $P$ ,  $C$  (*fig. 13*), sebbene camminano in linea retta, pure a misura che s'allontanano da  $A$  vanno vie più scostandosi tra loro e divergendo. Di fatto si trovano riuniti in  $A$ , lontani tra loro in  $D$ , più separati in  $K$  e in  $I$ , e molto più distanti in  $B$ ,  $P$  e  $C$ .

47. Se opponesi al punto lucido  $B$  (*fig. 12*) un piano  $HF$ , i raggi, che divergenti cadono sopra questo piano, formano una piramide lucida  $HBF$ , di cui la base è il piano, e l'apice il punto  $B$  raggiante. Che se al piano si sostituisce l'occhio (*fig. 13*) che accoglie i raggi divergenti  $AB$ ,  $AP$ ,  $AC$ , si forma pure una piramide lucida  $BAC$ , la cui base è la superficie dell'occhio, l'apice il punto  $A$  raggiante, e l'asse il raggio  $PA$ . Ora ciascun punto d'un oggetto non può esser visibile se non sia un punto raggiante, e come tale, se non lancia i raggi in ogni direzione, e perciò divergenti, i quali come s'imbattono nell'occhio, vengono sopra questo formando una piramide lucida. Ciascun punto adunque d'un oggetto si trasmette all'occhio per mezzo d'una piramide di raggi divergenti. Nasce da ciò l'abito di riferire cia-

scun punto d'un oggetto nell'apice  $A$  (*fig.* 13) della piramide  $BAC$ , e così ritrovasi il punto  $A$  nella direzione dell'asse  $PA$  della piramide.

48. La divergenza dei raggi componenti una piramide lucida, che si parte da un punto dell'obbietto e cade sopra l'occhio, si misura dall'angolo  $CAB$  de' raggi estremi  $AB$ ,  $AC$ . Ora a misura che il punto da cui si muove la piramide è più lontano dall'occhio, i raggi più si sparpagliano tra loro, e più tra loro si vanno allontanando quanto più camminano. Per lo che tanto minore viene a farsi la quantità della luce che entra nell'occhio a cagione della divergenza dei raggi, quanto più lontano è situato il punto visibile. Se l'occhio si trovasse in  $D$  (*fig.* 13), la base della piramide raggiante sarebbe  $EG$ , l'angolo diventerebbe  $EAG$ , e l'occhio riceverebbe tutti i raggi che son compresi tra  $AG$  ed  $AE$ . Ma come l'occhio s'allontana in  $P$ , l'angolo diventa più piccolo, e nell'occhio si ha l'impressione di quei pochi raggi che sono racchiusi tra  $AB$  e  $AC$ . Diminuita quindi la quantità della luce ch'entra nell'occhio, viene in corrispondenza a diminuirsi la chiarezza dell'oggetto, a cagione della distanza dell'occhio e della divergenza dei raggi. Che se l'occhio si portasse molto lontano, potrà benissimo accadere che sarà tanto poco la luce che ferisce il nostro organo, quanto non se ne senta l'impressione per la quale si conosce la presenza dell'oggetto, e perciò questo diventa per noi invisibile.



## Esperimento I.

Si adatti al buco d'una finestra della camera oscura il tubo  $AB$  (*fig.* 12) che porta la lente convesso-convessa  $DI$ , che unisce tutti i raggi del sole raccolti dal tubo in unico punto  $B$ . Questo punto si deve considerare come l'apice d'una piramide di raggi divergenti, ai quali si opponga a una distanza arbitraria il piano  $HF$  perpendicolare all'asse del cono. Ciò fatto, si vedrà che i raggi descriveranno sopra questa piano un circoletto lucido il cui diametro è  $HF$ . Indi si collochi lo stesso piano a una distanza doppia, e in una situazione parallela alla prima in  $GK$ ; allora si vedrà che gli stessi raggi che avevano formato il circoletto  $HF$ , camminando di più, descrivono il circolo più grande, il cui diametro è  $KG$ , e la cui superficie è quadrupla della superficie del circolo  $HF$ . Finalmente si porti il piano in  $CE$  a una distanza tripla della prima, e si vedrà che i raggi stessi descriveranno il circolo maggiore del primo e del secondo, il cui diametro è  $CE$ , e la cui superficie è nove volte di più della superficie del circolo  $HF$ .

49. La superficie del circolo lucido  $GK$  è quattro volte più grande, perchè la sua distanza è doppia; e quella del circolo  $CE$  è nove volte più grande, quando la sua distanza è tripla. In questa guisa il circolo  $GK$  racchiude quattro volte più di punti che  $HF$ , e il circolo  $CE$  nove volte più di punti dello stesso  $HF$ . Ma la quantità della luce che si parte da  $B$ , e giunge ai tre descritti circoli, è la stessa, nè altra mutazione ha sofferto se non quella

che nasce dalla sua divergenza; per cui a una distanza doppia illumina un numero quadruplo di punti, e a una distanza tripla un numero nove volte più di punti, che non faceva alla distanza come 1, rischiarando la superficie  $HF$ .

50. Segue da ciò che ciascuno dei punti del circolo  $GK$  riceve ed è illuminato da una quantità di luce che è quattro volte meno di quella che illumina ciascun punto di  $HF$ ; e parimente ciascun punto di  $CE$  riceve ed è rischiarato da una quantità di luce nove volte meno di quella che illumina ciascun punto del circolo  $HF$ . E però essendo l'intensità della luce meno, come 4 nel circolo posto alla distanza 2, e meno, come 9 nel circolo posto alla distanza 3; chiaro ne viene che l'intensità della luce va diminuendo in un mezzo libero a cagion della divergenza dei raggi nella ragione del quadrato della distanza; perciocchè 4 è quadrato di 2, e 9 della distanza 3.

Se in luogo dei piani  $H$ ,  $K$ ,  $C$  si sostituisce l'occhio, ben si capisce che la luce per l'occhio situato in  $K$  e in  $C$  si va diminuendo nello stesso rapporto dei quadrati delle distanze. Di fatto per cagione della divergenza dei raggi l'occhio ne riceverà quattro volte di meno in  $K$ , e nove volte di meno in  $C$ . Per lo che ove si volesse che l'occhio fosse rischiarato dalla medesima quantità di luce in  $K$ , che lo era in  $H$ , si dovrebbe accrescere la luce in  $B$  quattro volte, e nove se restando l'occhio in  $C$ , si volesse illuminato colla stessa intensità di luce con che era rischiarato in  $H$ . Si comprende così l'esperimento che volgarmente si rapporta dai fisici, che bastando una

candela accesa per leggersi distintamente un libro alla distanza come 1, si ricerca il lume di quattro candele alla distanza doppia per leggere colla stessa distinzione come faceasi alla distanza 1, e sono necessarie nove candele accese alla distanza tripla per leggersi lo stesso libro così distintamente, come leggeasi alla distanza 1.

Ma non così avviene quando si tratta che l'occhio situato in  $H$ ,  $K$ ,  $C$ , guarda il punto lucido  $B$ ; poichè in sì fatto caso, qualunque sia la distanza, sempre lo vede con egual grado di chiarezza. La ragione di ciò è facile a comprendersi. Il punto  $B$ , come innanzi si dirà, si vede alla distanza 3 in  $C$  nove volte più piccolo di quello che comparisce in  $H$  alla distanza come 1. Sebbene adunque l'intensità della luce in  $H$  sia nove volte più forte, che non è in  $C$ ; pure perchè in  $H$  alla distanza come 1 deve illuminare una superficie nove volte più grande e più ampia, produrrà in ciascun punto di questa superficie lo stesso grado di chiarezza, che una luce la quale è nove volte meno intensa produrrà in  $C$  distanza come 3 sopra ciascun punto d'una superficie nove volte minore della prima. In una parola, diminuendosi la grandezza dell'oggetto nella stessa ragione con cui va facendosi meno l'intensità della luce, o sia nella ragione dei quadrati delle distanze, il grado di chiaror della luce per l'occhio, che conserva la stessa apertura e riguarda lo stesso punto raggiante, si conserva sempre eguale e costante.

51. Sebbene i corpi, come sono l'aria, l'acqua, il cristallo, ec., diconsi *mezzi diafani*, perchè danno passaggio alla luce che li traversa; pure essi ne impediscono

una parte che si va mano mano perdendo, come la luce va per i medesimi trapassando. Bouguer ha dimostrato che passando la luce a traverso l'aria per 189 piedi di distanza orizzontale, si diminuisce almeno di  $1/100$ , e di  $2/3$  alla distanza orizzontale di 7469 piedi. Anzi per un calcolo fondato sopra varie esperienze lo stesso autore ci ha somministrato una tavola, con cui indica il dispendio che va facendo la luce delle stelle per giungere sino all'occhio nostro, a cagione del suo passaggio per mezzo dell'atmosfera. Supponendo quindi le stelle a varie altezze, assegna perciò la perdita corrispondente che esse soffrono in riguardo a 10000 raggi che tramandano.

TAVOLA

Altezze apparenti.	Raggi residui di 10000.	Altezze apparenti.	Raggi residui di 10000.	Altezze apparenti.	Raggi residui di 10000.
0	5	8	2123	30	6613
1	47	9	2797	35	6963
2	192	10	3149	40	7237
3	454	11	3472	50	7624
4	802	12	3773	60	7866
5	1201	15	4551	70	8016
6	1606	20	5474	80	8098
7	2031	25	6136	90	8123

52. Ci ha inoltre soggiunto che un corpo finisce d'es-

ser trasparente e diviene opaco in riguardo agli occhi nostri, quando lascia solo passare 1,000,000,000,000<sup>mo</sup> della luce solare; perciocchè per noi risulta insensibile una tale piccolissima quantità di luce solare. Ma senza più dilungarci sopra ciò, egli è certo che la luce va perdendo la sua chiarezza non solo per cagione della divergenza con cui propagasi, ma altresì per le varie e successive sue perdite nel passare a traverso de' corpi trasparenti. Per calcolare questo secondo elemento si suppone il mezzo diafano come se fosse d'uniforme densità; perciocchè variando la densità del mezzo, varia viene a farsi la perdita della luce, nè si potrà mai ridurre ad una legge costante. Posto adunque un mezzo d'uniforme densità, si consideri diviso in istrati d'egual grossezza; allora fatta = 1 la quantità della luce nell'atto che comincia a passare in quel mezzo, sia l'espressione della perdita della luce pel passaggio a traverso il primo strato  $\frac{1}{n}$ , indicando per  $n$  20, o 30, o 100, o 1000, ec., giusta la perdita che soffre la luce in ragione della densità del mezzo. Onde avviene che la quantità della luce, nell'atto che dal primo passa nel secondo strato, non è più = 1, ma è  $1 - \frac{1}{n} = \frac{n-1}{n}$ . Pel passaggio della quantità  $\frac{n-1}{n}$  di luce a traverso del secondo strato eguale al primo, eguale pure avviene la perdita della luce, o sia  $= \frac{1}{n}$  del-

la quantità  $\frac{n-1}{n}$  che viene a farsi  $\frac{n-1}{n^2}$ . Dunque il numero dei raggi che passato il secondo strato si va inoltrando pel terzo, è espresso da  $\frac{n-1}{n} - \frac{n-1}{n^2} = \left(\frac{n-1}{n}\right)^2$ . E così successivamente la quantità di luce che andrà progredendo pel quarto strato sarà  $= \left(\frac{n-1}{n}\right)^3$ , e quella che passa per quinto  $= \left(\frac{n-1}{n}\right)^4$ , ec. Laonde si ricava che l'intensità della luce, a cagione del mezzo d'uniforme densità che va mano mano trapassando, decresce nella ragione della serie  $\frac{n-1}{n}$ ,  $\frac{(n-1)^2}{n^2}$ ,  $\frac{(n-1)^3}{n^3}$ ,  $\frac{(n-1)^4}{n^4}$ , ec. Di che ritrasse Bouguer che la degradazio-

ne successiva della luce, che passa per gli strati di mezzi diafani, non è rappresentata da una linea retta, ma da una curva, che i geometri chiamano logaritmica. Che se a questa cagione di decremento ci piacerà d'unire l'altra che nasce dalla divergenza, ed è rappresentata (num. 50) dalla serie  $1, \frac{1}{4}, \frac{1}{9}, \frac{1}{16}$ , ec., ne risulterà che la densità della luce che diverge va decrescendo nella ragion composta dei quadrati della distanza, e dei termini della serie or ora ricavata, quando passa per mezzi diafani d'u-

niforme densità.

## Esperimento II.

Posto un obbietto  $FOG$  (fig. 16) dinanzi la fenestra  $AB$ , che ha un buco in  $E$  in cui vi è incastrata una lente convessa, si osserva sulla muraglia  $CD$  opposta alla fenestra l'immagine  $KH$  descritta esattamente eguale all'obbietto  $FG$ , ma dipinta capovolta.

53. Siccome i singoli punti dell'oggetto  $FOG$  mandano dei raggi in tutte le direzioni (num. 46), così deve aver luogo (num. 47) che una piramide lucida si parta dal punto  $G$  dell'oggetto, un'altra da  $O$  e un'altra da  $F$ , le quali piramidi traversando la lente  $E$  tra loro si frastagliano, come si vede nella figura. E perchè i raggi componenti la piramide  $H$ , che si spicca da  $G$ , si trovano in  $H$  tali quali erano partendosi da  $G$ , avviene che formano in  $H$  la dipintura di  $G$ . Per la stessa ragione si dipinge in  $K$  il punto  $F$ , e in  $N$  il punto  $O$ . Ma come nel passare per  $E$  le piramidi si sono incrocicchiate; così l'immagine si descrive rovesciata e in senso contrario all'obbietto.

Ora se in luogo del buco e della lente in  $E$  si considera ivi situato un occhio che guardi lo stesso obbietto  $FG$ ; è chiaro che le stesse piramidi si andranno incrocicchiano nell'occhio in  $E$ , formando l'angolo  $GEF$ . Questo angolo, formato nell'occhio nostro dagli assi delle due piramidi lucide che si partono dai due punti estremi degli obbietti, si chiama *angolo ottico*, del quale usiamo alcune volte come di compasso per misurare la grandezza apparente degli oggetti; perciocchè quanto più o

meno grande è l'angolo  $GEF$ , tanto più o meno grande comparisce in corrispondenza la base  $FG$ . D'ordinario ci sogliamo servire di questo angolo per estimare la grandezza degli oggetti, quando questi son collocati in quelle distanze in cui non siamo usi a vederli, e in cui non siamo avvezzi a stimarne le dimensioni. Allora in difetto d'uso e di pratica fondiamo i nostri giudizi sull'angolo ottico, e col suo aiuto apprezziamo la loro grandezza, la quale sarà quella che a noi comparisce; e non la reale. Il sole e la luna, che sono di grandezza differente, ci potranno comparire eguali se veggonsi da noi sotto lo stesso angolo. E siccome questo angolo va diminuendosi a misura che gli oggetti sono più lontani; così ne segue che la grandezza degli obbietti il più delle volte ci comparisce più piccola a misura che più da noi si allontanano. Anzi giunge a perdersi di vista un oggetto, se l'angolo che forma all'occhio nostro sia di 1". Ma di questo argomento, e di tutte le apparenze che han luogo negli occhi nostri, meglio e più ampiamente si parlerà quando tratteremo della visione.

54. È a chiunque ora manifesto che siffatte proprietà della luce non solo ben si dichiarano col sistema dell'emanazione, ma con quello ancora delle vibrazioni. Un punto lucido in questa ipotesi altro non è che un punto il quale vibra, o sia che va e ritorna in egual tempo e colla stessa velocità. Questo movimento di vibrazione è comunicato da quel punto alle particelle del fluido etereo che gli sono in contatto, non altrimenti che fa una corda elastica quando è strappata nell'aria che la circonda. Il



numero tutto delle particelle eteree, che sono poste in movimento nel tempo che il punto lucido eseguisce un'intera vibrazione, forma un'onda la quale risulta da due eguali semiondolazioni, l'una dalle particelle che vanno in avanti, e l'altra da quelle che ritornano indietro, e tutta l'onda nell'etere è più o meno lunga, quanto più o meno dura la vibrazione del punto lucido, perchè tanto più o meno lontano si propaga il movimento. Ora la vibrazione del punto lucido nel mezzo omogeneo, quale è l'etere, si propaga giusta le leggi della meccanica in ogni senso e in linea retta; di modo che il punto lucido è un centro di vibrazione, intorno a cui formasi una sfera di onde lucide, nella stessa guisa che nell'ipotesi dell'emanazione si fa una sfera di molecole lucide. Ciascuna di queste onde, che sono mosse immediatamente dal punto lucido, trasmette giusta la sua direzione alle particelle che succedono il movimento di vibrazione che ha ricevuto, e queste di mano in mano ad altre, e così di strato in istrato si comunica lo stesso movimento indefinitamente. Per lo che una serie o sistema di onde, che tutte si muovano alternativamente in avanti e in dietro nella stessa linea, forma un raggio lucido, che percuo- tendo il nostro occhio, ci rende visibile il punto lucido da cui si partì il movimento. E però un punto lucido è il centro d'una gran moltitudine di raggi che si portano da tutti i lati nello spazio, e divergono continuamente propagandosi in linea retta.

Sebbene le onde generate da una vibrazione del punto lucido abbiano la medesima lunghezza, perchè ripetono

in egual tempo la stessa vibrazione; pure propagandosi divergenti acquistano un'ampiezza maggiore, e portandosi all'occhio acquistano la forma d'un cono lucido. Ora si conosce per la geometria, che tagliato un cono retto per piani normali all'asse e paralleli tra loro, questi tagliano delle superficie che crescono nella ragione dei quadrati della loro distanza dal vertice. E però spargendosi il movimento, che in ciascuna onda è eguale, in una superficie, o sia comunicandosi ad un numero di molecole che cresce nella ragione dei quadrati della distanza dal punto lucido; egli è chiaro che venga nella stessa ragione a indebolirsi il movimento, ed insieme la sensazione che si produce dall'onda. Per lo che l'intensità della luce, come già si è detto, è nella ragione inversa del quadrato della distanza. Veramente nel sistema dell'ondolazioni l'intensità della luce si calcola dalla forza viva, che risulta dal quadrato della velocità, di cui è animata ogni molecola eterea dell'onda, moltiplicato per la densità dell'etere. E come una sì fatta velocità va menomandosi, giusta i dettati del calcolo, nella ragione della distanza; così il suo quadrato diminuisce nella ragione di quello della distanza dal punto lucido; o sia, posto lo stesso mezzo, l'intensità della luce è in ragione inversa del quadrato della distanza dal punto lucido. Indebolendosi quindi il movimento per cagion della distanza, si comprende perchè i corpi a tenore delle distanze ci compariscono ora lucidissimi, ora appena visibili, e talvolta eziandio non si veggono, almeno per i nostri organi; giacchè ciò che per noi è oscurità, per altri può essere

chiarezza sino ad un punto di cui ignoriamo il termine.

Le molecole dell'etere nel ripetere le vibrazioni del punto lucido sono appena rimosse dalla loro posizione d'equilibrio, che immantinente ripigliano come l'agitazione è trasmessa agli strati che succedono, e però i loro movimenti di vibrazione hanno una piccola estensione. E sebbene a cagione dell'ampiezza dell'onda si venga ad alterare alcun poco la celerità di quelle molecole, ed insieme l'estensione ancorchè piccolissima della loro vibrazione; pure non si viene mai ad alterare la velocità con cui trasmettono il movimento. Per cagione quindi dell'ampiezza delle onde si può diminuire l'intensità della luce, ma non mai la velocità con che si propaga. E parimente il punto lucido può fare delle vibrazioni più o meno rapide, ma colla rapidità maggiore o minore si può accrescere o diminuire la lunghezza delle onde, giacchè le vibrazioni sono più corte quanto più son veloci; ma come la celerità con che si propaga il movimento da molecola a molecola resta sempre la stessa, così la luce, sia che l'onde sieno più o meno ampie, o pure più o meno lunghe, non resta alterata nella sua velocità, che è rapidissima, uniforme e costante.

55. Ciò che abbiamo detto d'un sol punto, si può applicare a un corpo qualunque luminoso, che risulta da una moltitudine di punti che tutti vibrano, e vibrando imprimono all'etere delle oscillazioni di ogni maniera di celerità e producono delle onde di diversa lunghezza, che corrisponder possono a colori diversi, come si può vedere nella *fig.* 19. Si è calcolato che in una milionesi-

ma parte di 1" si possono eseguire 564000 ondulazioni. Or tutte queste diverse onde componendosi tra loro, senza che l'una si distingua dall'altra, eccitano una sensazione composta che chiamasi *luce bianca*. Di che egli è manifesto che i fenomeni della luce diretta si possono con eguale facilità dichiarare e calcolare così col sistema della emanazione, come con quello delle vibrazioni.

## CAPO II. — DELLE OMBRE.

Dopo d'aver osservato in qual modo si propaga la luce che si parte dai corpi luminosi, venghiamo ora a considerarla nel punto che s'imbatta nei corpi opachi. Si vede in prima che questi impediscono ai raggi, sia che risultino da molecole o pure da onde, d'oltrepassare, e però si genera dietro a sì fatti corpi uno spazio privo di luce che chiamasi *ombra*. È da porre mente in secondo luogo ai fenomeni che ci porgono i raggi che passano radendo i lati del corpo opaco; fenomeni che diconsi d'*inflessione* o di *diffrazione*. E finalmente è da osservarsi che i raggi imbattendosi nei corpi opachi sono rimandati da questi, o, come dicesi, si *riflettono*. Per lo che parleremo delle ombre, della diffrazione e della riflessione della luce, e prima delle ombre.

56. L'ombra nasce dal cammino in linea retta che fa la luce; poichè se i raggi si propagassero per curve, potrebbero girare intorno al corpo opaco e illuminare lo spazio che gli sta dietro, e non potrebbe aver luogo

l'ombra. Di fatto le ombre sono terminate da linee rette che sono rappresentate dai raggi, i quali partendosi dal corpo lucido vanno radendo l'estremità del corpo opaco. È facile dopo ciò comprendere: 1.º Che l'ombra è tanto più folta quanto più viva è la luce, perchè dal contrasto tra la luce e lo spazio non rischiarato risulta la densità dell'ombra. E siccome la luce suol essere più intensa quanto è meno distante dal corpo lucido; così l'ombra dei corpi opachi è più folta quanto essi sono più vicini ai corpi lucidi. 2.º Che quanti sono i corpi lucidi che incontrano l'ostacolo dell'opaco, tanto è il numero delle ombre; perciocchè impedendo il corpo opaco così i raggi che provengono da un corpo lucido, come quelli che dagli altri oggetti lucidi si diramano, deve generare dietro di sè tanti spazj non illuminati, o sia ombre. 3.º L'ombra si muove in senso contrario al corpo lucido; poichè camminando la luce per sentieri rettilinei, i raggi d'un corpo lucido situati alla destra d'un corpo opaco, se questo non l'impedisce, anderebbero a illuminare lo spazio dietro il corpo opaco situato alla sua sinistra, e al contrario. Ora come questo spazio resta oscuro per l'interposizione del corpo opaco; così l'ombra in riguardo al corpo opaco si forma in un sito contrario a quello in cui è collocato il corpo lucido. E però se questo si muove da destra a sinistra, l'ombra si moverà da sinistra a destra, e così in ogni altro punto succede in senso sempre contrario.

57. Ma trattando delle ombre, giova sopra di ogni altro di ricercarne la figura e l'estensione, quando i due

corpi, lucido ed opaco, sono sferici o di eguali o d'inequali diametri; perciocchè una sì fatta ricerca, come abbiamo osservato nella *Meccanica celeste*, molto influisce alla dottrina degli eclissi. Sia dunque che la sfera lucida fosse  $B$  e l'opaca  $C$  (*fig. 21*), o pure all'inverso: egli è certo che al di là della sfera illuminata formasi l'ombra, la cui figura ed estensione è definita dalle tangenti  $AT$ ,  $AP$ , comuni ad ambe le sfere, e da queste tangenti è del pari definita la porzione illuminante e illuminata delle due sfere. Poichè essendo rettilineo il cammino della luce, queste due tangenti rappresentano i raggi estremi, che partendosi dalla sfera lucida illuminano l'opaca; giacchè i raggi che muovono al di là dei punti  $I$ ,  $Q$ , quando  $B$  è lucida, incontrar non possono l'opaca  $C$ , e similmente i raggi che muovono al di là dei punti  $P$ ,  $T$ , quando  $C$  è lucida, incontrar non possono l'opaca  $B$ . Basta questa sola considerazione per vedere che ove la sfera lucida è minore dell'opaca, la porzione illuminante sarà maggiore di  $180^\circ$  e minore l'illuminata, e all'inverso nel caso che la sfera lucida sia più grande dell'opaca; che se le due sfere fossero d'egual diametro, come le due tangenti sarebbero parallele, eguali a  $180^\circ$  sarebbero le due porzioni illuminante ed illuminata delle due sfere. Sia dunque per maggior semplicità la sfera lucida  $B$  minor dell'opaca  $C$ ; allora si guidino i due diametri  $VD$ ,  $GE$ , che sono normali alla retta  $BC$ , la quale unisce i centri delle due sfere, e i raggi  $BI$ ,  $BQ$ ,  $CT$ ,  $CP$ , ai punti di contatto. E però ne nascono i triangoli simili  $IBG$ ,  $PCV$ , e  $EBQ$ ,  $DCT$ , che simili avranno rispettivamente

gli archi  $IG, PV, EQ, TD$ . D'onde si ricava che il numero dei gradi dell'arco  $IFQ$  aggiunto a quello dell'arco  $POT$  sarà eguale a  $360^\circ$ . Ma la differenza tra questi due archi, che rappresentano la porzione illuminante ed illuminata delle due sfere, è misura dell'angolo  $A$  formato dalle due tangenti  $AT, AP$ ; poichè per i due triangoli simili  $IBG, IBA$  l'angolo  $BAG = IBG$ , e per la stessa maniera si ha l'angolo  $BAE = QBE$ ; e però questi due angoli sono eguali all'angolo  $TAP$  formato dalle tangenti. Or quei due angoli sono misurati dagli archi  $IG, QE$ ; e come questi archi sono eguali alla differenza che corre tra la porzione illuminante e illuminata delle due sfere, così l'angolo  $TAP$  è la misura di siffatta differenza. Indi è che quando le due sfere sono di egual diametro, la differenza tra le porzioni illuminante e illuminata è eguale a zero, perchè nullo viene a farsi l'angolo delle tangenti che sono parallele. Se poi la sfera lucida è minore dell'opaca, cresce tanto più la porzione illuminante, e decresce l'illuminata quanto più le due sfere s'avvicinano, perchè tanto più cresce quell'angolo. Ed all'inverso per la stessa ragione quando la sfera lucida è maggiore dell'opaca, cresce tanto più la porzione illuminata, e decresce l'illuminante quanto più si avvicinano le due sfere.

58. Chiaro ne proviene, in secondo luogo, che quando  $B$  è lucida e  $C$  opaca, la forma dell'ombra al di là di  $C$  sia quella d'un cono troncato, la cui base è ad una distanza infinita; è perfettamente conica, quando  $C$  è lucida e  $B$  opaca; e infine è del tutto cilindrica, quando  $B$  e  $C$  sono eguali, perchè i raggi, rappresentati dalle due

tangenti, radono il diametro o il circolo massimo, e camminan paralleli.

59. Posto  $IK$  (fig. 20) un corpo luminoso, e il bastone  $GB$  opaco verticalmente sul piano  $BF$ , si guidi al corpo medesimo per l'estremità  $G$  la tangente in  $F$ , che forma il minimo angolo con  $G$ , e che prolungata incontra il piano  $BF$  in  $C$ . Questa retta rappresenta il raggio, che radendo l'estremità del corpo opaco divide lo spazio rischiarato dall'oscuro che si forma a cagione dell'interposizione del corpo opaco  $GB$ ; e perciò l'ombra sarà espressa e determinata dal triangolo  $CGB$ . Ma sebbene lo spazio oscuro sia tutto il triangolo  $CGB$ ; pure l'ombra del bastone, che comparirà gittata sul piano  $BE$  situato al di là del corpo opaco, sarà rappresentata da  $BC$ . Si potranno quindi considerare le ombre sotto un altro punto di veduta, cioè a dire sopra un piano collocato al di là del corpo opaco. In questa considerazione il piano su cui cadono e si ricevono le ombre, si chiama *piano di proiezione*, e l'ombra considerata sopra questo piano si dice *proiettata*. Per lo che si può indagare quale sia la forma delle ombre sopra un piano di proiezione. Siccome questo piano taglia il solido, che rappresenta l'ombra; così la forma delle ombre sarà eguale ed espressa dalla figura che risulta dalla sezione d'un piano col solido dell'ombra. Con questo intendimento, posto il solido dell'ombra un cono, è chiaro che l'ombra piglia la figura d'un cerchio, di un'ellisse o d'un'iperbola; perchè il piano di proiezione, tagliando comunque un cono, deve generare una delle sezioni coniche. E sopra questo princi-



pio delle ombre, considerate sopra i piani, che è fondata la *gnomonica*, o l'arte di descrivere gli orologi solari.

60. Nel triangolo  $GBC$  (*fig.* 20), supposto il corpo opaco  $BG$ , si tratta di definire in qual ragione cresce o decresce la lunghezza dell'ombra  $BC$  ricevuta sul piano  $AE$ . A ciò fare è da riflettersi che in questo triangolo  $BC:BG :: 1:\text{tang } BCG$ , che rappresenta e misura l'altezza del lembo superiore  $I$  del corpo lucido sul piano di proiezione  $AE$ . E però la lunghezza dell'ombra  $BC$

$$= \frac{BG}{\text{tang } BCG}, \text{ per cui supposto costante } BG, \text{ ne viene}$$

$BC = \frac{1}{\text{tang } BCG}$ , o sia la lunghezza dell'ombra è in ragione inversa della tangente dell'altezza del lembo superiore del corpo lucido sul piano di proiezione. Quando adunque cresce l'angolo  $BCG$ , o sia l'altezza d' $I$  sopra  $AE$ , va menomando la lunghezza  $BC$  dell'ombra, e al contrario va crescendo come l'angolo  $BCG$ , o l'altezza del corpo lucido va facendosi più piccola. Nasce da ciò che l'ombre più corte sono a mezzogiorno cioè quando il sole ha la massima altezza, e al contrario le più lunghe han luogo verso la sera o il mattino in cui il sole è meno alto sopra l'orizzonte.

61. Quando l'ombra è progettata sopra un piano, non succede un immediato e rapido passaggio da luce a tenebre, ma la luce va a poco a poco provando una digradazione, per cui a contare dal punto luminoso essa va successivamente e mano mano perdendo la sua intensi-

tà, finchè giunga allo spazio non rischiarato, o sia all'*ombra pura*, che dicesi propriamente ombra. A meglio comprendere una sì fatta digradazione di luce si riguardi alla *fig. 20*, ove trovansi guidati dai lembi superiore e inferiore e dal centro del corpo lucido *IK* tre raggi che radono l'estremità *G* del corpo opaco, e cadono sul piano di proiezione in *E*, *D*, *C*. Stando in tale posizione i raggi che vengono dal corpo lucido, chiunque s'accorge che ove lo spettatore si porta da *F* in *E* vede tutto il corpo lucido *IK*, e che lo spazio *EF* è illuminato da tutti i raggi di *IK*. Ma come lo spettatore da *E* cammina verso *D*, comincia a vedere che va gradatamente facendosi meno una parte del disco *IK*, perchè l'ultimo dei raggi provenienti da *K* fu *KGE*; e perciò lo spazio compreso tra *E* e *D* è illuminato da una luce che va successivamente perdendo il suo splendore, perchè in corrispondenza e successivamente va menomandosi il numero de' raggi lucidi che cadono tra *E* e *D*. Giunto lo spettatore in *D* non vede che la metà del disco *IK*; e come da *D* si porta verso *C*, va scemando la porzione visibile del disco lucido, e lo spazio *DC* va perdendo successivamente la quantità della luce che l'illuminava in *D*, perchè va scemandosi mano mano il numero de' raggi che cadono tra *D* e *C*. Finalmente in *C* si perde del tutto di vista il corpo lucido, perchè il corpo opaco impedisce tutti i raggi, e comincia l'*ombra pura* *CB* proiettata sul piano *AE*. Ora la luce che gradatamente decresce da *E* sino a *C*, principio dell'*ombra pura*, si chiama *penombra*; e a cagione della penombra si trova sempre confuso e mai

terminato il confine dell'ombra che gittano sopra un piano i corpi opachi, ove sono rischiarati dal sole.

62. La penombra non è sempre della stessa estensione e lunghezza, a cagione di più cause che la possono alterare. Primieramente nel triangolo  $CGE$  (*fig. 20*) il lato  $CE$ , che misura la penombra, aumenta in corrispondenza all'angolo opposto  $CGE$ . E siccome l'angolo  $CGE = KGI$ , che è la misura del diametro del corpo lucido; così è da conchiudersi che la penombra  $CE$  sia più o meno, secondo ch'è maggiore o minore il diametro apparente dell'oggetto luminoso. D'onde si ricava che se l'oggetto luminoso non è che un solo punto raggianti, la penombra sarà nulla, perchè nullo sarebbe l'angolo  $CGE$  in tale caso. E parimente crescendo il diametro apparente del corpo lucido, quanto questo è più vicino al corpo opaco, ne segue che cresce la penombra a misura che decresce la distanza del corpo lucido dall'opaco. In secondo luogo è da attendersi alla obliquità con cui s'imbattono nel piano di proiezione  $BE$  i raggi  $IC$ ,  $KE$ . Poichè quanto è maggiore l'obliquità della loro incidenza, tanto più il punto d'incidenza  $E$  viene ad esser lontano dal punto d'incidenza  $C$ , e crescendo lo spazio  $CE$ , che misura la penombra, questa sarà più lunga. E siccome i raggi cadono più obliqui quanto meno alto si trova il corpo lucido sopra il piano di proiezione; così, poste le altre cose eguali, le penombre crescono verso il mattino o verso la sera pei corpi che sono illuminati dal sole. Finalmente è da tenersi conto della distanza del piano di proiezione  $BF$  dall'estremità  $G$  del corpo opaco  $BG$ . Im-

perocchè camminando i raggi  $IC$ ,  $EK$ , divergenti tra loro, tanto più lontani tra loro si trovano, quanto più distante dal punto  $G$  incontrano il piano di proiezione  $BE$ . E però quanto più lontano incontrano questo piano, tanto più  $C$  sarà distante da  $E$ , e tanto più lunga sarà la penombra  $CE$ . Di che viene che quanto più alto è il corpo opaco  $BG$  sul piano di proiezione  $BE$ , tanto più cresce la penombra. Siamo adunque, dopo tutte queste considerazioni, in istato di conchiudere che la penombra, poste le altre circostanze eguali, sia tanto più estesa quanto l'ostacolo è più lontano dal piano di proiezione, quanto più obliquamente si riceve sopra questo piano, e quanto più grande è il corpo luminoso.

63. Gli antichi per difetto di stromenti riduceano ad effetto le loro osservazioni astronomiche col favore delle ombre, e per mezzo delle ombre inventarono gli orologi solari. Di fatto volendo sapere l'altezza del corpo lucido  $IK$  piantavano verticalmente un bastone  $GB$  sul terreno orizzontale  $AE$ , e dall'ombra  $BC$  sul medesimo progettata argomentavano l'altezza del sole o di altro corpo lucido  $IK$ . Poichè l'altezza di  $IK$  è misurata dall'angolo  $BCG$ , e questo angolo facilmente si conosce di-

cendo  $BC : BG :: R : \text{tang } BCG = \frac{BG}{BC}$ . Solamente è da

avvertire che non si confonda l'ombra colla penombra, perciocchè l'angolo che misura l'altezza del corpo lucido è formato dall'ombra pura  $BC$  e dalla retta  $GC$ . Nella stessa guisa si può misurare l'altezza d'una torre o d'al-

tro oggetto simile. Ma lasciando stare tanti altri usi delle ombre, giova qui notare in qual modo i fisici coll'ajuto delle ombre han misurato il rapporto dell'intensità e chiarezza di due corpi luminosi. Il metodo è semplice. Prese una candela e una fiaccola, s'allontanano a diverse distanze e tanto da un corpo opaco, quanto le ombre, che gittano l'una e l'altra sopra un medesimo piano, sieno d'eguale densità; allora il rapporto che vi è tra la chiarezza della candela e della fiaccola sarà eguale a quello dei quadrati delle distanze dell'uno e dell'altro lume dal piano di proiezione. Imperocchè supposta eguale la densità delle due ombre, ne segue che eguale è l'intensità della luce della fiaccola e della candela sul piano di proiezione, per la ragione che la densità dell'ombra nasce dal contrasto della intensità della luce che la termina. Ma per formarsi queste due eguali intensità di luce lo splendore della candela e della fiaccola dovettero diminuirsi in ragione del quadrato delle loro rispettive distanze sul piano di proiezione; dunque, ec. Con questo artificio si è rapportata la luce del sole a quella della luna, e lo splendore dell'una e dell'altra a quello d'una candela accesa; d'onde si è ricavato che la luce della luna è quasi 300 mila volte più debole della luce del sole alle loro medie distanze dalla terra; e si è compresa la ragione per cui la luce lunare, non ostante che fosse stata raccolta e concentrata, non ha prodotto mai un calore che fosse sensibile. Dopo i travagli del Bouguer e del Lambert, sono stati Leslie e 'l conte di Rumford che han proposto degli strumenti che sono molto

opportuni a misurare l'intensità della luce.

### CAPO III. — DELLA DIFFRAZIONE DELLA LUCE.

#### Esperimento I.

Introdotta per un forellino in una camera oscura un fascetto di raggi, si accolga normalmente all'asse e alla distanza di otto o nove piedi la base del cono lucido che formano i raggi sopra un cartone bianco, o meglio sopra un vetro senza lustro. Riguardandosi poi di dietro a questo vetro o cartone, si vedrà un'impronta circolare bianca assai più ampia di quello che sarebbe, se i raggi avessero seguito un cammino rettilineo, e questa impronta si vedrà circondata di cerchi concentrici di colore diverso, ma in guisa tale che in ciascun anello il celeste e il violetto sono in dentro, e l'aranciato e il rosso in fuori. A misura poi che si avvicina il vetro o cartone al forellino l'impronta bianca e i cerchi colorati si van restringendo come se i coni che li formano emanassero da quel forellino.

#### Esperimento II.

Se frammettete alla distanza di tre piedi fra quei raggi un corpicciuolo opaco, come un capello, che sia in una posizione parallela al vetro o al cartone, si osserverà: 1.º che l'ombra sarà più ampia di quello che dovrebbe essere nel caso che i raggi si muovessero in linea retta; 2.º si vedranno delle strisce colorate esterne o fuori dell'om-

bra; 3.º dentro l'ombra delle strisce leggermente illuminate, le quali separate sono da linee oscure, e nel centro dell'ombra una striscia più delle altre luminosa.

Young osservò che, impedita per mezzo d'un piano opaco la luce che lambiva uno dei lati del capello, spariavano tutte le strisce dall'interno dell'ombra.

### Esperimento III.

Portati a piccolissima distanza tra loro i lembi taglienti di due lamine d'acciajo, si facciano passare in mezzo ai medesimi le porzioni più centrali d'un fascetto di raggi lucidi. Si osserverà allora che l'impronta lucida formata sul vetro o sul cartone sarà contornata di sottili linee bianche più lucide del resto; ma accostandosi di più quei lembi, sì fatte linee si convertiranno in frange colorate le une dalle altre divise, che nell'ombra si gettano ad una distanza più o meno notevole, a tenore che le lamine sono più o meno vicine.

Allontanandosi poi quelle due lamine l'una dall'altra gradatamente, le frange si restringono sempre di più sino a un limite, dopo il quale la deviazione resta costante, anche quando una delle lamine sia del tutto tolta.

È in fine da notare che le bande brillanti e scure alternano, sicchè la larghezza delle prime si misura dalla distanza che corre tra i mezzi di due bande scure consecutive. Ma questi punti di mezzo delle bande scure o brillanti coll'allontanarsi il vetro o il cartone non si allontanano movendosi in una linea retta, ma in una curva, la cui convessità è voltata in fuori.

64. Da questi esperimenti egli è a chiunque manifesto che i raggi lucidi radendo gli orli ed i lembi dei corpi opachi deviano dal loro sentiero rettilineo, e si piegano e in fuori e in dentro, e producono delle bande scure e colorate, ora più ora meno, giusta la varia distanza a che si tiene il piano su cui si progettano l'ombre e le frange. Or queste modificazioni, cui va soggetta la luce passando a traverso i piani o le aperture e radendo gli orli dei corpi, si chiamano fenomeni della *diffrazione*, i quali furono conosciuti in prima dal Grimaldi, ampliati poi ed esaminati dal Newton, ed ai nostri dì sono stati con più diligenza studiati e calcolati dal Biot, dall'Arago, dal Fresnel e da tanti altri.

65. A dichiarare questi fenomeni reca innanzi il Newton l'attrazione e la repulsione. Secondo lui de' raggi che passano lungo gli orli, alcuni si inflettono per l'attrazione verso il corpo, altri proseguono la loro direzione, ed altri se ne allontanano, formando là dove battono un'areola più luminosa che il rimanente del piano. Ma dagli esperimenti ricavasi che nei fenomeni della diffrazione non ha alcuna parte la densità, grossezza e la materia dei corpi. Sia capello o fil di ferro, sieno due lamine d'acciajo o d'altra sostanza, sieno quali si fossero gli orli d'un'apertura, i fenomeni son sempre gli stessi, e succedono nella maniera medesima. Anzi niente vi contribuisce la forma stessa dei corpi, perchè si è osservato dal Fresnel che le bande diffratte hanno lo stesso splendore e la medesima posizione, sia che provengono dal filo o dal dorso d'un rasojo. Ed all'inverso, lasciando



ferma la distanza del punto raggiante dal corpo opaco, viene a variare l'intensità e la lunghezza delle bande scure e brillanti col cangiar la distanza del vetro o del cartone dal corpo opaco. Per lo che si è oggi abbandonata l'alternativa d'attrazione e di repulsione, che prima si recava a dichiarare la diffrazione dei raggi, e dai partigiani delle vibrazioni si è ricorso ad una influenza speciale che esercitano i fascetti lucidi l'uno sopra l'altro, influenza che si può ravvisare nell'esperimento del Young, in cui basta impedire i raggi che passano da un lato del capello per mancare del tutto le strisce diffratte.

Ma per meglio comprendere una siffatta influenza, è da ricordare che nel sistema delle vibrazioni ciascuna onda ha due movimenti alternativi in avanti e in dietro, o sia di condensazione e di dilatazione. E però se due onde della medesima lunghezza si raggiungono, può accadere che i loro movimenti di vibrazione sien d'accordo o pure discordi tra loro. Se i movimenti in avanti o pure retrogradi dell'una s'incontrano coi movimenti analoghi dell'altra, ne verrà un rinforzamento nelle vibrazioni delle particelle dell'etere, e con questo moto rinvigorito la luce sarà più viva. Ma se i movimenti delle due onde sono in ordine contrario, o sia mentre l'una va avanti l'altra si porta in dietro, o all'inverso, allora i due movimenti come contrarj si distruggono o in parte o in tutto, e si avrà o luce debole, o pure oscurità. Per lo che aggiungendo onda ad onda o sia luce a luce, si può talvolta produrre una luce più viva, o pure un'oscurità perfetta. Or queste addizioni o distruzioni di luce, che

nascono dall'accordo o discordanza dei moti di vibrazione dell'etere, sono state chiamate da Young col vocabolo inglese *interference*.

66. Nasce da questa considerazione che se due onde lucide d'eguale intensità e lunghezza, l'una precede l'altra d'una semiondulazione, vi avrà interferenza tra le porzioni posteriore dell'onda antecedente e anteriore della conseguente; o sia incontrandosi il moto retrogrado della prima con quello in avanti dell'altra, questi due moti si distruggeranno, o, come dicesi, si *neutralizzeranno*. Di modo che se vi avessero due sistemi di onde d'eguale intensità e lunghezza e spinte nella medesima direzione, ma che differiscono nel loro cammino d'una semiondulazione, avverrebbe che la prima semiondulazione d'un sistema e l'ultima dell'altro non avrebbero interferenza, e che questa avrebbe luogo in tutte le intermedie semiondulazioni dei due sistemi, dove i movimenti si neutralizzeranno. E però spento il moto in ambedue i sistemi sovrapposti non resterà che in quelle due prima ed ultima semiondulazione, e questo moto come debolissimo non potrà destare la sensazione della luce, e perciò si avrà un'oscurità perfetta. Non così avviene se l'un sistema ritarda sopra l'altro non già una semiondulazione, ma d'una intera ondulazione. Scapperanno allora all'interferenza la prima e l'ultima onda, ma i due sistemi sovrapponendosi cospireranno nei loro movimenti, e raddoppiandosi il moto in ciascun punto dell'etere si raddoppierà l'intensità della luce. Ritournerà poi l'oscurità se l'un sistema ritarderà sopra l'altro di tre se-

miondulazioni, perchè tolte le prime tre semiondulazioni d'un sistema e le ultime tre dell'altro, in quelle tutte che stanno di mezzo si distruggerà il movimento. Si è quindi stabilito il principio che chiamasi delle *interferenze*, dicendo: Se due movimenti derivati dal medesimo centro di vibrazione si rincontrano in un punto dopo d'averne eseguito il medesimo numero di modi alternativi in avanti e in dietro, o sia d'ondulazioni, essi saranno d'accordo, e i loro effetti si aggiungeranno. E parimente si accorderanno, se l'uno ha fatto più dell'altro due, tre, quattro, ec., ondulazioni; perchè allora i moti progressivi e retrogradi dell'uno conspireranno con quelli dell'altro. Ma se uno avendo fatto un numero pari di semiondulazioni, l'altro ne ha fatto un numero impari, allora i moti derivati dal comune centro nell'incontrarsi sono discordi, e tra loro si distruggono, perchè il moto progressivo del primo corrisponderà al moto retrogrado dell'altro, ed all'inverso. Si può questo principio tradurre sotto un'altra forma dicendo: Due raggi si aggiungono quando essi han percorso spazj che sono eguali, o che differiscono per quantità rappresentate da numeri 1, 2, 3, ec., ed al contrario si distruggono, quando la differenza del cammino è  $\frac{1}{2}$ ,  $1\frac{1}{2}$ ,  $2\frac{1}{2}$ , ec.; giacche l'unità dello spazio che si suol chiamare *d* è rappresentata dalla lunghezza d'una ondulazione, o sia dal doppio movimento in avanti e in dietro; e però la stessa legge si può esprimere o cogli spazj, o colle ondulazioni, e col doppio movimento.

67. Egli è chiaro, posto questo principio, che ove i

raggi luminosi tra loro s'incontrano succede un'interferenza; e la specie d'influenza che gli uni sopra gli altri esercitano, si determina dalla lunghezza dei cammini che hanno trascorso dal punto da cui si partono sino a quello in cui si rincontrano; poichè da siffatti spazj si può ricavare se i loro moti sono d'accordo o discordi, o sia se s'accrescono o pure si distruggono. Ma questo argomento da niun altro è stato così ben trattato quanto dal Fresnel. Egli, note le intensità e le posizioni relative d'un numero qualunque di onde luminose della medesima lunghezza e nella medesima direzione, giunse a determinare l'intensità delle vibrazioni risultante dal concorso di questi differenti sistemi, o sia la celerità di vibrazione delle molecole eteree. Noi, senza entrare nei calcoli che da lui si recano, ci contentiamo di riferire la formola generale con cui egli ritrova l'intensità della luce che risulta dal concorso di due soli sistemi di onde separati per un intervallo qualunque. Questa formola esprime

$$A = \pm \sqrt{a^2 + a'^2 + 2aa' \cos\left(2\pi \frac{c}{\lambda}\right)}$$

l'intensità risultante

e dimostra chiaramente che l'onda risultante dal concorso delle due altre, quali che sieno le loro posizioni, corrisponde esattamente per l'intensità e situazione alla risultante di due forze eguali alle intensità  $a, a'$  dei fasci luminosi che fanno tra essi un angolo che sia alla circonferenza tutta  $2\pi$  come l'intervallo  $c$  che separa i due sistemi è alla lunghezza  $\lambda$  d'una ondulazione. Dal che si vede che l'intensità della

luce totale è eguale alla somma  $a+a'$  dei due fasci costituenti nel caso di accordo perfetto, ed alla differenza  $a-a'$  quando del tutto sono discordi. Si vede parimente che quella intensità risulta eguale alla radice quadrata della somma dei quadrati  $a^2+a'^2$ , allorchè le loro vibrazioni corrispondenti sono ad un quarto d'ondulazione gli uni dagli altri, o sia i due sistemi di onde distano l'uno dall'altro per un quarto d'ondulazione. Finalmente è da ricordare che la luce bianca è un effetto composto di ogni maniera di vibrazioni, nè per altro si distinguono tra loro i raggi di colore diverso che per la lunghezza diversa delle loro ondulazioni. Il raggio rosso risulta dalle vibrazioni più lunghe e meno rapide o sia di 6 in 7 diecimillesimi di millimetro, e il violetto è prodotto dalle più rapide le quali non hanno che 4 diecimillesimi di millimetro, e tutti gli altri colori che da noi si possono ravvisare hanno delle lunghezze d'ondulazioni tra 4, e 6 o 7 diecimillesimi di millimetro. Avendo adunque lunghezze diverse l'ondulazioni dei raggi di colore diverso, ne segue che alcuni di questi raggi hanno interferenza, dove altri non l'hanno; e nei medesimi punti d'interferenza alcuni sien d'accordo ed altri discordi nei loro movimenti. Di che viene che progredendo i raggi della luce bianca si manifestino colori, ed alcuni più presto che altri.

68. Or con tutti questi principj è ito il Fresnel dichiarando i fenomeni della diffrazione.

Quando un'onda intera si move, dice il Fresnel, tutte le sue molecole si movono paralellamente alla normale per cui l'onda si avvanza. Poichè essendo le sue particelle

situate sopra una superficie sferica, provano nel medesimo tempo la medesima condensazione o dilatazione, e le pressioni laterali si fanno equilibrio. Ma da che l'onda è rotta ed impedita da un corpo opaco, egli è chiaro che questo equilibrio trasversale è distrutto. Per lo che tutti i punti diversi dell'onda mandano dei raggi in tutte le direzioni. Posto quindi il corpo opaco  $AG$ , e  $C$  il punto raggiante (*fig. 23*),  $AMF$  sarà l'onda luminosa che s'imbatta sull'orlo  $A$ , o sia la porzione d'una sfera, il cui centro è in  $C$ . Si considera quest'onda divisa in un numero infinito di archetti  $In''$ ,  $n''n'$ ,  $n'n$ ,  $nM$ ,  $Mm$ ,  $mm'$ , ec.; e da ciascun punto di questi archetti è da credersi che derivino e si partano tante onde elementari in tutte le direzioni a cagione che l'onda primitiva impedita dal corpo opaco ha perduto il suo equilibrio trasversale. È cosa assai difficile il definire la legge giusta cui può variare l'intensità delle vibrazioni in virtù di tutte queste onde elementari nel momento in cui l'onda s'imbatta; e però si considera l'onda in qualche distanza dal corpo opaco come sarebbe nella posizione  $BPD$ ; perchè in questa distanza non possono alcuno effetto produrre quei raggi che sono assai inclinati sulla normale, ed all'inverso esercitar vi possono un'influenza sensibile i raggi che ne deviano per angoli piccolissimi. Volendosi adunque l'intensità di vibrazione, o sia di luce, nel punto  $P$ , son prima d'ogni altro da eliminarsi i raggi  $EP$ ,  $FP$ ,  $IP$ , che sono assai inclinati sulla normale, perchè gli effetti prodotti da questi raggi quasi del tutto tra loro si distruggono. Si prendano in fatti gli archi  $EF$  e  $FI$  e d'una

lunghezza tale, che  $EP-FP$ , e  $FP-IP$  sieno eguali ad una semiondulazione. Allora essendo questi raggi obliqui sensibilmente, ed avendo una differenza eguale ad una semiondulazione, che è piccolissima rispetto alla loro lunghezza, ne viene che quei due archi sono quasi eguali, e i raggi che essi inviano in  $P$  sensibilmente paralleli. Per lo che i raggi corrispondenti di siffatti due archi avendo una differenza di una semiondulazione, giusta il principio delle interferenze, mutamente si distruggono. Non restano adunque che i soli raggi, i quali dai diversi punti dell'onda primitiva si mandano in  $P$ , e deviano assai poco dalla normale. Or questi raggi, che formano angoli piccolissimi colla normale, si può supporre che vadano sensibilmente nella direzione medesima, ed oltre a ciò, che dotati sieno pressochè di un'eguale intensità. Di modo che il problema si riduce a definire in  $P$  l'intensità della luce, che risulta dal concorso e dalle influenze reciproche di tutti i raggi elementari poco inclinati alla normale, che si partono da diversi punti dell'onda primitiva  $AME$ , e procedono paralleli, o sia giusta la medesima direzione. E come si conoscono le intensità di siffatti raggi che sono proporzionali agli archi piccolissimi che illuminano, e le loro posizioni relative che si ricavano dalle differenze degli spazj percorsi; così è facile di sciogliere questo problema per mezzo della formola che si è dal Fresnel ritrovata, e da noi è stata riferita al num. 67. Ha quindi questo fisico espresso l'intensità della luce in tutti i punti dello spazio situati dietro al corpo opaco relativamente al fuoco raggiante per una formola

generale che abbraccia tutti i casi particolari e rappresenta tutti i fenomeni della diffrazione, e la serie delle bande brillanti separate da intervalli oscuri; e quel che è più, i risultamenti di siffatti calcoli sono stati conformi agl'insegnamenti dell'esperienza, e da questa corrispondenza si è cavata una prova a pro del sistema delle vibrazioni. Noi non potendo entrare nei calcoli del Fresnel, andremo solo indicando in qual modo comprender si possano i fenomeni della diffrazione da noi negli esperimenti riportati col sistema delle vibrazioni.

69. Siccome dall'onda luminosa che s'imbatta negli orli di un corpo opaco nascono, rotto l'equilibrio, dei movimenti in tutte le direzioni; così formansi dei novelli raggi che sono più o meno lontani dai raggi primitivi. È questa la ragione per cui negli esperimenti la luce appare inflessa, e inflettendosi allarga le ombre o le impronte lucide, ed è atta a penetrare nell'ombra medesima dei corpi. Quando il corpo opaco è stretto, come un fil d'acciaio o il capello, ciascun punto dell'ombra riceve da ambidue i lati nel medesimo tempo due movimenti derivati, che incontrandosi, se sono d'accordo, rinforzano le vibrazioni e aumentano l'intensità della luce, e se discordi, si distruggono e producono l'oscurità. Nasce da ciò, che la frangia che si osserva giusta l'esperimento nel mezzo dell'ombra sia la più lucida e brillante, giacchè avendo i raggi che provengono da ambo i lati del capello percorso spazj eguali, nell'incontrarsi hanno un movimento analogo, e la luce diventa più viva. A destra e a sinistra di questa banda lucida e centrale ne succedo-



no due oscure, perchè i raggi che vengono da ambidue i lati incontrandosi a destra e a sinistra dal punto di mezzo, dopo di avere scorso spazj ineguali, hanno dei movimenti contrarj. E così di mano in mano come va alternando o l'accordo o la discordanza nei movimenti dei raggi, che procedono da ambidue i lati del filo o del cappello, si vengono in corrispondenza ad alternare le bande scure e brillanti. E come i punti di perfetto accordo o di perfetta discordanza debbono succedere, giusta il principio delle interferenze, a distanze eguali; così l'intervallo tra i mezzi di due bande brillanti o oscure consecutive dovrebbe essere eguale. Ma è da considerare che i raggi di colore diverso hanno diversa lunghezza d'ondulazione, e perciò hanno punti diversi d'interferenza, o sia d'accordo o di discordanza. Per lo che i mezzi delle bande scure e brillanti di ciascun colore succedono in punti diversi; che è quanto a dire, tutti i colori non si trovano più in ciascun punto in quella proporzione che forma la luce bianca, ed in luogo di questa si manifestano le frange colorate, che pigliano la tinta dalla proporzione in cui alcuni dei colori si trovano mescolati. Di fatto se la luce diffratta, invece d'esser bianca, fosse omogenea o sia d'un sol colore, produrrebbe una serie di bande scure e brillanti dello stesso colore. Per la stessa ragione avviene che i colori delle frange sono più vivaci in quelle che son più vicine al centro, e si vanno più illanguidendo nelle altre che più se ne discostano. Giacchè come cresce la distanza dal centro le bande scure d'alcuni colori van corrispondendo alle brillanti di al-

tri, e si soprappongono, e tinte mostrano più languide, finchè mescolandosi interamente le bande scure e brillanti di tutti i colori si giunga ad una tinta bianca uniforme. E come colla luce bianca, che racchiude tutti i colori, si viene più facilmente a questa mescolanza; così il numero delle frange visibili colla luce bianca non suole essere più di sette tanto dall'una quanto dall'altra parte del centro. Ed all'inverso cresce un sì fatto numero assai di più quanto la luce è meno composta, perchè allora tanto più lontano dal centro s'incontra il punto di quella tinta uniforme.

70. Bastano questi principj per comprendere in che modo col sistema delle vibrazioni giunger si possa a dichiarare i fenomeni della diffrazione, sia che questa abbia luogo nella luce che rade i corpi aguzzi, o gli orli d'una stretta apertura, o in qualunque altro modo. La posizione poi delle bande scure e brillanti e le loro intensità relative si possono solamente determinare col calcolo. E però ci restringiamo qui a mostrare coll'esperienza il principio delle interferenze, sul quale riposa la dichiarazione dei fenomeni della luce diffratta.

#### Esperimento V.

Posti a contatto i lembi di due specchi metallici  $A$ ,  $B$  in modo che sieno leggermente inclinati, ed abbiano le loro superficie quasi nel medesimo piano, si facciano sopra loro cadere in una camera oscura i raggi che si spiccano da un punto lucido  $S$ , come si può osservare nella *fig.* 22. E perchè l'uno specchio è quasi la conti-

nuazione dell'altro; così questi rimandano i raggi in guisa che si rincontrano sotto un angolo piccolissimo in *a*. Ora se con lente di corto fuoco si guarda tutta illuminata la superficie degli specchi, si osserverà che la porzione comune dei due campi luminosi è tutta sparsa di bande brillanti ed oscure poste a distanze eguali nella medesima serie, intensità e posizione, che si veggono nella diffrazione. Si osserva oltre di ciò, che impediti per via d'un corpo opaco i raggi che provengono dalla riflessione d'uno specchio, ancorchè restino quelli che procedono dall'altro, dispariscono le frange che prima si vedevano. Finalmente riguardando alle bande scure che han luogo nel campo rischiarato dai raggi riflessi da ambidue gli specchi, si vede che esse sono meno illuminate dello spazio che è illustrato dalla luce proveniente da un solo specchio.

71. La prima verità che si raccoglie da questo esperimento, è che i fenomeni delle frange dipendono dall'azione reciproca dei raggi che s'incontrano. Di fatto mancando i raggi d'uno specchio mancano le frange nella stessa guisa che mancarono, allorchè Young impedì i raggi che provenivano da un lato del corpo opaco nelle esperienze della diffrazione. Ma questa scambievole influenza di raggi è tale, che talvolta produce l'oscurità. Di fatto nel campo doppiamente illuminato si trovano le bande scure; e queste per l'azione dei raggi, che si partono dai due specchi, pigliano meno luce, che non fanno le porzioni laterali che sono illuminate dai raggi riflessi d'un solo specchio. Di che si vede che per l'unione dei

raggi viene meno e giunge del tutto a mancare in luogo di crescere, come dovrebbe, la luce. Poste queste verità, egli è chiaro che incontrandosi i raggi riflessi dai due specchi, producono le frange nei punti e agl'intervalli definiti dalle loro interferenze. Basta a veder ciò, d'osservare i due sistemi di onde riflessi dagli specchi che si sono descritti coi punti *A*, *B*, presi per centri delle serie d'archi distinti con eguali spazj e separati gli uni dagli altri per un intervallo che si suppone eguale alla lunghezza d'una semiondulazione. Le linee piene segnano gli archi del cerchio in cui le particelle eteree sono fornite della massima celerità in avanti, e le punteggiate quegli archi in cui l'etere ha il massimo movimento retrogrado. Di modo che le intersezioni degli archi pieni coi punteggiati sono i punti di perfetta discordanza, e perciò i mezzi delle bande oscure e le intersezioni all'opposto degli archi simili denotano i punti dell'accordo perfetto, e perciò i mezzi delle bande brillanti. E come le onde o i raggi dei due sistemi fanno tra loro degli angoli, egli è vero, piccoli, ma sensibili, nasce da una siffatta leggiera obliquità che nelle onde d'un sistema vi abbia una serie di spazietti eguali, in cui il suo moto è distrutto, e rinforzato alternativamente dall'onda dell'altro sistema. Di fatto nei punti segnati *aa* vi è accordo di movimento, e in quelli che succedono *bb* discordanza; e là si vede la luce bianca o la banda colorata, e qua l'oscurità. E però ricevendo quest'onda sopra un cartone si distingue una serie di bande scure e brillanti. Finalmente è da notare che le linee *bb* rappresentano le posizioni

successive dei punti di discordanza, e perciò le traiettorie dei mezzi delle bande oscure; le linee poi *aa* indicano le posizioni successive dei punti di accordo, e perciò le traiettorie dei mezzi delle bande brillanti. Per lo che dalla stessa figura si ricava che le linee *aa* e *bb* non sono rette, ma curve, perchè a misura che s'avanzano si vanno successivamente allontanando dal centro.

72. Ora confrontando i fenomeni che han luogo nell'esperimento degli specchi, con quelli che abbiamo osservato nella diffrazione, corre agli occhi di tutti che sono esattamente i medesimi. Sicchè e colla luce diffratta e colla riflessa si possono avere i fenomeni medesimi, perchè la ragione è tutta riposta nei sistemi di onde luminose, che intersecandosi producono delle bande oscure o brillanti, a tenore dell'accordo o discordanza dei loro movimenti. Gli angoli sotto cui s'incrociano sono sensibili, ma piccolissimi: perchè assai piccoli, la risultante dei movimenti si può riputare sempre eguale alla loro somma o differenza; e perchè sensibili danno origine a ulteriori incrocicchiamenti, dai quali risultano le bande scure e brillanti che alternano. I punti d'interferenza, che risultano dalla intersecazione delle onde o sia dei raggi, si calcolano per mezzo dei cammini che hanno percorso i raggi. Si estima quindi la loro differenza, e a tenore che questa è  $d$ ,  $2d$ ,  $3d$ , ec., o pure  $\frac{1}{2}d$ ,  $\frac{3}{2}d$ ,  $\frac{5}{2}d$ , ec. si raccoglie la discordanza o accordo perfetto

dei movimenti delle onde. La larghezza in fine delle frange, che in sostanza altro non è che l'intervallo che corre tra due punti d'accordo o pure di discordanza, o sia tra due punti scuri o brillanti, si può del pari ridurre a calcolo. Così nella *fig. 22* considerandosi il triangolo *bai* per isoscele e rettilineo, e essendo piccolissimo l'angolo *abi*, ciascuno degli altri angoli sarà quasi retto e si avrà  $\text{sen } abi = \frac{ia}{ab}$ , e però  $ab = \frac{ia}{\text{sen } abi}$ . E come i lati *bi*, *ba* sono rispettivamente normali ai raggi riflessi *aA*, *aB*; così si può sostituire all'angolo *abi* l'angolo *AaB*, che si può esprimere per *r*, come quello che gli è eguale dicendo  $ab = \frac{ia}{\text{sen } r}$ . Ora  $bb = 2ab$ , e quindi  $bb = \frac{2ia}{\text{sen } r}$ ; o sia la distanza tra due punti dei movimenti discordi, che si riducono ai mezzi di due bande scure consecutive, è eguale ad un'ondulazione dell'etere, che è rappresentata da  $2ia$  divisa pel seno dell'angolo dei due raggi riflessi.

73. Protraendosi *aA* dietro lo specchio ad una lunghezza eguale ad *AS*, e protraendosi parimente *aB* dietro l'altro specchio ad una lunghezza eguale a *BS*, i due punti *C*, *D*, nei quali si fermano i due raggi protratti, segneranno i luoghi nei quali si veggono le due immagini di *S* dietro i due specchi sotto l'angolo *r*, e unendo tali due luoghi per una retta, questa esprimerà la distanza tra le due immagini, e si formerà un triangolo *CaD* tra le due immagini e il vertice *a* dell'angolo *r*, che è del tutto simile al triangoletto *abi*. Ciò fatto, si avrà  $ba:ai ::$  la di-

stanza  $Ca$  d'un'immagine dal punto  $a$  : all'intervallo  $CD$  tra le due immagini; o sia la larghezza delle frange, che è eguale a  $2ba$ , viene a risultare eguale alla lunghezza d'un'ondulazione moltiplicata per la distanza delle due immagini dal piano in cui si misuran le frange, e divisa per l'intervallo compreso tra queste due immagini. La quale formola è del tutto conforme a quella ideata dal Fresnel nel calcolare la larghezza delle frange che han luogo nella diffrazione dietro il capello, o altro corpo opaco che sia stretto, sostituendosi solamente alla larghezza del corpo opaco l'intervallo delle due immagini. Di fatto chiamando questi  $\lambda$  la lunghezza dell'ondulazione,  $c$  la larghezza del corpo opaco, e  $b$  la distanza di questo dal piano in cui si misuran le frange, avea ritrovato  $\frac{b\lambda}{c}$ .

74. Calcolandosi adunque i punti delle interferenze, l'intensità relativa della luce nei varj punti che sono dietro il corpo opaco, la larghezza delle frange, o sia distanza tra i mezzi delle bande scure, a tenore che i fenomeni provengono dalla luce che si diffrange passando per aperture ristrette, o pure radendo i lembi dei corpi opachi, e corrispondendo i calcoli all'esperienza, pare che la spiegazione dei fenomeni della diffrazione sia più conforme alla verità nel sistema delle vibrazioni, che in quello dell'emanazione. In conferma di che si possono qui soggiungere due grandi argomenti. Il primo egli è, che dal calcolo prima si ritrasse che il centro dell'ombra

d'una superficie opaca circolare, nel caso che i raggi ne radono poco obliquamente gli orli, può essere nella stessa guisa illuminato, come se la superficie opaca non vi fosse. E poi l'esperienza venne a confermare il calcolo; perciocchè incollando una piccola moneta d'argento *R* (*fig.* 14) nel mezzo d'un vetro assai trasparente, e ponendo questo vetro tra il punto luminoso *S* e l'occhio *O*, ne risulta il medesimo effetto, come se quella moneta non vi fosse, anzi vi avesse un buco che trasmettesse direttamente dei raggi.

L'altro è, che il calcolo avendo indicato potersi vedere del tutto oscuro il centro d'un'apertura circolare, si ebbe ancora ciò confermato dall'esperienza. Poichè il Fresnel osservò, e si può da chiunque osservare, che in certe posizioni riguardando a un buco circolare si vede una macchia nera o un punto d'inchiostro in luogo d'un punto luminoso. Le quali cose fan le viste di prova del principio delle interferenze, e che aggiungendo luce a luce ne nasce talvolta dell'oscurità. Solamente è qui da ricordare che i fenomeni della diffrazione possono osservarsi per mezzo d'un punto, non già di un corpo lucido. Poichè moltiplicati i centri di vibrazione coi varj punti di questo corpo, ciascun centro produrrebbe le sue frange scure e brillanti in posizioni diverse. Soprappo-  
nendosi quindi le une sulle altre si confonderebbero, e riducendo il campo da loro occupato ad una tinta uniforme più o meno lucida, del tutto verrebbero a scomparire. È questa del pari la cagione per cui di ordinario le bande scure o sia i minimi d'intensità di luce non sono



interamente scuri, e perchè le frange si manifestano tanto più di numero, e lontano dal corpo opaco, quanto più la luce è omogenea.

#### CAPO IV. — DELLA LUCE RIFLESSA.

75. La luce che s'imbatta nei corpi opachi non tutta è a' nostri occhi regolarmente rimandata, ma parte resta nei corpi, e parte si disperge a cagione delle asprezze e ineguaglianze di che abbonda la superficie de' medesimi. Per lo che volendosi attentamente ricercare la legge giusta cui la luce imbattendosi nei corpi opachi si rimbalza, conviene esaminare più d'ogni altro la sua riflessione ne' corpi lisci e puliti, come sono gli specchi o di metallo o di cristallo, da' quali è quanto meno si può irregolarmente ripercossa. A quest'oggetto andremo qui trattando in due articoli, primieramente delle leggi giusta cui avviene la riflessione, e le vicende cui sta la luce sottoposta, allorchè d'ogni maniera di superficie rimbalza; e in secondo luogo, quali sono le apparenze e i fenomeni che produce la luce riflessa dagli specchi in riguardo alla visione.

##### Esperimento I.

Posto lo specchio piano *PP* (*fig. 24*) giusto nel diametro del cerchio *MM* situato verticale e diviso in gradi, e il tutto assicurato sopra un piede, con cui si può più o meno innalzare coll'artificio della vite *C*, come si osser-

va nella figura, si dirizzi un raggio di luce in tal modo che cada lungo la perpendicolare  $Fx$  sullo specchio. Si vedrà allora che il raggio giunto in  $x$  si rimbalza per  $xF$ , o sia ritorna esattamente per la stessa linea per cui è disceso.

### Esperimento II.

Se restando lo specchio e il cerchio graduato nella stessa posizione, si dirizza il raggio  $Ax$  obliquamente, e a cagion d'esempio sotto un angolo di  $45^\circ$ , si vedrà che il raggio giunto in  $x$  si riflette per  $BB$ , formando parimente un angolo di  $45^\circ$ . Che se in luogo di dirizzarsi sotto un angolo di  $45^\circ$  il raggio  $Ax$  si dirizzerà sotto un angolo qualunque di  $30^\circ$  o  $40^\circ$ , si osserverà in corrispondenza che il raggio riflesso per  $BB$  formerà un angolo di  $30^\circ$  o  $40^\circ$ .

76. Il raggio  $Fx$  o pure  $Ax$  si chiama *raggio incidente*; il raggio che rimbalza per  $xF$  o per  $BB$ , *riflesso*; l'angolo formato dal raggio incidente  $Ax$  colla perpendicolare  $Fx$ , *angolo d'incidenza*, e quello che risulta dal raggio riflesso  $BB$  colla stessa perpendicolare  $Fx$ , *angolo di riflessione*. Ora quando il raggio incidente cade normalmente sullo specchio, risalta all'insù per la stessa verticale. Quando poi il raggio incidente è obliquo allo specchio, allora l'angolo  $AxF$  d'incidenza, che è di  $45^\circ$ , è eguale all'angolo  $BxF$  di riflessione che è pure di  $45^\circ$ . E siccome essendo eguali i due angoli  $AxF$   $BxF$ , eguali ancora risultano gli angoli formati dal raggio incidente e riflesso colla superficie dello specchio, come quelli che

ne sono i complementi; così alcuna volta si sostituiscono questi angoli a quelli d'incidenza e di riflessione. In questo senso si dice che quando il raggio della luce cade verticalmente sullo specchio forma l'angolo d'incidenza eguale a quello di riflessione. Poichè il raggio incidente  $Fx$  forma colla superficie  $PP$  dello specchio un angolo retto ed eguale a quello che fa il raggio riflesso  $xF$  colla stessa superficie  $PP$ .

Ora avverandosi sempre e in ogni caso d'obliquità che l'angolo d'incidenza è eguale a quello di riflessione, possiamo stabilire come legge fondamentale per la luce riflessa, che essa forma sempre e perfettamente un angolo d'incidenza eguale a quello di riflessione. Questo principio, che è stato ricavato dall'osservazione, è quello che spiega tutti i fenomeni della luce riflessa, e perciò degli specchi.

77. Segue da siffatto principio che nella riflessione della luce sulle superficie piane i raggi cangiano solamente strada senza che la loro rispettiva disposizione sia in alcun modo turbata ed alterata. Di fatto cadendo sullo specchio piano  $AD$  (*fig. 25*) convergenti i raggi in  $E$ ,  $F$ ,  $G$ , collo stesso grado di convergenza si riflettono, e riflessi vanno a riunirsi in  $C$ . Poichè formano l'angolo di riflessione eguale a quello d'incidenza, la base  $ECG$  del cono riflesso  $ECG$  viene a confondersi colla più piccola base  $EFG$  del cono troncato, o sia il cono riflesso  $ECG$  è in tutto eguale al cono  $EBG$ , che avrebbe avuto luogo se i raggi incidenti invece di riflettersi fossero liberamente trapassati per lo specchio  $AD$ . I raggi dunque conver-

genti dopo la riflessione per una superficie piana conservano il medesimo grado di convergenza. La stessa considerazione si può applicare a' raggi che venendo da *C* cadono divergenti in *E*, *F*, *G*, sullo specchio piano *AD*, perciocchè saranno riflessi come se partendosi da *B* avessero in linea retta continuato il loro cammino. Che se i raggi incidenti s'imbattono paralleli sullo specchio, non ci è dubbio che conservano dopo la riflessione il loro paralellismo, perciocchè a cagione dell'eguaglianza de' loro angoli d'incidenza e di riflessione debbono nel riflettersi conservare il loro paralellismo, che essi aveano nell'incontrare la superficie piana riflettente. D'onde si può conchiudere che i raggi luminosi dopo la loro riflessione sopra superficie piane conservano il medesimo paralellismo e la medesima convergenza o divergenza ch'essi aveano cadendo sopra tali superficie.

### Esperimento III.

Se esponesi uno specchio concavo ai raggi solari, si osserva che i raggi, i quali sono riflessi dallo specchio, si raccolgono ad una distanza dal medesimo, che è la metà del raggio della sua curvatura in un circoletto lucido.

78. I raggi che vengono dal sole sullo specchio, come quelli che han percorso un cammino molto lontano, han perduto quasi la loro divergenza, e si reputano come se cadessero paralleli sullo specchio concavo. Questi per cagione della concavità non riflettonsi paralleli, ma convergenti, perchè si riuniscono alla distanza della metà

del raggio dello specchio concavo. Il punto in cui si riuniscono si chiama *fuoco*; e perchè la distanza del fuoco dello specchio, quando i raggi s'imbattono paralleli, è costante, questo fuoco si chiama *fuoco principale*, o sia dei raggi paralleli; indi i fisici per fuoco d'uno specchio concavo sempre intendono la distanza del fuoco dei raggi paralleli dallo specchio concavo. Ma sebbene i raggi paralleli si riuniscono dopo la riflessione, pure non tutti s'imbattono in un sol punto, perciocchè l'esperimento ci dimostra che i raggi si racchiudono in un circoletto lucido, e non già in un sol punto. Ma quel che più d'ogni altro è qui da notarsi, egli è che lo specchio concavo altera la disposizione dei raggi. Si può questo più chiaramente raccogliere dalla legge cui sta sottoposta la luce nel riflettersi. Sia di fatto  $ADB$  (*fig. 26*) lo specchio concavo,  $C$  il suo centro, o sia il centro della sfera di cui esso specchio è un segmento,  $D$  il vertice dello specchio o sia il punto della sua superficie, che incontra l'asse  $GD$  della sfera di cui egli è parte, e cadano in fine sullo specchio  $ADB$  tre raggi  $PA$ ,  $GD$ ,  $EB$ , paralleli tra loro. Il raggio  $GD$  dopo la riflessione ritornerà (num. 76) per  $DG$  come perpendicolare in  $D$ . E siccome  $CA$ ,  $CB$ , guidati dal centro  $C$  ai punti d'incidenza  $A$ ,  $B$ , sono perpendicolari, come raggi dalla sfera, in  $A$  e  $B$ ; ne segue, pel num. 76, che l'angolo d'incidenza pel raggio  $EB$  è  $EBC$ , e pel raggio  $PA$  è  $PAC$ . Ora definiti questi angoli, resta determinato il cammino dei raggi riflessi per  $BF$  e per  $AF$ . Poichè in questo modo l'angolo di riflessione  $CBF$  può essere =  $EBC$ , e l'altro  $CAF$  = all'angolo d'incidenza

*PAC*. I raggi adunque paralleli *PA*, *EB* per cagione della concavità della superficie *AB* sono riflessi convergenti, perchè s'uniscono dinanzi lo specchio in *F*. E potendosi dimostrare lo stesso per tutti i raggi che paralleli cadono sullo specchio concavo *AB*, è da conchiudersi che i raggi paralleli dopo la riflessione sopra una superficie concava son resi convergenti.

79. Nella stessa guisa si dimostra all'inverso che i raggi divergenti *FA*, *FB* si riflettono paralleli in *PA*, *EB*. E per la stessa ragione si fa chiaro che i raggi divergenti si possono dopo la riflessione ridurre a convergenti. Sicchè si può stabilire: se i raggi luminosi cadono sopra una superficie sferica concava paralleli, sono riflessi convergenti; se convergenti, si riflettono più convergenti; se divergenti, si riflettono meno divergenti, paralleli o convergenti. Però gli specchi concavi diconsi di convergenza.

80. Dopo di che si può definire dove e quanto lontano dalla superficie concava venga formandosi il fuoco dei raggi che partendosi dal punto lucido s'imbattono sulla concavità della superficie. Si supponga situato in *E* (*fig. 27*) il punto lucido, o sia in un punto dall'asse *ED*, e da *E* si propaghino i tre raggi *EB*, *ED*, *EA*, che cadono sopra la superficie concava *BDA*. E i punti *B* e *A* si suppongano contigui a *D*, in modo che gli archetti *BD*, *AD* si tengano per insensibili e infinitamente piccoli. Ciò posto, si tratta di determinare la distanza in cui si uniscono i tre raggi *EA*, *ED*, *EB*, o sia la distanza in cui *F* (fuoco) si trova da *D*, ch'è espressa da *DF*. Facendo

dunque  $DF = x$ ,  $ED$  distanza del punto lucido dallo specchio  $= D$ , il raggio dello specchio  $CD = R$ , si considerino i due triangoli  $EBC$ ,  $CBF$ . In questi triangoli perchè l'angolo d'incidenza  $EBC =$  a quello di riflessione  $CBF$ , la retta  $CB$  divide in due parti eguali l'angolo  $EBF$ , e però  $EC:CF :: EB:BF$ . Ora  $EC = D-R$ ,  $CF = R-x$ , e perchè l'arco  $BD$  è infinitamente piccolo  $EB = ED = D$ , e  $BF = DF = x$ . Dunque  $D-R:R-x :: D:x$ , o sia

$$x = \frac{DR}{2D-R}.$$

81. Che se il punto raggiante in luogo di essere nell'asse, come abbiamo supposto, fosse fuori ed a piccola distanza dall'asse, come in  $G$  (*fig.* 28), la formola che esprime la distanza focale resterebbe la stessa. Poichè condotta da  $G$  per il centro  $C$  la retta  $GCH$  sino allo specchio, questa potrebbe tenersi come un asse, perchè  $KDB$  è sferico. E però cadendo un raggio  $GK$  sullo specchio, sarà riflesso verso  $GL$ , e la distanza focale sarebbe  $HL$ . Ora per determinare questa distanza si potrebbe usare lo stesso metodo dicendo  $GC:CL :: GK:KL$ . E come la larghezza dello specchio si suppone piccolissima rispetto alla distanza focale, il punto è vicinissimo all'asse; così tutte le linee che si possono condurre da questo punto allo specchio si reputano eguali in lunghezza, ed eguali parimente si reputano tutte le linee che da  $L$  allo stesso specchio si guidano. Per lo che alle distanze dei punti  $H$ ,  $G$ ,  $L$ , sulla linea  $GH$  si potrebbe sostituire senza errore la loro distanza perpendicolare allo

specchio. E quindi  $GC = D - R$ ,  $CL = R - x$ ,  $GK = D$ ,  $KL = LH = x$ , e il valore di  $x = \frac{DR}{2D - R}$ .

82. Da questa formola, che è generale, si può ricavare in qualunque caso la distanza focale. Sia la distanza del punto lucido dalla superficie concava =  $\infty$ , saranno i raggi incidenti paralleli come sono i raggi  $PA$ ,  $EB$  nella *fig.* 26. Allora trascurata la quantità  $-R$ , come insensibile in rapporto a  $2\infty$ , si avrà  $x = \frac{\infty R}{2\infty} = \frac{R}{2}$ ; o sia il fuoco dei raggi paralleli si trova sempre alla metà del raggio della superficie concava o sia della sfera a cui come porzione si appartiene quella superficie. E come per fuoco d'una superficie concava s'intende sempre (num. 78) quello dei raggi paralleli; così si può dire in generale che la distanza focale d'una superficie concava è sempre alla metà del suo raggio.

83. Se il punto lucido è collocato nel fuoco principale della superficie concava, la sua distanza =  $D = \frac{R}{2}$ , e perciò  $2D = R$ . Sarà dunque  $x = \frac{DR}{R - R} = \frac{DR}{0}$ , o sia  $x = \infty$ . Di che segue che i raggi riflessi allora diventano paralleli. E questa è la ragione per cui si adoprano gli specchi concavi per illuminare strade, e scagliare da' fari a distanze molto notabili i raggi luminosi, che provengono da un lume situato nel fuoco di essi specchi concavi.



84. Se il punto lucido è posto tra  $F$  e  $C$  o sia tra il centro e il fuoco dei raggi paralleli, allora la formola  $x = \frac{DR}{2D-R}$  ci dà la seguente proporzione  $2D-R:D :: R:x$ . E siccome abbiamo supposto che  $D$  sia minore di  $R$ ; così la quantità  $2D-R$  viene ad essere minore di  $D$ ; e però ne risulta che  $R$  è minore di  $x$ , per cui il fuoco si troverà al di là del centro, o sia a una distanza maggiore del raggio. Ma ove il punto lucido andrà collocandosi in  $C$ , per cui la sua distanza  $D = R$ , in tale caso si avrà per la formola  $x = \frac{R^2}{R} = R$ , o sia il fuoco è nel centro della superficie concava e coincide col corpo lucido.

85. Se il punto lucido è situato oltre il centro nella proporzione  $2D-R:D :: R:x$  sarà la quantità  $2D-R$  maggiore di  $D$ , o sia  $R$  maggiore di  $x$ ; per cui il fuoco si troverà al di qua del centro, o sia tra  $C$  ed  $F$ ; perciocchè quando il corpo lucido è ad una distanza infinita, il fuoco è in  $F$ . Si può finalmente trovare il punto lucido tra  $F$  e  $D$ , tra il fuoco principale e il vertice della superficie concava. In tale caso siccome  $D$  è minore di  $\frac{R}{2}$ , sarà anche  $2D$  minore di  $R$ , per cui nella formola  $x = \frac{DR}{2D-R}$  il valore di  $x$  sarà una quantità negativa. Il che indica che sebbene la superficie concava avesse reso meno divergenti i raggi, pure essi dopo la riflessione non si uniscono, e perciò non hanno un fuoco reale.

86. Per determinare il fuoco delle superficie concave sferiche abbiamo supposto che i raggi incidenti cadesse- ro quasi contigui al vertice dello specchio, e da questa supposizione si è ricavato l'incontro dei raggi riflessi in un punto, e la distanza di questo dalla superficie conca- va. Ma se i raggi sien molti e vadano imbattendosi in punti più o meno distanti dal vertice della superficie concava, o più o meno lontani dall'asse della medesima, non può allora aver luogo l'incontro di tutti i raggi ri- flessi in unico punto o in un sol fuoco, ma si avranno più punti d'incontro, e dirò così più fuochi. Poichè la ra- gione per cui i raggi riflessi da punti contigui al vertice della superficie concava si riuniscono in un sol fuoco, perchè i piccoli archetti, che son vicini all'asse, hanno una variazione nella loro inclinazione in rapporto all'as- se così piccola, che si può riputare per nulla. E però sup- posta insensibile la differenza tra l'inclinazione dell'ar- chetto che corrisponde all'asse, e gli archetti al medesi- mo contigui, i raggi incidenti che sono vicini all'asse, come quelli che cadono sopra tali piani, formano angoli d'incidenza pressochè eguali, e in corrispondenza angoli quasi eguali di riflessione, per cui sensibilmente vanno riunendosi in un sol punto. Non è così de' raggi che ca- dono lontani dall'asse. I piani su cui questi raggi cado- no, hanno un'inclinazione che è molto varia e differente da quella che ha il piano su cui cade l'asse, o il piano su cui cadono i raggi contigui all'asse. Poichè la curva con- cava rilevandosi di più, quanto più s'allontana dall'asse, le inclinazioni dei piccoli archetti, che sono lontani dal-

l'asse, avranno una variazione tanto più notevole, quanto sono più lungi dall'asse. Gli angoli dunque d'incidenza che formano i raggi che cadono sopra gli archetti più o meno lontani dall'asse, saranno tutti ineguali, e ineguali in corrispondenza gli angoli di loro riflessione, per cui non si potranno mai riunire in unico e sol punto. Ma per dimostrarlo ancora agli occhi si suppongano i tre raggi paralleli  $CB$ ,  $ED$ ,  $RH$  (*fig.* 29), de' quali  $ED$  cada vicino all'asse  $CB$ , che ha il suo fuoco in  $P$ , e l'altro  $RH$  cada distante dall'asse  $CB$ ; allora il raggio  $RH$  riflesso dalla superficie concava taglierà l'asse in  $N$ , e non già in  $P$ , come fece il raggio  $ED$ . Di fatto guidata la perpendicolare  $CH$  al punto d'incidenza  $H$  del raggio  $RH$ , l'angolo d'incidenza  $CHR$  sarà eguale all'angolo  $PCH$ , perchè essendo  $CB$ ,  $RH$  paralleli, gli angoli alterni interni sono eguali. Ora l'angolo  $PCH$  è maggiore dell'angolo  $CHP$ , perchè non essendo  $CP = PH$ , il triangolo  $CPH$  non è isoscele. Ma  $CP$  è solamente eguale a  $PB$  per la ragione che i raggi paralleli e contigui  $CB$ ,  $ED$  hanno (num. 82) il loro fuoco  $P$  alla metà del raggio  $CB$  della superficie concava. E siccome  $PH$  è tanto più grande di  $PB$ , quanto più s'allontana da  $B$ ; così  $PH$  si deve necessariamente tenere per più grande di  $CP$ . Se dunque l'angolo  $PCH$  è maggiore di  $PHC$ , anche l'angolo d'incidenza  $RHC$  è maggiore di  $PHC$ . E però il raggio  $RH$  non potrà riflettersi per  $HP$ , perchè in tal caso l'angolo di riflessione  $CHP$  sarebbe minore di quello d'incidenza  $CHR$ , contro la legge già stabilita nel num. 76. Dovrà dunque riflettersi tra un punto intermedio tra  $P$  e  $B$  come è  $N$ , o sia in

un punto che non è  $P$ . Nasce da ciò, che di un fascio di raggi che cadono parallelamente al raggio  $CB$  della sfera sulla concavità  $ZBH$ , quei che sono contigui all'asse  $CB$  si riuniscono in  $P$ , e gli altri hanno il loro fuoco o sotto o sopra, o a destra o a sinistra di  $P$ . E siccome questa deviazione dal punto  $P$ , che ha luogo nei raggi riflessi, proviene dalla sfericità della superficie concava; così si è chiamata *aberrazione di sfericità*. Ciò non ostante sebbene i raggi, che son paralleli all'asse e non cadono distanti dal medesimo, veramente non si raccolgano in un sol punto  $P$ ; pure perchè si trovano concentrati in un piccolissimo spazio intorno a  $P$ , si considera questo spaziollo come un punto, e si chiama il *fuoco dei raggi paralleli*. Di che è facile il comprendere perchè nell'esperimento III i raggi riflessi da uno specchio concavo formarono un circoletto lucido.

87. Non riunendosi i raggi riflessi da una superficie concava a cagione della sfericità in un sol fuoco, ne viene che i raggi contigui riflessi si tagliano tra loro. I raggi paralleli ed equidistanti tra loro  $CB$ ,  $ED$ ,  $RH$  (*fig. 29*), come riflessi sono dalla superficie sferica concava, non si riuniscono in un sol punto, ma  $ED$  riflesso per  $DP$  taglia in  $P$  il raggio  $CB$ , e  $RH$  riflesso per  $HN$  taglia pure il raggio  $DP$ , in modo che tra il punto d'intersecazione del raggio riflesso  $HN$  e il punto  $P$  resta interposta una parte del raggio riflesso  $PD$ . Ora se in luogo di tre fossero assai più i raggi incidenti paralleli ed equidistanti, ciascun raggio riflesso taglierebbe il suo contiguo, e ne risulterebbero tante porzioni di raggi riflessi interposte

tra due contigue intersezazioni, che formerebbero i lati d'un poligono. E se il numero dei raggi incidenti paralleli fosse infinito, indefiniti pure di numero sarebbero i raggi riflessi, e più vicini e quasi contigui tra loro sarebbero i punti di loro intersecazione, e in corrispondenza più piccoli verrebbero a farsi, anzi infinitamente piccoli i lati del poligono, che è quanto a dire ne nascerebbe una curva. Ora i punti singoli di questa curva si possono considerare come i fuochi di due raggi contigui, di cui sarebbero tangenti i singoli raggi riflessi, e il nome di questa curva è quello di *caustica per riflessione*. E siccome una caustica si genera dalla parte della superficie concava  $BDH$ , e un'altra dalla parte  $BZ$ ; così han luogo per cagione della riflessione due caustiche eguali e simili dall'una e l'altra parte dell'asse  $CB$ , e che si tagliano in  $P$ , che è il fuoco de' raggi incidenti paralleli vicino all'asse. È facile dopo ciò il comprendere che come i raggi incidenti si possono partire da un punto più o meno vicino allo specchio, e avere il loro fuoco più o meno vicino a  $P$ , nella stessa guisa che fa il fuoco, le caustiche possono formarsi più o meno vicine a  $P$ .

88. Sebbene i raggi riflessi da una superficie concava non abbiano un sol punto per fuoco; pure i raggi incidenti paralleli all'asse si radunano tutti verso o intorno al fuoco principale, formando coi loro fuochi un circoletto lucido, come si è veduto nell'esperimento III. Di fatto l'ultimo raggio incidente  $RH$ , che cade il più lontano dall'asse  $CB$ , riflettendosi taglia  $PB$  in  $N$ ; sicchè la massima aberrazione può essere rappresentata per  $PN$ .

Ora come tutti i raggi che dal sole sono lanciati sulla concava sferica superficie  $ZH$  paralleli all'asse  $CB$ , si raunano tutti e tutti concentransi vicino  $P$ , e ad esso intorno, o pure in  $P$ ; così ivi addensati in un piccolo circoletto sono atti non che a riscaldare e ad eccitar la fiamma, ma a calcinar pietre e a liquefar metalli o altro. E perchè tali superficie concave sono più atte a ciò fare quando sono specchi o di vetro o di metallo, perciò questi portano i nome di *specchi ustorj, ardenti, o caustici*. Varj di questi specchi si sono fabbricati in diversi tempi, e sono famosi lo specchio concavo di Septala, di Villette, quello di Teodoro Moret, e più d'ogni altro quello di Garrowse di S. Ciro, che bruciava a cinque piedi di distanza, e, l'altro di Tschirnhausen, il cui fuoco era di dodici piedi.

89. Quanto più il raggio  $RH$  ultimo degl'incidenti è lontano dall'asse  $CB$ , tanto più  $N$  viene ad essere distante da  $P$ ; e perciò tanto maggiore è lo spazio dentro cui si raunano i raggi riflessi, e minore viene a farsi la densità della luce riflessa. Segue da ciò che essendo molta l'ampiezza  $ZH$  dello specchio concavo, meno efficace ne sarà la qualità ustoria; perciocchè si produce un'aberrazione più grande, e una maggior distanza di  $N$  da  $P$ , che è quanto a dire il circoletto lucido formato dai raggi riflessi avrà un diametro più grande, e la luce essendo meno addensata non avrà molta energia. Pare dopo ciò che converrebbe dare agli specchi concavi, per produrre un effetto più gagliardo, una piccola ampiezza; ma allora avrebbe luogo un altro inconveniente. Poichè quanto

minore è l'ampiezza dello specchio, tanto minore è il numero dei raggi incidenti, e perciò tanto minore sarà la luce raccolta dopo la riflessione nel circoletto lucido. Per lo che sebbene l'aberrazione, a cagione della piccola ampiezza dello specchio, sarà piccola, e piccolo sarà il diametro del circoletto lucido che esprime l'aberrazione, o sia la luce sarà più addensata; pure perchè son pochi i raggi che raccoglie lo specchio concavo, non potranno essi, comechè addensati, eccitare un gran fuoco, e produrre gli effetti che se ne desiderano. Ad evitar quindi l'uno e l'altro inconveniente han ricercato i matematici quale è l'ampiezza che debba darsi allo specchio concavo, onde si produca un effetto ustorio che maggiore si può; ed han trovato per mezzo de' calcoli che una sì fatta ampiezza è quella di  $24^\circ$  in  $25^\circ$ . Di che han conchiuso che tutti gli specchi di  $25^\circ$  hanno un'egual forza. Poichè se gli uni raccolgono un minor numero di raggi, lo addensano poi in uno spazio che in proporzione è più angusto; e se gli altri ricevono più raggi, questi si raccolgono in uno spazio ordinario che è proporzionatamente più grande. D'ordinario però si pregiano più quelli che hanno una distanza focale maggiore, perciocchè si possono ottenere più effetti spiegandosi la loro forza ad una distanza più grande.

#### Esperimento IV.

Se pongonsi a rincontro due specchi concavi e alla distanza di più canne, e nel fuoco dell'uno si collocano dei carboni accesi, e nel fuoco dell'altro delle materie

combustibili, si vedrà che o la polvere o altro combustibile dopo poco tempo s'accende.

90. I raggi che lanciansi dal carbone acceso, come quelli che partonsi dal fuoco dello specchio concavo, sono riflessi da questo paralleli. Vanno tali raggi paralleli a rincontrare lo specchio concavo opposto, il quale li andrà (num. 82) riflettendo nel suo fuoco. E come quivi trovansi le sostanze combustibili, i raggi riflessi e addensati destano la combustione e la fiamma. Or eccitandosi il calore e la fiamma dai raggi che sono riflessi dal primo e dal secondo specchio, e che raccolti sono dopo la seconda riflessione, si vede benissimo che gli specchi concavi fanno le veci di fornelli di riverbero, o sia che possono servire di riverbero.

91. Siccome la distanza focale d'uno specchio sferico concavo è definita, giusta il num. 82, alla metà del suo raggio; così è impossibile di bruciare per mezzo di uno specchio concavo una sostanza situata a una gran distanza dal medesimo specchio, poichè per bruciarsi una tale sostanza lo specchio dovrebbe essere d'una smisurata grandezza, o sia di una tale grandezza a cui non si può arrivare coi mezzi ordinarj, affinchè la metà del suo raggio sia eguale alla distanza a cui esso combustibile è situata. Il perchè a un solo specchio si è pensato di sostituire più specchi piani tra loro inclinati in modo che tutti riflettessero i raggi in unico e sol punto. Siccome gli specchi piani possono riflettere i raggi ad una distanza qualunque; così si può benissimo congegnare un numero di specchi piani che tutti percuotano i raggi del sole



sopra un punto lontano. Con questo artificio e non già col favore di uno specchio ustorio, dice Anthemio, e poi Tzeze e Zonara, che Archimede bruciò le navi romane in Siracusa. Poichè essendo queste navi situate alla distanza d'un tiro di balestra dal lido, non potea per certo Archimede fabbricare uno specchio di tale grandezza che avesse per metà di raggio la distanza in cui si trovava dalla sponda la flotta romana. Colla scorta di Tzeze e di Zonara il P. Kircher pensò il primo di sostituire a uno specchio concavo più specchi piani, e per mezzo di cinque di questi specchi trovò che si eccitava un calore insopportabile alla distanza di 100 piedi. Buffon poi in questi ultimi tempi col favore di 400 specchi piani di mezzo piede quadrato giunse a bruciare il legno in distanza di 200 piedi, a fonder lo stagno 150 piedi, e il piombo a 141 piedi. Per cui non resta alcun dubbio che potè Archimede bruciare le navi romane coll'artificio di più specchi piani, e nel modo che lo rapportano Tzeze e Zonara, che si fondano sulla testimonianza di Dione, di Diodoro, e d'altri (Si può leggere intorno a ciò Montucla nel tomo I della *Storia delle Matematiche*, e Peyrard nel tomo II della traduzione delle Opere di Archimede).

92. Ove dalla considerazione delle superficie sferiche concave ci rivolgiamo a quella delle convesse, troviamo che le vicende che soffre la luce riflettendosi da queste superficie, sono tutte contrarie a quelle che han luogo nelle superficie sferiche concave. Sienvi di fatto i raggi incidenti paralleli tra loro e all'asse,  $GA$ ,  $MB$ ,  $ED$  (fig. 30) sulla superficie convessa  $ABD$ ; allora guidate le per-

pendicolari  $CA$ ,  $CD$ , prolungate in  $H$  l'una e in  $K$  l'altra, si avrà l'angolo d'incidenza del raggio  $GA = GAH$ , e quello del raggio  $ED = EDK$ . Per lo che il raggio  $GA$  sarà riflesso per  $AI$ , affinchè l'angolo di riflessione  $HAI$  sia eguale a quello d'incidenza, e il raggio  $ED$  sarà riflesso per  $DL$ , affinchè l'angolo di riflessione  $LDK$  sia eguale a quello d'incidenza  $EDK$ . I raggi adunque paralleli riflessi dalla superficie convessa mutando il loro parallelismo diventano a cagione della convessità divergenti tra loro, giacchè rimbalzano per  $DL$  e per  $AI$ . La quale cosa avverandosi per tutti i raggi paralleli, si conchiude che i raggi i quali paralleli s'imbattono sopra una superficie convessa, sono riflessi divergenti. E siccome abbiám contratto l'abito di vedere ciascun punto in linea retta, e là dove si uniscono i raggi divergenti che compongono una piramide lucida; così ricevendo nell'occhio i raggi dallo specchio convesso riflessi divergenti li rapportiamo prolungati sino ad un punto  $F$  in cui supponghiamo che s'incontrino. Questo punto dietro la superficie convessa, in cui immaginiamo riunirsi i raggi divergenti, si chiama *fuoco*, il quale non è reale, ma fittizio e immaginario. Indi è che si dice aver le superficie convesse un fuoco *ideale e immaginario*.

93. Per la stessa ragione i raggi  $IA$ ,  $LD$ , che cadono convergenti, si riflettono paralleli (*fig. 30*); e i raggi  $GA$ ,  $GB$  (*fig. 31*), che cadono divergenti, si riflettono più divergenti per  $IA$ ,  $LB$ . E in generale si può stabilire che nelle superficie sferiche convesse i raggi luminosi, i quali cadono paralleli, sono riflessi divergenti; se cado-

no divergenti, si aumenta la loro divergenza; e se convergenti, diventano paralleli, o meno convergenti dopo la riflessione.

94. Quantunque nelle superficie sferiche convesse il fuoco dei raggi riflessi sia d'ordinario fittizio, pure per via del calcolo si può benissimo definire la distanza in cui esso debba trovarsi dal vertice di tali superficie. A ciò fare sia  $G$  il punto lucido (*fig.* 31), la cui distanza dalla superficie convessa è  $GD = D$ . Sia pure  $GB$  un raggio lucido che cadendo divergente incontri la superficie sferica in un punto poco distante dall'asse  $GD$ , in modo tale che l'archetto  $DB$  si tenga pure per insensibile, e  $GD$  sia =  $GB$ . Il raggio di curvatura d'una sì fatta superficie, o sia  $CD$ , come quello che è alla parte opposta dei raggi incidenti, si esprima per  $-R$ . Ciò posto, si tratta di sapere la distanza del fuoco immaginario  $F$  del punto  $D$ , o sia la distanza  $DF = x$ . Ove da  $G$  si guida  $GM$  parallela a  $FB$ , si avranno due triangoli simili  $CBF$ ,  $MGC$ ; d'onde nasce la proporzione  $CG:CF :: MG:FB$ . E siccome il triangolo  $BGM$  è isoscele a cagione dei due angoli  $GBM$ ,  $BMG$  che sono eguali; così  $MG = GB$ , e la proporzione risulta  $D+R:R-x :: MG = GB = GD = D:FB = FD = x$ . Da quale proporzione nasce il valore di  $x = \frac{-DR}{2D+R}$ , in cui trovandosi  $x$  negativo, chiaro si vede

che il fuoco nelle superficie convesse è collocato in senso contrario a quello delle concave, o sia è immaginario, perchè è dietro le superficie convesse.

95. Ciò posto, se la distanza  $D$  del punto raggiante sia quasi in contatto della superficie convessa,  $D$  sarà

$$= \frac{1}{\infty}, x = \frac{-R}{\infty \left( \frac{2}{\infty} + R \right)} = \frac{-R}{2 + \infty R} = \frac{-1}{\infty}, \text{ cioè a dire}$$

quasi in contatto colla superficie di dietro della superficie convessa. Ma se la distanza del medesimo punto raggiante fosse eguale alla metà del raggio  $= \frac{R}{2}$ , sarà il va-

lore di  $x = \frac{-1}{4}$  del raggio. Se poi allontanato di più il

punto raggiante, la distanza fosse  $= R$ , sarebbe  $x = \frac{-R}{3}$ .

Finalmente se il punto raggiante fosse portato a una distanza infinita, verrebbe  $D = \infty$ , e  $x = \frac{-\infty R}{2\infty + R} = \frac{-R}{2}$ ,

cioè a dire il fuoco immaginario sarà dietro la superficie convessa a una distanza eguale alla metà del raggio. Di che viene che allontanandosi il punto raggiante da zero sino all'infinito, il fuoco dietro lo specchio cammina da zero sino alla metà del raggio della superficie convessa sferica.

96. Siccome tutti gli effetti, che già abbiamo descritto e son prodotti dalla riflessione della luce, nascono e suppongono il principio dell'angolo di riflessione; così è naturale il ricercare in qual modo avvenga la riflessione, e d'onde risulti l'eguaglianza di quegli angoli. A ciò

spiegare si suppose che le particelle della luce fossero perfettamente elastiche, e che le superficie, le quali riflettono regolarmente la luce, fossero perfettamente pulite, sicchè imbattendosi quelle molecole sulle particelle solide di queste superficie per cagione dell'elaterio, giusta i principj della dinamica, la luce riflessa seguir dovea il cammino d'una diagonale eguale e similmente posta alla diagonale che describea la luce incidente, per cui l'angolo d'incidenza formavasi eguale a quello di riflessione. Ma prima d'ogni altro è da considerarsi che le superficie le quali riflettono la luce, per quanto compariscono pulite, pure guardandole col microscopio si trovano tutte ineguali, aspre e piene di prominenze e di cavità, le quali sono piccole in riguardo a noi, ma notabili in riguardo alla luce. E però la luce non potrebbe mai riflettere regolarmente da superficie tanto irregolari. In secondo luogo, s'osserva che cadendo un raggio sopra un vetro qualunque, questo raggio è riflesso così dalla parte anteriore come dalla posteriore del vetro. Ora se il raggio in tanto rimbalza in quanto urta sulle particelle solide del vetro, siccome il raggio passando a traverso del vetro passa a traverso di più strati; così dovrebbe essere riflesso da ciascun singolo strato che traversa; il che non ha luogo. Terzo, se il raggio cade sopra un vetro sotto un angolo di obliquità maggiore di  $40^\circ$  o  $41^\circ$ , il raggio in vece di trapassare nel vetro è rimbalzato. Come dunque si può spiegare che il raggio allorchè cadea sotto un angolo minore di  $40^\circ$  non s'imbattea in particelle solide del vetro, e poi l'incontra quando ha un'o-

bliquità maggiore di  $40^\circ$ ? Queste ed altre ragioni simili persuasero Newton ad immaginare un'altra ipotesi.

97. Si pensò egli che esistesse attorno dei corpi una forza la quale operando a picciola distanza della loro superficie fa rimbalzare i raggi della luce, prima che questi vi s'imbattono. Newton per designare il nome di tal forza la chiama *repulsione*, perciocchè si manifesta a noi, come se le particelle d'un corpo che riflettono la luce, esercitassero sopra la luce istessa un'azione repulsiva. Per meglio comprendere come ella opera, si divide la celerità con che la luce s'imbatte obliquamente, in due, l'una parallela e l'altra normale al piano riflettente. Quella resta invariabile, e questa è in prima di mano in mano ritardata a misura che il raggio s'immerge nella sfera d'attività della forza repulsiva, e poi del tutto distrutta. Però dalle due forze, l'una costante e l'altra variabile, si forma un picciolo ramo di curva. Ma giunto il raggio al punto in cui la sua celerità normale è distrutta, viene respinto dalla forza repulsiva, la cui azione va successivamente scemando a misura che quello si allontana. E però si genera un secondo ramo di curva simile ed eguale al primo, di modo che il raggio incidente è tangente al primo ramo, e il riflesso al secondo. E come questi due rami di curva sono piccolissimi, perchè la forza repulsiva opera a piccolissima distanza dal piano; così quella curva riesce a noi insensibile, e pare che il raggio si rifletta dopo d'aver toccato il piano riflettente.

98. Nasce dalla considerazione della forza repulsiva, che quanto più le superficie de' corpi sono lisce e puli-

te, tanto più copiosa si riflette la luce; perchè tolti i punti e le asprezze, che sono in piani diversi e rivolte in diversi sensi, non più si contrastano le forze di ripulsione, che da quelle provengono, e tutte cospirando operano e respingono con maggiore energia. È inoltre da avvertire che la celerità con cui va la luce normalmente contro dei corpi si diminuisce tanto più, quanto più cresce l'obliquità dei raggi; e però crescendo il pulimento delle superficie e l'obliquità de' raggi incidenti, viene a crescere la copia della luce, che regolarmente si riflette, perchè cresce l'energia e l'azione della forza di ripulsione.

99. Tale maniera di spiegare la riflessione della luce non solo si adatta benissimo al caso che questa va dall'aria imbattendosi in un corpo opaco in cui maggiore è la forza di ripulsione, ma ancora a quello in cui la luce va da un corpo più denso nell'aria. Poichè sebbene in questa sia meno energica la repulsione, pure in quello è più forte l'attrazione, e queste due forze di attrazione nell'uno che attira a sè il raggio, e di repulsione nell'altra che da sè lo respinge, cospirano insieme a ritardare a poco a poco la celerità della luce nel cadere, e ad aumentarla successivamente nel rimbalzare. D'onde i due rami similmente posti d'una curva si vengono a generare. Ma dalla parte che può avere l'attrazione nella riflessione della luce giusta il Newton si parlerà in altro luogo più opportuno.

100. Non così pensano i seguaci delle vibrazioni. Vogliono essi, tolta ogni forza di repulsione, che i raggi o sia le onde luminose s'imbattono nella superficie dei

corpi, dalla quale come elastiche si riflettono. Nè credono che le asprezze di che abbondano i corpi, che a noi paiono lisci e puliti, possano alterare la regolare riflessione, o sia l'eguaglianza degli angoli di riflessione e d'incidenza. Perchè supponendo, come essi fanno, che quelle asprezze sieno collocate nei corpi lisci ad una distanza minore della lunghezza dell'ondulazione, non possono mai giungere a cangiar la natura dell'onde luminose, e tutto presso a poco succede come se la superficie de' corpi fosse perfettamente pulita. Concedono bensì che i punti della superficie, su cui urta l'onda luminosa, diventano tanti centri di vibrazione che operando separatamente mandano dei raggi di varia densità e in ogni direzione. Di questi raggi o sia di questi movimenti sussisteranno quelli che formano eguali gli angoli d'incidenza e di riflessione, e degli altri, che non obbediscono a questa legge, la più parte sarà neutralizzata, non restandone che pochissimi che sfuggono all'interferenze, le quali non giungono mai a distruggere ogni vibrazione derivata dagli orli di qualunque fascetto lucido, o sia ogni raggio obliquo alla direzione del moto principale. Sicchè i corpi stessi lisci e puliti, che in maggior copia riflettono la luce, diminuiscono sempre l'intensità delle vibrazioni luminose, o sia lo splendore della luce. Ma a dimostrare che tra i raggi quelli sussistono, che formano eguali gli angoli d'incidenza e di riflessione, si osservi la *fig.* 32. Il movimento che giunge alla superficie *AB* mette i punti *P*, *P'*, *P''*, in vibrazione luminosa, che si propaga in ogni senso attorno di questi punti; ma



di questi movimenti non possono sussistere che quelli i quali sono nella direzione  $PR, P'R', P''R''$ , poichè presi al di sopra della superficie  $AB$  i punti  $R, R', R''$ , nella medesima posizione in cui sono al di sotto  $I, I', I''$ , dove sarebbero giunti direttamente i moti vibratorj, non vi ha dubbio che lo stesso cammino percorrono i raggi riflettendo, che avrebbero percorso camminando in linea retta. E come senza l'ostacolo del piano la luce si sarebbe propagata in linea retta verso  $I, I', I''$ ; così la luce riflessa, essendo del tutto simili i movimenti che han luogo al di sopra di  $AB$ , si propagherà del pari verso  $R, R', R''$ . Ma è da considerare che i raggi  $PR, P'R', P''R''$ , non potranno essere similmente situati sopra  $AB$  ai raggi  $PI, P'I', P''I''$ , se l'angolo che gli uni e gli altri formano sopra e sotto colla superficie  $AB$  non sieno eguali. Per lo che essendo l'angolo  $RPB$ , che forma il raggio riflesso colla superficie  $AB$ , eguale all'angolo  $IPB$ , che fa il raggio diretto colla superficie medesima; sarà l'angolo  $RPB$  eguale ad  $SPA$ , o sia l'angolo di riflessione sarà eguale all'angolo dell'incidenza. Il che dimostrandosi nello stesso modo per gli altri raggi riflessi, ne segue che potendosi questi raggi propagare nella stessa guisa che i raggi diretti, nel solo caso che formano angoli d'incidenza eguali a quelli di riflessione, in questo solo caso potranno dopo la riflessione sussistere i movimenti vibratorj.

101. Ma per meglio ridurre la dimostrazione al principio delle interferenze, cadano sulla superficie  $AB$  i due raggi  $SP, S'P'$ , che essendosi partiti da un centro di vi-

brazioni infinitamente lontano, sono fisicamente tra loro paralleli. Si conduca indi tra questi per il punto  $P$  la normale  $PC$ , e così facendo, egli è chiaro che nello stesso tempo l'onda arriverà in  $P$  e in  $C$ . Tra i moti di vibrazione in fine che si partono da  $P$  e  $P'$ , si prendano  $PR$ ,  $P'R'$ , che concorrendo a un punto infinitamente lontano rispetto all'intervallo  $PP'$ , sono anche da considerarsi come paralleli. E supposto che l'angolo  $RPB$  sia eguale a  $S'P'A$ , non vi ha dubbio che i raggi  $PR$ ,  $P'R'$  giunti al loro punto di concorso saranno perfettamente d'accordo. Di fatto guidata dal punto  $P'$  sopra  $PR$  la normale  $P'C'$ , i due triangoli  $PCP'$ ,  $P'C'P$  saranno eguali. E però  $PC' = CP'$ , o sia la porzione di cammino che il raggio incidente  $S'P'$  ha percorso di più che  $SP$  per giungere alla superficie  $AB$  è eguale alla porzione di cammino che il raggio riflesso in  $P$  dee percorrere di più che quello riflesso in  $P'$  per arrivare al punto del loro concorso. Giungendo quindi a sì fatto punto han trascorso la stessa lunghezza di cammino, e perciò saranno perfettamente d'accordo. Ma se in luogo di supporre eguali gli angoli  $PCP'$ ,  $P'C'P$ , o sia gli angoli d'incidenza e di riflessione, questi fossero ineguali, allora ancorchè i raggi riflessi fossero tra loro paralleli, non potrebbero sussistere, perchè sarebbero discordi. In questo caso i due triangoli  $PCP'$ ,  $P'C'P$ , non sarebbero eguali, nè  $CP' = PC'$ , o sia la lunghezza dei loro cammini sarebbe ineguale, e questa ineguaglianza potendosi sempre ridurre a una semiondulazione, i movimenti vibratorj di questi raggi sarebbero del tutto discordi. Anzi procedendo per direzioni parallele,

ed essendo in circostanze del tutto eguali, avrebbero la medesima intensità; e come i loro movimenti sono eguali e del tutto discordi, interamente verrebbe a mancare il loro movimento, o, come dicesi, a *neutralizzarsi*. La luce adunque riflettendosi fa gli angoli d'incidenza eguali a quelli di riflessione in quanto de' movimenti vibratorj che si partono dai punti *P, P', P''*, quei soli che obbediscono a questa legge non si neutralizzano.

102. Ma lasciando le ipotesi, il principio generale degli angoli d'incidenza eguali a quelli di riflessione è certo per l'esperianza, e basta questo solo principio per spiegare, siccome abbiamo veduto, i fenomeni della luce riflessa, che formano la *Catottrica*, e dichiarano rettamente, come si farà, quelli che riguardano la visione per mezzo della luce riflessa dagli specchi.

103. Quando i raggi della luce cadono sulla superficie pulita d'un corpo qualunque, sono riflessi da questa, e portano all'occhio nostro non solo l'immagine della superficie da cui sono rimbalzati, ma altresì quella del punto e dell'obbietto, dal quale partendosi andarono imbattendo sulla superficie pulita<sup>2</sup>. Ora la superficie pulita si chiama *specchio*; e come gli specchi possono essere o *piani*, o *concavi*, o *convessi*, o d'altra figura, così varie sono le forme e le situazioni delle immagini che si de-

---

2 Se la superficie riflettente fosse levigata in modo da essere scevra di qualunque prominenzza e cavità, i raggi riflessi rappresenterebbero soltanto l'immagine dell'oggetto da cui provengono. Per lo che supposta la luna formata di mercurio il più terso e il più pulito, essa, quando è illuminata dal sole, ci farebbe scorgere l'immagine di quest'astro, senza rappresentarci quella di sè medesima. — *Gli Editori*.

scrivono dai medesimi.

104. Osservando l'immagine degli obbietti che noi vediamo coll'ajuto degli specchi piani, e per mezzo della riflessione, è a chiunque manifesto che l'immagine d'un oggetto: 1.° è situata dietro lo specchio, 2.° è diritta e immaginaria, 3.° egualmente distante dallo specchio che è l'oggetto, 4.° simile all'oggetto e della medesima grandezza, 5.° inclinata in rapporto allo specchio della medesima quantità che è l'oggetto, ma in senso contrario. Queste sono le apparenze, che han luogo negli specchi piani.

105. Se dal punto *C* (fig. 25) raggiante si guida la perpendicolare *CA* sullo specchio piano *AD*, e questa perpendicolare si protrae sino a *B*, punto in cui prolungati si unirebbero i raggi riflessi in *E*, *F*, *G*; chiaro si comprenderà il principio con cui gli antichi spiegavano le proprietà degli specchi. Poichè essi chiamarono la perpendicolare *CAB* *cateto d'incidenza*, e stabilirono per principio che l'immagine si dipinge negli specchi giusto nel concorso del cateto d'incidenza coi raggi riflessi, o sia in *B*. Barrow lo chiamò in dubbio, perchè non si seppe persuadere come una linea immaginaria, quale è il cateto d'incidenza, possa produrre un effetto fisico, e abbia la proprietà di determinare il luogo dell'immagine. Sostituì quindi a quel principio degli antichi un altro, cioè che ciascun punto dell'oggetto veduto per riflessione apparisce nel concorso o sia vertice della piramide di quei raggi che entrano nell'occhio nostro. Non si accordò Smith nè al principio di Barrow, nè all'altro più anti-

co, e un terzo ne immaginò, che non è stato riconosciuto dagli ottici. Forse su ciò non si è potuto finora convenire per cagione che nella determinazione del luogo apparente dell'immagine ci han parte i giudizi dell'anima nostra, che non si possono ridurre a calcolo. Ciò non ostante facendo uso o del principio degli antichi, o dell'altro di Barrow, facilmente si dichiarano tutti i fenomeni d'ogni maniera di specchio.

106. Posto il punto raggianti  $C$  (*fig. 25*), noi dobbiamo vederlo nel suo luogo apparente  $B$  dietro lo specchio giusta il principio stabilito dagli antichi. Si formano così due triangoli  $BAE$ ,  $CAE$ , che sono eguali, perchè debbono avere, come fanno, tutti i loro angoli eguali, e il lato  $AE$  comune a tutti due i triangoli. Nasce da ciò, che il luogo apparente  $B$  è tanto distante dallo specchio  $AD$ , quanto al medesimo è distante il punto  $C$ , giacchè  $AB = AC$ . Ma l'immagine  $B$  è immaginaria, perciocchè non è che realmente i raggi riflessi s'uniscono in  $B$ , ma solo a cagione dell'abito già contratto li valutiamo come si riunissero in  $B$  dietro lo specchio. E siccome  $BE$ ,  $GL$  (*fig. 35*) sono parallele, l'oggetto  $BG$  e l'immagine  $EL$ , come quelli che misurano la distanza tra due parallele, debbono essere della medesima lunghezza, o sia l'immagine si forma dietro lo specchio eguale e simile all'oggetto. Finalmente l'immagine deve essere diritta, perchè le piramidi lucide, come sono riflesse, vengono all'occhio nostro senza incrocicchiarsi; perciocchè si potrebbero frastragliare nel centro dello specchio, che si trova a una distanza infinita, essendo lo specchio piano. Sotto questo

punto di veduta la formola stabilita nel num. 81, in cui  $x = \frac{DR}{2D-R}$  si trasforma per la supposizione di  $D = \infty$  in  $x = \frac{\infty D}{-\infty} = -D$ , o sia il fuoco o l'incontro dei raggi di ciascuna piramide è dietro lo specchio, e l'immagine che ivi si forma è alla stessa distanza  $D$  in cui  $x$  è l'oggetto dinanzi lo specchio.

107. Sia l'oggetto *CAIB* (fig. 33) situato dinanzi lo specchio *RD* sotto un'inclinazione qualunque, l'immagine *FLE* dietro lo specchio avrà la stessa inclinazione dell'oggetto *CB*. Poichè guidato il cateto d'incidenza *BGE*, i triangoli *FEG*, *CGB* saranno eguali pel num. 106. E però il punto *E* è tanto distante da *CD*, o da *G*, quanto è distante *B*. Lo stesso s'avvera ove si guida il cateto *IL* per i punti *I*, *L* dell'oggetto e dell'immagine e di ogni altro punto di questa e di quello. Per lo che se le rispettive distanze dei singoli punti dell'oggetto e dell'immagine sono egualmente e similmente posti in riguardo allo specchio, non ci è dubbio che l'oggetto e l'immagine sono egualmente inclinati in riguardo allo specchio. Segue da ciò: 1.º che se l'angolo *BCD* è di 45º parimente di 45º sarà l'angolo formato da *ECD*; e se l'oggetto *CB* è situato orizzontale, e a 45º da *CD* l'immagine *FE* sarà verticale, perchè a 90º da *CB*. E al l'incontro se l'oggetto fosse verticale e a 45º dallo specchio, l'immagine sarebbe orizzontale dietro lo specchio.

2.º Essendo i singoli punti d'un oggetto equidistanti dinanzi lo specchio ai singoli punti dell'immagine dietro

lo specchio, ne segue che in uno specchio orizzontale gli oggetti che son diritti debbono comparire rovesciati. Così posto lo specchio orizzontale  $GB$  (*fig. 34*) e l'oggetto verticale  $CA$ , la sua immagine apparirà rovesciata in  $DG$ . Poichè il punto  $A$  dell'oggetto, che è il più vicino allo specchio, dovrà corrispondere in  $G$  punto dell'immagine che deve essere più vicino pure allo specchio, e il punto  $C$  dell'oggetto, il più lontano da  $AB$ , deve corrispondere a  $D$  punto più lontano dell'immagine.

3.º L'immagine deve essere inclinata allo specchio della stessa quantità che è inclinato l'oggetto, ma in senso opposto; poichè dovendo corrispondere  $C, I, B$ , ai punti  $F, L, E$ , (*fig. 33*) dell'immagine dietro lo specchio e a rincontro dell'oggetto, se  $C$  è alla sinistra,  $F$  di rincontro sarà alla destra, e così d'ogni altro punto. Indi è che gli alberi piantati lungo la ripa di un fiume compariscono colle loro immagini inverse sotto l'acqua.

108. Posto l'oggetto  $BG$  (*fig. 35*) parallelo allo specchio  $FC$ , le piramidi estreme  $DBC, AGF$ , riflesse formano all'occhio l'angolo ottico  $R$  pe' raggi che rimbalzano dei punti dello specchio  $AD$ . Questo angolo ottico è il vertice comune di due triangoli simili, le cui basi sono l'immagine  $LE$ , e la porzione dello specchio  $AD$ . Il rapporto adunque delle loro basi è eguale a quello de' loro lati; e come il lato che da  $R$  va in  $E$  è doppio (num. 106) del lato che da  $R$  va in  $D$ , così  $LE$  è doppio di  $AD$ ; e però nessun oggetto potrà vedersi intero in uno specchio parallelo, se questo non ha la metà almeno delle sue dimensioni.

109. Sia  $AB$  (fig. 36) la posizione dello specchio, e  $EC$  il raggio incidente sul medesimo; questo sarà riflesso per  $CL$ , formando l'angolo  $LCB = ACE$ . Si muova in seguito lo specchio sul proprio asse dalla situazione  $ACB$ , e si porti in quella di  $FCG$ ; allora il raggio incidente  $EC$  sarà riflesso per  $CH$ , facendo l'angolo  $HCG = ECF$ . Ora lo specchio ha percorso muovendosi l'arco  $AF$ , e il raggio riflesso l'arco  $LH$ , che è doppio di  $AF$ . Poichè  $LH = LB + BG - HG$ : la quantità  $LB = EA = FA + EF = BG + GH$ ; dunque sostituendo sarà  $LH = 2BG$ . Il movimento quindi del raggio riflesso, e perciò quello dell'immagine che ha luogo giusta il prolungamento del raggio riflesso, è doppio del movimento dello specchio intorno al proprio asse. Difatti lo specchio  $AB$  passi da  $90^\circ$  a  $45^\circ$ , l'immagine (fig. 34)  $AD$  passerà in  $AB$  movendosi per  $90^\circ$ . Proviene da ciò che l'immagine del sole riflessa da uno specchio comparisce d'avere un movimento rapidissimo, e che i raggi del sole rimbalzati dall'acqua del mar tranquillo hanno un movimento sì notevole e brillano tanto agli occhi nostri.

110. Posti due specchi piani  $CB, DB$  (fig. 37) sotto un angolo qualunque  $CBD$ , sia collocato un oggetto in  $O$ , e l'occhio dello spettatore in  $I$ . Da  $O$  guidato il cateto d'incidenza in  $D$  (num. 105), in cui s'incontra con  $IFD$ , l'occhio vedrà la prima immagine di  $O$  in  $D$ . Poichè il raggio incidente  $OF$  e il riflesso  $IF$  formeranno i due angoli  $OFZ, IFZ$  eguali, e l'immagine sarà veduta lungo il raggio riflesso nel punto  $D$  di concorso col cateto d'incidenza. Da  $D$  si tiri il cateto  $DH$ , sicchè  $GH$  sia eguale a



$DG$ , e l'occhio situato in  $I$  vedrà una seconda immagine nel punto  $H$ , in cui concorrono  $IH$ ,  $DH$ . Di poi condotto il cateto  $HL$  l'occhio vedrà in  $L$  una terza immagine, o sia nel punto in cui  $IL$  s'incontra con  $HL$ . In seguito si prolunghi  $LR$  sino che concorra con  $IR$ , e l'occhio osserverà una quarta immagine in  $R$ . E così successivamente andrà l'occhio vedendo nuove immagini, finchè o l'una o l'altra delle due rette  $IL$ ,  $RI$  non tagli lo specchio fuor dell'angolo  $CBD$ <sup>3</sup>. E siccome l'oggetto  $O$  manda pure direttamente i suoi raggi sullo specchio  $DB$ ; così da  $I$  si vedrà una prima immagine in  $K$ , e da questa mano mano se ne formeranno tante altre quante abbiamo osservato che ne appaiono per mezzo dello specchio  $CB$ . Ma, 1.<sup>o</sup> queste immagini non veggonsi tutte alla medesima distanza. Poichè i raggi che si partono da  $O$  sono riflessi prima dallo specchio  $CB$ , e vedesi l'immagine in  $D$ ; indi sono rimbalzati dallo specchio  $BD$ , e s'osserva l'immagine in  $H$ . Tornano i raggi riflessi da  $BD$  a imbattersi sopra  $CB$ , e appare l'immagine in  $L$ . Proseguono il loro cammino, e s'imbattono di nuovo in  $DB$ , e l'immagine sarà veduta in  $R$ , e così successivamente. In questo senso prima l'oggetto è in  $O$ ; di poi l'immagine  $D$  serve d'oggetto per lo specchio  $DB$ ; in seguito l'immagine  $H$  fa le veci d'oggetto per lo specchio  $CB$ ; e successivamente l'immagine  $L$  diventa oggetto. E siccome le di-

---

3 Cessano di comparire nuove immagini, allorquando le normali, abbassate sulla retta condotta per lo specchio, non tagliano più lo specchio medesimo; come infatti viene notato dall'autore in questo paragrafo al n° 3. – *Gli Editori*.

stanze rispettive dell'oggetto e dell'immagine dinanzi e dietro lo specchio debbono essere eguali (num. 107); così l'immagine in  $H$  sarà veduta alla distanza =  $DG$ , in  $L$  alla distanza =  $HS$ , ec. Di fatto  $RI = NI + RN$ ;  $RN = LN = SN + LS$ ;  $SL = SH = ST + TH$ ;  $TH = TD = TV + VD$ ;  $VD = VO$ ; e perciò  $RI = OV + VT + TS + SN + NI$ , che esprime il cammino dei raggi che successivamente riflettonsi in mezzo ai due specchi. E però la distanza d'un'immagine qualunque dall'occhio è eguale alla somma del raggio incidente e dei raggi riflessi per cui è veduta.

2.° Siccome i raggi quanto più riflettonsi, tanto più soffrono dispendio; così quanto più lontana vedesi l'immagine, tanto più debole e meno vivida appare.

3.° Quanto più cresce l'angolo  $CBD$ , tanto più scema il numero delle immagini; perciocchè più presto si giunge a quella normale che non taglia più l'angolo de' due specchi. Indi è che quando un sì fatto angolo è retto non possono aver luogo che due immagini, e quando è assai ottuso appena una sola se ne vede.

4.° Se gli specchi son situati paralleli, il numero delle immagini diventa indefinito; perciocchè tutte si formano sulla stessa normale  $OD$  prolungata indefinitamente. Allora si vede un numero indefinito d'immagini poste a diverse distanze, e successivamente dietro gli specchi, la cui chiarezza va di mano in mano menomando.

III. Sia  $A$  (*fig. 38*) il punto luminoso,  $ED$  la superficie inferiore dello specchio cui è applicato l'amalgama; e sia  $AC$  una perpendicolare sulla quale  $AE = EC$ , e  $AB = BH$ . Ciò posto, la più parte de' raggi che sono lanciati da

*A* penetrano sino in *K*, e sono rimbalzati verso l'occhio in *F*, per mezzo dei quali si vede un'immagine e forte e vivace in *C*. Ma ci hanno alcuni raggi, come *AL*, che sono rimbalzati all'occhio dalla superficie superiore *BC* dello specchio, e che riflessi per *LF* danno a vedere una seconda immagine la quale è più debole in *H*. Che se lo specchio fosse assai spesso, potrebbe avvenire che apparisse qualche terza immagine intermedia a *C* e *H*. Uno specchio quindi di cristallo ci offre d'ordinario due immagini, l'una anteriore e più debole, e l'altra posteriore e più chiara. Ecco perchè si preferiscono agli specchi di cristallo quelli di metallo, in cui non ha luogo la doppia immagine.

#### *DEGLI SPECCHI CONCAVI*

##### Esperimento I.

Se un fiore si colloca dinanzi uno specchio concavo *BDA* (*fig. 26*) in *I*, o tra qualunque altro punto intermedio tra il vertice *D* dello specchio e il fuoco *F* dei raggi paralleli, l'immagine del fiore si vedrà dietro lo specchio diritta e immaginaria, più grande e più lontana che non è l'oggetto dinanzi. Anzi se il fiore si porta successivamente da *D* sino a *F*, si osserverà che l'immagine successivamente s'allontana dietro lo specchio dalla superficie sino all'infinito, e la sua grandezza cresce in corrispondenza alla distanza sino a diventare indefinitamente grande.

## Esperimento II.

Se il fiore vien collocandosi in  $N$ , o in un punto qualunque tra il fuoco  $F$  e il centro  $C$  dello specchio, la sua immagine si vedrà avanti lo specchio rovesciata e reale, più lontana che non è il fiore, e più grande del medesimo. Anzi come il fiore da  $F$  s'avvicina a  $C$ , l'immagine s'avvicina da  $G$  in  $O$ , e in corrispondenza va facendosi minore come s'avvicina a  $C$ .

## Esperimento III.

Se il fiore da  $C$  si porta in  $O$ , e poi in  $G$  sino all'infinito, l'immagine si vedrà avanti lo specchio reale e capovolta, più vicina allo specchio che non è il fiore, e più piccola. Di fatto va fermandosi da  $C$  verso  $F$ , e in corrispondenza va impicciolendo. Solamente quando l'immagine si dipinge in  $C$  è eguale al fiore.

112. Questi esperimenti, che racchiudono i principali fenomeni degli specchi concavi in riguardo alla visione, dipendono e chiaro si spiegano per mezzo delle dottrine da noi già poste nel primo articolo trattando del fuoco degli specchi concavi. Poichè è stato già da noi stabilito che ciascun punto d'un oggetto si vede e si riferisce nel fuoco o immaginario o reale de' raggi che formano la piramide lucida che procede da ciascun punto. Ivi dunque e a quella distanza dello specchio o dietro o dinanzi si riferisce l'immagine di ciascun punto in cui si forma il fuoco. E sebbene un oggetto risulti da più punti che sono nell'asse o fuori; pure si è dimostrato nel num. 81, che poste eguali le distanze di que' punti dallo specchio,

eguale del pari è la distanza de' loro fuochi o sia delle loro immagini. E però come varia la distanza dell'oggetto varia quella dell'immagine, perchè deve in corrispondenza variare il fuoco dei raggi. E parimente come cammina il fuoco van camminando le caustiche (num. 87), per cui giusta la distanza dell'oggetto sono da riferirsi le immagini del medesimo, le caustiche e il fuoco; sicchè fuoco, caustiche e immagini sono da rapportarsi nel medesimo luogo. Ciò posto, siccome nel num. 85 il valore di  $x$  viene ad essere negativo quando il fiore è situato tra  $D$  e  $F$ ; così il fuoco sarà immaginario, e immaginaria e dietro lo specchio si vedrà l'immagine, siccome avviene nell'esperimento I. Maggiore poi è la distanza dell'immagine dietro lo specchio, che dinanzi non è quella dell'oggetto, perchè la distanza dell'immagine giusta la formola (num. 85) è a quella dell'oggetto  $:: R$  il raggio  $: R-2D$  essendo il fuoco negativo. E perchè  $R$  è sempre maggiore di  $R-2D$ , e tanto più quanto più cresce  $D$ , perciò l'immagine deve essere più distante dietro che non è l'oggetto avanti lo specchio, e questa distanza deve aumentarsi sino all'infinito quando  $D = \frac{R}{2}$ , o sia quando l'oggetto è collocato nel fuoco. Dappoichè allora  $x = \infty$  (num. 82). L'immagine poi deve comparire più grande che non è l'oggetto a cagione della proprietà degli specchi concavi di rendere (num. 79.) più convergenti i raggi che cadono convergenti. Ora le piramidi che partonsi dai punti estremi d'un oggetto collocato dinanzi uno spec-

chio concavo, cadono convergenti, e tanto più quanto più l'oggetto s'allontana dal vertice dello specchio, e s'avvicina al suo fuoco principale: queste piramidi adunque fatte più convergenti dopo la riflessione formano un angolo ottico più grande, e però l'immagine comparirà non che più lontana dietro lo specchio, ma più grande ancora dell'oggetto. Facile è poi la spiegazione del secondo esperimento; perciocchè, giusta il num. 84, il fuoco de' raggi che partonsi da un punto situato tra il fuoco principale e il centro dello specchio concavo, è reale e sempre al di là del centro. L'immagine adunque del fiore deve essere reale, e perciò dinanzi lo specchio concavo, e sempre al di là del raggio, o sia più lungi dal centro. Poichè la distanza dell'immagine  $x:D :: R:2D-R$ , di che pel num. 84 è chiaro che  $x$  o sia l'immagine si dipinge più lungi dal centro. Questa immagine si può osservare in due maniere, diritta cioè e rovesciata. Se l'occhio è situato in un punto in cui i raggi riflessi delle piramidi lucide vanno a convergere senza che si riuniscono, allora si vedrà diritta l'immagine; ma se si guarda il luogo in cui si riuniscono i raggi e descrivono co' loro singoli fuochi i singoli punti dell'oggetto, allora si vedrà l'immagine rovesciata, perciocchè le piramidi lucide nel riflettersi prima s'incrocicchiano nel centro dello specchio concavo come in  $E$  (*fig.* 16), e poi van descrivendo l'immagine come in  $GF$  capovolta. E questa seconda immagine si dipinge tanto più grande quanto più lontano dal centro dello specchio concavo si descrive, per la ragione che tanto più divergono le piramidi lucide, quanto

più dal punto di loro intersecamento, o sia da quel centro s'allontanano, e vanno più lungi a dipingere quella immagine. Per lo che la grandezza apparente dell'immagine va sempre più crescendo, come più vicina al centro dello specchio si describe, finchè diventa eguale all'oggetto. La qual cosa accade quando il fiore è situato nel centro; perchè allora nello stesso centro, giusta il num. 84, si forma l'immagine che viene a cadere e a confondersi col fiore medesimo.

Finalmente a dichiarare il III esperimento è da richiamare alla memoria che pel num. 85, quando l'oggetto è portato dal centro di concavità successivamente sino all'infinito, l'immagine si describe tra quel centro e il fuoco de' raggi paralleli; perciocchè  $x$  è minore di  $R$ , e il suo valore può diminuire sino a  $\frac{R}{2}$  senza più. E come

la riunione de' raggi tra  $C$  e  $\frac{R}{2}$  è reale; così reale e innanzi lo specchio sarà la dipintura dell'immagine, e più vicina allo specchio che non è l'oggetto nel rapporto appunto di  $R:2D-R$ . Questa immagine poi si describe rovesciata, perchè le piramidi lucide nel partirsi dall'oggetto, che è situato più lungi che non è il centro, passano per sì fatto centro di concavità dove s'incrocicchiano, e poi rimbalzati dallo specchio concavo van descrivendo co' loro rispettivi fuochi l'immagine dell'oggetto. E siccome le piramidi lucide che partonsi dai punti estremi dell'oggetto, e che già si sono frastagliate, dopo la ri-

flessione vanno tra il centro di concavità e il fuoco principale, o sia più vicino allo specchio che non è l'oggetto, descrivendo l'immagine; così dopo la riflessione non possono molto allontanarsi tra loro, o almeno s'allontanano assai meno di quel che farebbero se andassero dipingendo l'immagine alla stessa distanza in cui si trova l'oggetto. Ora la distanza loro esprime e rappresenta il diametro apparente dell'immagine, e però l'immagine è reale, inversa, e più vicina allo specchio che non è l'oggetto, e per la medesima ragione più piccola, e va sempre più decrescendo quanto più vicina si forma al fuoco principale.

113. Raccogliendo, dopo tutto ciò, le apparenze che han luogo per mezzo degli specchi concavi che sono sferici, si può stabilire generalmente che l'immagine presenta fenomeni differenti a tenore della distanza dell'oggetto dallo specchio. Quando l'oggetto va dalla superficie al fuoco dello specchio, l'immagine si vede diritta e immaginaria sempre più lontana che non è l'oggetto, e cammina dalla superficie dello specchio sino all'infinito sempre dietro lo specchio. Quando l'oggetto si porta dal fuoco al centro di concavità dello specchio, l'immagine si dipinge reale dinanzi dello specchio, rovesciata e più lontana che non è l'oggetto, e scende dall'infinito, dal quale si parte sino al centro di concavità. Quando in fine l'oggetto va del centro di concavità sino all'infinito, l'immagine è dipinta avanti lo specchio rovesciata, reale e più vicina che non è l'oggetto, e cammina dal centro di concavità sino al fuoco principale



dello specchio. Ora allorchè l'immagine si forma dietro lo specchio, il rapporto che passa tra la distanza dell'immagine e quella dell'oggetto  $:: R:R-2D$ . E come il rapporto tra le grandezze apparenti dell'immagine e dell'oggetto è eguale a quello delle loro rispettive distanze; perciò la grandezza apparente dell'immagine è a quella dello specchio  $:: R:R-2D$ , cioè a dire l'immagine cresce da una quantità eguale all'oggetto sino ad una grandezza indefinita, come avviene nel caso che  $R-2D = 0$ . Se poi l'immagine formasi dinanzi lo specchio, le distanze dell'immagine e dell'oggetto stanno tra loro  $:: R:2D-R$ , e nello stesso rapporto sono tra loro le grandezze apparenti dell'immagine e dell'oggetto. Per lo che l'immagine da una quantità indefinitamente grande, che s'avvera quando  $2D-R = 0$ , decresce successivamente sino a diventare eguale all'oggetto, e da questo punto sino a diventare indefinitamente piccola, che ha luogo quando  $D = \infty$ , perciocchè in tal caso  $R$  diventa una quantità infinitamente piccola in riguardo a  $2\infty$ .

#### Esperimento IV.

Posto un fiore a qualunque distanza dinanzi uno specchio convesso sferico, si vede la sua immagine dietro lo specchio diritta più piccola dell'oggetto, e più vicina dietro lo specchio che non è l'oggetto dinanzi al medesimo.

114. Siccome il fuoco de' singoli pennacchi lucidi che partonsi dal fiore è immaginario (num. 92), così è chiaro che l'immagine del fiore deve esser sempre immagina-

ria, diritta e dietro lo specchio. La distanza poi dell'immagine sarà tanto minore di quella dell'oggetto nel rapporto di  $R:2D+R$ , giusta la formola del num. 94. E come le piramidi lucide che partonsi dai punti estremi dell'oggetto, cadendo convergenti sullo specchio convesso, sono rimbalzate meno convergenti, così vengono formando un angolo ottico minore, e perciò l'immagine comparisce più piccola dell'oggetto. I fenomeni degli specchi convessi riduconsi, 1.° a formare l'immagine dietro lo specchio, e perciò, 2.° diritta e immaginaria, 3.° a una distanza che sta a quella dell'oggetto ::  $R:R+2D$ . D'onde viene che camminando l'oggetto dinanzi lo specchio da zero sino all'infinito, l'immagine dietro lo specchio va in corrispondenza da zero, o sia dalla superficie sino al fuoco dello specchio convesso. 4.° A misura che l'oggetto va da zero all'infinito, la grandezza apparente dell'immagine decresce da una quantità quasi eguale all'oggetto sino a diventare infinitamente piccola. Poichè la grandezza apparente dell'oggetto è a quella dell'immagine nel rapporto stesso delle loro rispettive distanze. Di fatto posto l'oggetto  $GM$  (*fig. 31*) avanti lo specchio convesso  $ADB$ , la sua immagine sarà  $BF$  dietro lo specchio stesso. E siccome i due triangoli  $FCB$ ,  $GCM$  sono simili, si avrà  $GM:FB :: GC:FC :: D+R:(R-x) :: D+R:+R-\frac{DR}{2D+R} :: D:\frac{-DR}{2D+R}$ ; o sia la grandezza dell'oggetto e dell'immagine stanno tra loro nel rappor-

to delle rispettive distanze  $D$ , e  $\frac{-DR}{2D+R}$  dallo specchio convesso<sup>4</sup>. Ora le distanze dell'immagine e dell'oggetto stanno tra loro come  $R:R+2D$ : dunque la grandezza apparente dell'immagine è a quella dell'oggetto ::  $R:R+2D$ . Per lo che se si ha  $D = \frac{1}{\infty}$  viene ad essere  $R = R$ , e la grandezza dell'immagine pressochè eguale a quella dell'oggetto. Quando poi si ha  $D = \infty$ ,  $R$  in riguardo a  $2\infty$  si può considerare come infinitamente piccola, e perciò infinitamente piccola è l'apparenza o grandezza dell'immagine.

115. Sia  $ADS$  (*fig. 39*) una parte della circonferenza d'uno de' gran cerchi dello specchio convesso, e il punto raggiante  $E$  situato nel piano di questo circolo. Suppongasi inoltre che i raggi riflessi che appartengono ai raggi incidenti  $ED$ , ec., si prolunghino dietro la superficie dello specchio sino che ciascuno di essi sia tagliato da quello che gli è contiguo. Allora si fatte intersezioni in  $C, C', C''$ , ec., danno origine ad una curva, che si chiama *caustica*, di cui son tangenti i raggi riflessi prolungati, e che è situata dalla medesima parte dell'asse, come pure un'altra  $AC$  se ne forma dal lato opposto, sicchè le due caustiche si taglieranno nel punto  $C$  dell'asse. Indi è che a misura che il punto  $E$  s'allontana o s'avvici-

---

4 Le grandezze dell'oggetto e dell'immagine stanno, è vero, come le rispettive distanze dallo specchio; ma questo rapporto non si deduce dal calcolo dell'autore, e per dimostrarlo a rigore sarebbe necessario il sussidio di un'apposita figura. — *Gli Editori*.

na all'arco  $ADS$ , in corrispondenza si va allontanando o avvicinando la caustica  $C, C', C''$ ; perciocchè i raggi incidenti che partono da  $E$  cadono più o meno divergenti sull'arco, e sono perciò riflessi con maggiore o minore divergenza, e più vicino o più lontano dietro lo specchio si vanno a frastagliare. Parimente se il punto  $E$  si muove attorno lo specchio, avrà la curva  $C, C', C''$ , il movimento medesimo. Ciò posto, se l'osservatore ha l'occhio nel piano  $ADS$ , vedrà l'immagine del punto raggianti in qualunque punto della caustica in cui s'incontrano due raggi riflessi prolungati. E se ad un punto si sostituisce un oggetto, è chiaro che si vedrà pure la sua immagine nella curvatura della caustica. Per lo che essendo l'immagine concentrata nella curva, deve comparire più piccola. Ecco il perchè l'immagine veduta per mezzo d'uno specchio convesso comparisce ristretta e raccorciata in tutte le sue dimensioni.

Questa proprietà degli specchi convessi li rende atti a rappresentare in piccolo una gran prospettiva, come d'una campagna o altro; onde è che di questi sogliono usare con profitto i pittori. Ma la curvità degli specchi non deve allora essere notevole, giacchè quando sono molto curvi sogliono rappresentare arcuata, e perciò difettosa l'immagine degli oggetti.

116. Sogliono fabbricare, più per trastullo e divertimento de' curiosi che per altro, degli specchi di forma cilindrica, piramidale, prismatica, e di altre forme, i quali, come quelli che si considerano per una riunione di specchi piani e sferici; sogliono denominare *misti*. Così

lo specchio *ABCD* (*fig. 40*) è cilindrico, e si considera d'alto in basso perpendicolarmente come la riunione di tanti piccoli specchi piani e diritti posti l'uno dopo l'altro; nel senso poi della sua larghezza, come la riunione di tanti strati o piccoli specchi convessi posti l'uno dopo l'altro. E però lo specchio tutto *ABCD*, come quello che risulta da specchi piani e convessi, racchiude le proprietà dell'una e l'altra maniera di specchi. Di fatto presentandosi allo specchio cilindrico un oggetto, la sua immagine è rappresentata regolare giusta la dimensione della lunghezza, e deformata nel senso della larghezza. Poichè lo specchio nel senso della lunghezza operando come specchio piano, non altera l'immagine; e nel senso della larghezza operando come specchio convesso, restringe e abbrevia le dimensioni della larghezza. Ma come deforma gli oggetti regolari, così può correggere i difetti degli oggetti che sono fuor di proporzione. A questo fine si disegna sopra una carta una figura irregolare, che, mostruosa comparando agli occhi, non si conosca cosa rappresenti; ma come si colloca lo specchio cilindrico nel centro del disegno, si vede immagine della figura, regolare e ben disegnata. Simili effetti di rappresentare regolarmente le figure mostruose producono gli specchi misti piramidali, o d'altre forme, e la geometria ci somministra il modo per combinare i tratti de' disegni sulla curvatura degli specchi, onde risulti corretta la dipintura dell'immagine.

## CAPO V. — DELLA RIFRAZIONE.

### Esperimento I.

Situata verticalmente la tavola circolare  $MFM$  (fig. 41), la quale è tutta distinta in gradi; e apposto giusto nel diametro di questa tavola il cassetto col fondo di vetro pieno d'acqua, si osserva, che passando il raggio di luce  $Fm$  dall'aria a traverso dell'acqua, in luogo di seguitare la sua direzione in linea retta per  $mn$ , si torce in  $m$ , e prende la direzione  $mN$ .

117. Ora l'acqua e in generale qualunque corpo diafano, come già si sa, chiamasi *mezzo*; il punto  $m$ , ove il raggio s'immerge nell'acqua, dicesi *punto d'immersione*; e quello onde emerge, *d'emergenza*: il raggio  $mN$ , che nel punto d'immersione devia dal suo cammino  $mn$  e si torce, *raggio rifratto*: questo fenomeno della deviazione del raggio, che comparisce rotto nel punto d'immersione, si dice *rifrazione*; e la luce, come quella che torce e devia passando da un mezzo in un altro, si tiene per fornita di *rifrangibilità*. Ma la luce nel rifrangersi è sottoposta ad alcune leggi costanti, giusta cui si dichiarano non pochi fenomeni, e di queste leggi andremo trattando prima d'ogni altro nel presente capitolo.

### Esperimento II.

Se il raggio  $Tm$  (fig. 41) cada perpendicolarmente sulla superficie  $ab$  dell'acqua, non si rompe nel punto  $m$  d'immersione, ma diritto passa seguitando la sua dire-

zione  $mE$ . Al contrario se il raggio  $Tm$  cade sulla superficie  $ab$  obliquamente, e sotto un angolo qualunque d'inclinazione, allora si rifrange nel punto d'immersione  $m$ , e in luogo di proseguire il suo cammino per  $mn$  imprende una direzione per  $mN$ .

118. Da questo esperimento si raccoglie che la luce la quale incontra perpendicolarmente un mezzo, non si rifrange, e che allora succede il fenomeno della rifrazione quando obliquamente passa da un mezzo in un altro. Ora se la luce rifrangersi, l'angolo formato dal raggio incidente  $Fm$  colla perpendicolare  $TE$  guidata dal punto d'immersione. o sia l'angolo  $FmT$ , si chiama *angolo d'incidenza*. L'angolo poi formato dal raggio rifratto  $mN$  colla stessa perpendicolare  $mE$ , o sia l'angolo  $NmE$  si dice *angolo di rifrazione*. L'angolo infine  $Nmn$ , *angolo di deviazione*. Di che è chiaro che il raggio incidente e il raggio rifratto sono sempre in un medesimo piano normale alla superficie d'incidenza.

### Esperimento III.

Se il raggio di luce  $HF$  (*fig. 42*) cade obliquamente dall'aria sulla superficie  $AFD$  dell'acqua contenuta nel vaso  $ABCD$ , s'osserva che si piega in  $F$  e prende la direzione  $FI$ , avvicinandosi alla perpendicolare  $FG$ ; ma se al contrario il raggio  $IF$  passa dall'acqua nell'aria, in luogo di proseguire la sua direzione per  $FN$ , rompendosi in  $F$ , s'incamminerà per  $FH$  allontanandosi dalla perpendicolare  $EF$ .

119. Questo esperimento c'insegna che quando la

luce passa obliquamente da un mezzo meno rifrangente in uno che è più, si torce avvicinandosi alla perpendicolare; e al contrario ove la luce passa da un mezzo più rifrangente in un altro che è meno, si rifrange allontanandosi dalla perpendicolare. Così dall'aria nell'acqua si rifrange per  $FI$  e dall'acqua nell'aria si piega per  $FH$ .

120. Si può questo medesimo osservare per via d'un esperimento facile a praticarsi. Guardandosi da  $S$  una moneta  $P$  posta nel fondo del vaso (*fig.* 43), non si potrà vedere, perchè la parete  $CO$  impedisce il raggio  $PO$  di venire all'occhio; ma ove il vaso si riempie d'acqua, la moneta si vedrà, essendo l'occhio situato in  $S$ , nel punto  $F$ , perchè il raggio  $PI$  uscendo dall'acqua nell'aria, in luogo di seguire la sua direzione per  $ID$ , si torce allontanandosi dalla perpendicolare  $GI$  per  $IS$ , e lungo la direzione del raggio rifratto  $IS$  si vedrà la moneta in  $F$ . La quantità poi della rifrazione si stima dal rapporto che passa tra l'angolo d'incidenza e quello di rifrazione: e come un angolo si misura dall'arco corrispondente, e questo per il suo seno; così la quantità della rifrazione si valuta per i seni dell'angolo d'incidenza e di rifrazione.<sup>5</sup> Quando  $HF$  passa dall'aria nell'acqua (*fig.* 42), il suo angolo d'incidenza è  $HFE = LFG$ , e il seno di questo angolo è rappresentato dalla perpendicolare  $LM$ . L'angolo poi di rifrazione è  $IFG$ , il cui seno è  $IK$ ; di modo

5 Gli archi non sono proporzionali ai seni, e quindi gli uni non servono di misura agli altri. L'esperienza solo ha mostrato che il rapporto di rifrazione è costante per lo stesso mezzo, qualunque sia l'obliquità dell'angolo d'incidenza, e che è espresso dal rapporto dei seni dei due angoli d'incidenza e di rifrazione. — *Gli Editori*.



che il rapporto dell'angolo d'incidenza è a quello di rifrazione  $:: LM:IK$ . Che se volesse misurarsi il rapporto dell'angolo d'incidenza a quello di rifrazione quando dall'acqua il raggio passa nell'aria, sarebbe  $:: IK:LM$ .

#### Esperimento IV.

Sia l'obliquità del raggio incidente  $NF$ , o pure  $HF$  quando passa dall'aria nell'acqua; l'esperienza mostra che il rapporto tra il seno d'incidenza e quello di rifrazione è sempre  $:: LM:IK$ .

Si conchiude da questo esperimento, che i seni d'incidenza e di rifrazione sono in un rapporto costante, qualunque sia l'obliquità d'incidenza. In questo senso si è trovato che il rapporto dei due seni nel passaggio della luce dall'aria nell'acqua  $:: 4:3$ , o più esattamente  $:: 0,7481$ ; dall'aria nell'alcool  $:: 4,1 : 3$ , o pure  $:: 1:0,7299$ ; dall'aria nel vetro comune  $:: 3:2 :: 1:0,6452$ ; dall'aria nel *fiutglass*  $:: 8:5 :: 1:0,6250$ .

121. Posto adunque che il mezzo rifrangente e il mezzo ambiente non cangiano, il seno dell'angolo d'incidenza e quello dell'angolo di rifrazione sono in un rapporto costante, che si esprime  $\text{sen } I = n \text{ sen } R$ , chiamandosi  $n$  una costante che dipende dalla condizione dei mezzi, e si chiama il rapporto di rifrazione. Così nel passaggio dall'aria nell'acqua  $n = \frac{4}{3}$  e dall'acqua nel-

l'aria  $n = \frac{3}{4}$ .

Posti tutti questi esperimenti, è tempo ora di racco-

gliere insieme le leggi che han luogo nella rifrazione della luce. Tali leggi sono riposte, 1.° in ciò che solo il raggio che passa obliquamente da un mezzo in un altro si rifrange. 2.° Che si rifrange in tal modo che i seni d'incidenza e di rifrazione sono costanti, qualunque sia l'obliquità d'incidenza. 3.° Che nel rifrangersi s'avvicina o allontana dalla perpendicolare secondo che passa da un mezzo meno rifrangente in un altro più rifrangente, o al contrario. 4.° Che di qualunque maniera sia rifratto un raggio di luce che traversa diversi mezzi rifrangenti per arrivare da un punto ad un altro, soffre le medesime rifrazioni e séguita lo stesso cammino in ritornando da questo ultimo punto al primo. Così se da  $H$  giunse in  $F$  e poi in  $I$ , ritornando da  $I$  giunge in  $F$  e poi in  $H$ .

#### Esperimento V.

Passando il raggio della luce dall'acqua nell'aria ove l'angolo d'incidenza sia di  $60^\circ$ , si osserva che il raggio in luogo di rifrangersi si riflette.

122. Questo esperimento ha la sua ragione nelle leggi da noi stabilite. Poichè sia  $HG$  (*fig. 44*) il raggio incidente sotto un angolo di  $48^\circ 30'$ ; che è l'angolo  $HGA$ , e si voglia l'angolo corrispondente di rifrazione. Allora, pel num. 120, si ha la proporzione  $3:4 :: \text{sen } 48^\circ 30' : \text{sen } x$ , e quindi sarà  $\text{sen } x$ , o di rifrazione =  $86^\circ 58'$ . Di che è chiaro che l'angolo  $DGB$  di rifrazione è vicino a  $90^\circ$ , e il raggio si rifrange per  $DG$  assai vicino alla superficie  $EG$  dell'acqua. Se dunque si accresce

l'angolo d'incidenza, e diventa maggiore di  $48^{\circ}30'$ , s'accresce pure l'angolo di rifrazione  $DGB$ , e divenendo quasi di  $90^{\circ}$  il raggio rifratto raderebbe la superficie  $EG$ . Sia dunque l'angolo  $HGA$  di  $60^{\circ}$ ; sarà  $3:4 :: \sin 60^{\circ}:\sin x$ , e il logaritmo  $\sin x = 10,0624693$ ; cioè a dire il seno dell'angolo di rifrazione sarebbe maggiore del raggio, il che è impossibile. In questo caso il raggio incidente  $HG$  non passa nell'aria, ma si riflette per  $GC$ , come c'insegna l'esperimento.

123. È dopo ciò da conchiudersi che quando la luce passa da un mezzo più rifrangente in un altro che lo sia meno, vi è un limite d'obliquità d'incidenza, al di là del quale in luogo di rifrangersi si riflette, che si distingue col nome di *limite di rifrazione*. Questo limite nel passaggio della luce dall'acqua nell'aria è di  $48^{\circ}30'$ , e dal vetro comune nell'aria è di  $40^{\circ}11'$ . E in generale questo limite è diverso secondo che diverso è il rapporto che hanno tra loro i mezzi più e meno rifrangenti. Per lo che conosciuto il potere rifrangente d'un mezzo, si può stabilire quello d'un altro che è meno rifrangente, cercando per via d'esperienza, come ha fatto Wollaston, il limite della sua rifrazione. Ma non succede lo stesso quando la luce da un mezzo meno rifrangente passa in uno che è più. Poichè essendo in questo caso l'angolo di rifrazione sempre minore (num. 120) di quello d'incidenza, il seno del primo angolo non può mai essere eguale al raggio. Ciò non ostante nell'atto che la luce passando per tali mezzi si rifrange, sempre ci ha una porzione de' suoi raggi che si riflette, e questa porzione è tanto più grande

quanto più è l'obliquità d'incidenza. Di che proviene che la superficie delle acque tranquille e quella d'altri corpi trasparenti fanno sino ad un certo punto l'ufficio di specchi a cagione di que' raggi che riflettendosi sfuggono alla rifrazione.

124. Molto si sono affaticati i fisici per istabilire il rapporto quanto più si può esatto di rifrazione ne' solidi diafani, formando di questi de' prismi rettangolari, e ne' liquidi e ne' fluidi aeriformi racchiudendo gli uni e gli altri in prismi. Noi rapporteremo qui la tavola delle esperienze fatte da Biot ed Arago su molti fluidi aeriformi sotto la pressione medesima e alla stessa temperatura<sup>6</sup>.

SOSTANZE	DENSITÀ	POTERE RIFRANGENTE
Aria atmosferica	1,00000	1,00000
Ossigeno	1,10359	0,86161
Azoto	0,96913	1,03408
Idrogeno	0,07321	6,61436
Ammoniaca	0,59669	2,16851
Acido carbonico	0,51961	1,00476

6 Il rapporto di rifrazione è differente dal potere rifrangente; essendo il primo rappresentato da  $n$ , il secondo è espresso da  $\frac{n^2-1}{D}$ , chiamando con  $D$  la densità del mezzo; come fa notare poscia l'autore al fine del § 127. Si avverta però che coll'espressione precedente si suol dinotare il potere rifrangente relativo, mentre  $n^2-1$  rappresenta l'assoluto. — *Gli Editori.*

Idrogeno carburato	0,57072	2,09270
Idrogeno più carburato	0,58825	1,81860
Gas idroclorico	1,24740	1,19625

125. Dagli esperimenti or ora riportati e da altri simili han ricavato Biot ed Arago, 1.° che l'ossigeno, tra i gas, è quello che ha il minor potere rifrattivo, e l'idrogeno il maggiore. Anzi 2.° che tra tutti i corpi solidi o liquidi posti da que' fisici in esperienza stanno l'ossigeno e l'idrogeno ai due estremi *minimum* e *maximum* di potere rifrangente. Solamente è da eccettuarsi il fluato di calce, che l'ha più debole del gas ossigeno. È dunque l'idrogeno che dà all'olio, alle resine e alle altre sostanze combustibili la loro gran forza rifrangente. 3.° Il potere rifrangente d'un gas è sempre ed esattamente proporzionale alla sua densità, senza che il calore vi porti alcuna modificazione. 4.° Che l'azione del carbonio sulla luce è debole e assai meno di quella dell'acqua. 5.° Che il potere rifrangente d'un composto risulta ed è formato presso a poco dai poteri rifrangenti de' suoi componenti nella proporzione delle loro masse. Così ove si calcola il potere rifrangente dell'aria atmosferica giusta le quantità ponderabili d'ossigeno, d'azoto e d'acido carbonico che la compongono, il risultato appena differisce d'un millesimo da quello che s'ottenne per via di esperienze dirette sul composto tutto aria atmosferica. 6.° Essendosi trovato il poter rifrangente del carbonio tre volte meno di quello del diamante, si è argomentato che il diamante

non è carbonio puro, ma che ci abbia pure qualche altra sostanza insieme col carbonio.

126. Da queste esperienze risulta che il potere rifrangente non è, come una volta credevasi, proporzionale alla sola densità delle varie sostanze, giacchè il gas idrogeno che ha il *minimum* di densità è fornito del *maximum* di potere rifrangente. Newton conobbe che le sostanze infiammabili formavano una eccezione alla legge delle densità, e sospettò che il diamante e l'acqua racchiudessero delle sostanze infiammabili, siccome si è poi ritrovato, perchè dotati erano d'un potere rifrangente assai più forte di quello che si conveniva alla loro densità. Ma non ostante una siffatta eccezione sempre si tenne da tutti che per lo più il potere rifrangente segua la ragione delle densità. Le ricerche poi cui si sono i fisici rivolti intorno ai poteri rifrangenti delle diverse sostanze han dato a vedere che un siffatto potere è molto variabile, come varia la condizione dei corpi, e cresce solamente come cresce la densità quando il mezzo è omogeneo. E però prevalse l'opinione che i corpi, giusta le loro condizioni chimiche, esercitano per la luce una più o meno forte affinità, che è cagione del loro potere più o meno rifrangente. Così a cagione dell'affinità il potere rifrangente dell'olio e dell'alcool è più forte di quello dell'acqua, ancorchè questa sia fornita d'una maggiore densità. Il potere quindi de' corpi di rifrangere la luce risulta in questo modo dalla loro condizione e densità, o, in altri termini, dall'affinità e dalla massa che nel senso di Berthollet formano l'azione chimica. Per lo che si

tenne che la luce rifrangendosi s'avvicina alla perpendicolare, allorchè da un mezzo, la di cui azione chimica è minore, passa ad un altro che ne ha una maggiore, ed all'inverso se ne allontana quando da questa maniera di mezzo a quella trapassa.

127. Si può ora comprendere in che modo vengono i Newtoniani dichiarando il fenomeno della rifrazione. Vogliono essi che le molecole della luce avvicinandosi alla superficie d'un mezzo sieno sospinte da forze che le sollecitano ad entrare. E come il raggio obliquo e non il perpendicolare si rifrange; così credono che siffatte forze sieno dirette perpendicolarmente alla superficie. Ma a giudizio di essi la sfera d'attività di queste forze attraenti è molto ristretta, perchè la loro azione è sensibile a distanze insensibili. E però ci appare che il raggio si torca ad un tratto nel punto d'incidenza. Attribuiscono in somma la rifrazione all'attrazione che esercitano le molecole de' corpi su quelle della luce; attrazione che è analoga all'azione capillare, giacchè al par di questa opera a distanze insensibili. Secondo questo principio, il raggio *SI* (*fig. 45*) sarà attirato dal mezzo perpendicolarmente alla superficie *AB*, e colla medesima intensità quando è alla medesima distanza. Si supponga oltre a ciò che la distanza sia quella in cui l'attrazione comincia ad essere sensibile, o sia comincia a deviare le molecole luminose del raggio *SI*. Allora la linea *ab* parallela alla superficie *AB* sarà il limite esteriore in cui il raggio *SI* si comincia a curvare a causa dell'attrazione che opera perpendicolarmente. Oltrepassata *ab* il raggio viene più

e più e mano mano attirato sino che giunge alla superficie  $AB$ . Ma avendo il raggio traversato questa superficie, l'attrazione sulle molecole luminose si comincia successivamente a diminuire, e finisce poi del tutto l'azione delle forze attrattive al limite inferiore  $a'b'$ , che è tanto lontano dalla superficie  $AB$  quanto il limite esteriore  $ab$ . Poste le quali cose, ciascun vede che il raggio  $SI$  conserva la sua direzione rettilinea sino al limite  $ab$ , in cui cominciano ad esser sensibili le forze attrattive. La celerità del raggio si scompone in due, l'una parallela alla superficie  $AB$  e l'altra verticale, la prima delle quali resta invariabile e l'altra va accrescendo successivamente, come dal limite esteriore  $ab$  perviene alla superficie  $AB$ ; e però il raggio comincia a piegare e a descrivere una curva, di cui la prima tangente è la sua direzione primitiva. Questa curva continua sino al limite inferiore  $a'b'$ , dove la variazione della forza attrattiva viene a mancare, ed allora il raggio ripiglia la sua direzione rettilinea  $II''$ , che è l'ultima tangente della curva descritta. Ma perchè questa curva è picciolissima, perciò da noi non si vede, e ci sembra che il raggio istantaneamente si spezzi. È in questo modo che calcolano i Newtoniani una siffatta curva, la celerità e la deviazione del raggio rifratto, e che dimostrano il rapporto della rifrazione essere indipendente dall'angolo d'incidenza, nè altro esprimere che il rapporto delle celerità che hanno le molecole luminose prima e dopo la loro immersione nel mezzo rifrangente. Anzi volendo calcolare la somma delle forze attrattive, dimostrano che questa è proporzionale alla



quantità  $\frac{n^2-1}{D}$ , indicando per  $D$  la densità del mezzo, e per  $n$  il rapporto della rifrazione. Però Newton pigliando una siffatta quantità per misura dell'intensità delle forze attrattive, la chiama *potere rifrangente de' corpi*.

128. Dopo che il raggio rifratto  $II''$  ha impresso la sua direzione rettilinea, nell'avvicinarsi alla superficie  $A''B''$  parallela alla prima  $AB$ , per uscire prova l'azione delle forze attrattive, e di cui sono limiti  $a''b''$ ,  $a'''b'''$  situati alla medesima distanza di  $A''B''$ , come erano i primi due da  $AB$ . Però il raggio  $II''$  giunto al limite  $a''b''$  comincerà ad essere deviato, e decomposta la sua celerità in due, l'una parallela e l'altra perpendicolare alla superficie  $A''B''$ , conserverà la prima invariabile, e avrà diminuita successivamente l'altra; giacchè le forze attrattive sono a questa parallele ed opposte, e questa diminuzione avrà luogo sino al limite esteriore  $a'''b'''$ . Dal che si vede che la curva  $II'$  sarà eguale all'altra  $I''I'''$ , perchè le forze sono d'eguale intensità ed estendono la loro azione alle medesime distanze. Altra differenza non vi ha se non che nello immergersi il raggio, le forze attrattive l'accelerano, e nell'emergere lo ritardano. E però la curva nell'immersione del raggio rivolge la concavità alla superficie  $AB$ , e nell'emergere la convessità. E siccome l'angolo d'incidenza  $t''$  è eguale a quello di rifrazione  $t'$ , perchè le due superficie  $AB$ ,  $A''B''$  sono parallele, e parallele sono le perpendicolari  $NT'$ ,  $N''T''$ ; così l'angolo di rifrazione  $t'''$  è eguale all'angolo d'incidenza  $t$ , o sia che il

raggio partendosi da  $I'''$  avrà una velocità costante ed eguale a quella con cui s'immerse lungo  $SI$ , che in altri termini si esprime, che il raggio emergente sarà parallelo al raggio incidente, ed avrà la medesima velocità. Si vede da ciò quale sia la ragione per cui il raggio talvolta in luogo d'emergere, come si è veduto nel num. 122, si riflette. Allora la sua celerità perpendicolare o nell'avvicinarsi alla superficie, o nella superficie medesima, o nell'atto che giunge al limite esteriore delle forze attrattive, potrà diventare nulla; e diminuita questa celerità, le forze attrattive proseguendo ad operare fanno torcere e ritornare il raggio, e però succede la riflessione nel mezzo istesso.

Ma quei che si tengono al sistema delle vibrazioni, lasciata l'attrazione, attribuiscono il rifrangersi della luce ad una diminuzione di celerità, cui ella è sottoposta nell'immergersi in un mezzo più denso. Ogni movimento di vibrazione, dicono essi, tanto più perde di celerità nel trasmettersi quanto il mezzo è più denso e meno elastico. Tale di fatto a creder loro è qualunque corpo diafano rifrangente. Perchè sia che le molecole de' corpi oppongono una difficoltà al movimento dell'etere che essi racchiudono, per cui questo fluido diviene meno elastico; sia che le molecole vibrando coll'etere formino un composto più denso, o pure che la quantità dell'etere che si trova ne' diversi corpi sia maggiore di quella che occupa lo stesso luogo nel vuoto; tengono per certo che un mezzo qualunque rifrangente sia più denso o meno elastico che l'etere solo o il vuoto. E però ne ricavano che la ce-

lerità della luce si debba diminuire quando penetra ne' mezzi rifrangenti. Ora questa diminuzione di celerità seco porta che diminuir si debba la lunghezza delle ondulazioni luminose, e perciò i raggi rifrangendosi debbono percorrere nel medesimo tempo degli spazj più piccoli. Questo venne dimostrato dall'Arago nell'esperimento degli specchi num. 70 e 71, facendo passare il raggio che si parte da  $S$  (*fig.* 22) per la lamina trasparente; perchè s'accorse che le frange cangiavan di posto, o sia che i punti d'interferenza eran diversi, e che le frange ivano all'incontro al fascetto de' raggi che avea traversato la lamina, perchè le ondulazioni luminose nel traversarla si erano accorciate. Anzi per gli sperimenti lo stesso Arago si fece a provare che un tal raccorciamento delle ondulazioni luminose ha luogo giusta il rapporto del seno d'incidenza a quello di rifrazione, il che i partigiani delle vibrazioni non solo ricavano dall'esperienza, ma dal principio ancora delle interferenze.

129. Sia di fatto  $AB$  (*fig.* 46) la superficie che separa i due mezzi, ne' quali per essere diversi la luce non si propaga con egual celerità, e sieno  $FG$ ,  $ED$  due raggi elementari che partendosi da un punto, che si considera infinitamente lontano, cadono paralleli sopra questa superficie. Egli è chiaro che guidata la normale  $GI$ , i moti corrispondenti delle ondulazioni dei due raggi incidenti arriveranno contemporaneamente in  $G$  e in  $I$ ; di modo che  $ID$  sarà lo spazio che il raggio  $ED$  dovrà percorrere di più per giungere alla superficie. Condotta poi per  $D$  la normale  $PD$  ad  $AB$ , sieno  $GK$ ,  $DL$  i raggi rifratti che

concorrer debbono ad un punto, rispetto all'intervallo  $GD$ , infinitamente lontano. Non vi ha allora dubbio che guidata la normale  $DM$  a questi due raggi, sarà  $GM$  la porzione di cammino che il raggio rifratto  $GK$  dovrà percorrere di più, che l'altro movendo dalla superficie per giungere al punto di concorso. Ora perchè i due raggi arrivar possano nello stesso tempo ad un tal punto, è di necessità che i due spazj  $ID$ ,  $GM$  siano percorsi nel medesimo tempo, o sia con celerità di propagazione a siffatti spazj proporzionale. E come le celerità di propagazione sono come le lunghezze delle ondulazioni; così è di necessità che quei due spazj sieno tra loro come le lunghezze delle ondulazioni. E però quando le lunghezze delle ondulazioni sono proporzionali a quegli spazj, i raggi giungono allo stesso punto nel medesimo tempo, e le loro vibrazioni sono perfettamente d'accordo. Ora preso  $GD$  per raggio,  $ID$  è il seno dell'angolo  $IGD$  che è eguale all'angolo di incidenza  $IDP$ , e  $GM$  è il seno dell'angolo  $GDM$  che è eguale all'angolo di rifrazione  $LDQ$ . E però le lunghezze delle ondulazioni debbono esser tra loro come il seno d'incidenza a quello di rifrazione, affinchè i raggi possano concorrere in unico punto ed essere le loro vibrazioni d'accordo. Ma non così avviene agli altri raggi elementari  $Gk$ ,  $Dl$ , che concorrono anche essi per una diversa direzione ad un punto assai lontano; perchè tirata tra loro la normale  $Dm$ , lo spazio  $Gm$  sarà più o meno di  $GM$ , e non potrà esser perciò trascorso nel medesimo tempo che  $ID$ . Di che dovrà venire un ritardo nel cammino d'uno de' raggi relativa-

mente all'altro. E perchè si può sempre pigliare  $G$  a tal distanza da  $D$ , che il ritardo o la differenza del cammino sia d'una semiondulazione, ne segue che i loro moti si neutralizzeranno. Per lo che è da stabilirsi che le vibrazioni luminose non si possono manifestare nel passare da un mezzo in un altro, che secondo la direzione che fa un angolo di rifrazione tale, che il suo seno stia a quello dell'angolo d'incidenza come le rispettive lunghezze d'ondulazione nel primo e nell'altro mezzo; di modo che chiamando queste lunghezze  $L'$ ,  $L$ , si ha  $L':L :: \text{sen } R:\text{sen } I$ . Non è dunque che tutti i raggi elementari passando da un mezzo ad un altro imprendono una direzione tale, che il seno dell'angolo di loro rifrazione stia a quello dell'angolo di loro incidenza  $:: L':L$ ; ma che que' soli sussistono, i quali conservano questo rapporto, e tutti gli altri si estinguono. È questa la maniera con che si dichiara la rifrazione, e la legge costante cui sia sottoposta la luce rifrangendosi nel sistema delle ondulazioni, e a tenore di questa maniera han proposto Arago e Fresnel più metodi coi quali si può riconoscere il diverso potere rifrangente dei corpi.

## CAPO VI. — DELLA RIFRAZIONE DELLA LUCE PER MEZZO DEI VETRI SFERICI.

130. Siccome la luce è deviata con egual forza, ma in senso contrario, all'entrare ed uscire d'un mezzo rifrangente a superficie parallele; così i raggi emergenti se-

guono la medesima direzione, o, come dicesi, restano paralleli ai raggi incidenti. Per lo che avviene che gli oggetti guardati a traverso dei vetri, le cui superficie son parallele, non sono in alcun modo alterati, e si veggono come se i vetri non vi fossero; al più quando sono guardati sotto una grande obliquità ci potranno comparire di cangiare alquanto di luogo, non già di grandezza e di rispettiva situazione. Ma non si avvera lo stesso allorchè le due superficie del mezzo rifrangente, invece d'essere parallele, sono l'una all'altra inclinate. La luce allora col rifrangersi imprende nuove direzioni, e produce fenomeni diversi: però poste già le leggi generali della rifrazione, andremo ora dichiarando in quali modi si rifrange la luce nei mezzi rifrangenti, le cui superficie sono inclinate. A tale oggetto tra i mezzi rifrangenti sceglieremo i vetri che si usano d'ordinario nelle cose ottiche, e tra questi quelli in prima le cui superficie sono curve, e in particolare porzioni d'una sfera, che si dicono *vetri sferici*, o *lenti*, e poi gli altri le cui superficie sono piane, ma inclinate le une rispetto alle altre, e portano il nome di *vetri prismatici*. Parleremo in somma in generale dei prismi, giacchè le lenti in sostanza non sono che una riunione d'un numero indefinito di prismi.

131. I vetri sferici si possono dividere per le loro essenziali proprietà in due specie, cioè in *vetri convessi* o di *convergenza*, e in *concavi* o di *divergenza*. I primi possono essere, 1.<sup>o</sup> doppiamente convessi, come in *b* (*fig. 47*). La forma di questo vetro è lenticolare, e però queste maniere di vetri si sogliono chiamare *vetri lenti-*

*colari*, o *lenti*; nome che portano in generale tutti i vetri sferici, massime quando sono piccoli. 2.<sup>o</sup> *Piano-convessi*, come in *a*. 3.<sup>o</sup> *Concavo-convessi*, come in *e*, i quali si dicono ancora *menischi* a cagione del loro profilo.

132. I vetri di divergenza sono, 1.<sup>o</sup> *doppiamente concavi*, come in *d*, 2.<sup>o</sup> *piano-concavi*, come in *c*; 3.<sup>o</sup> *convesso-concavi*, o *menischi*. Per questi vetri è da notarsi che hanno per raggio il raggio della sfera, cui appartengono come segmenti. Non debbono essere gran porzioni d'una sfera per produrre ben la visione, e si vuole a limite della loro estensione che l'arco del segmento sia al più eguale alla metà del raggio. Nel mezzo dei vetri piano-convessi o concavi o doppiamente convessi o concavi vi è un punto in cui le due facce opposte son parallele. Questo punto si chiama il *centro ottico* del vetro. Il centro della sfera, di cui son porzione i vetri, si dice il loro *centro geometrico*; la linea che guidata perpendicolare alle due facce passa pel centro ottico, e in cui si trovano i centri geometrici delle due facce, si appella l'*asse del vetro*. Allorchè il centro ottico e il punto d'intersecazione dell'asse sono esattamente nel mezzo del contorno esteriore del vetro, si dice che il vetro è *esattamente centrato*. Questa proprietà è necessaria per gli usi ottici, e siamo certi che un vetro l'abbia, quando facendosi muovere circolarmente in un piano perpendicolare al suo asse, gli oggetti non cangiano la loro posizione apparente.

Per conoscere quali effetti produca sulla luce la rifrazione per le lenti sferiche, si suole adoperare l'esperien-

za e la teorica. Per eseguire gli esperimenti si fa cadere il raggio in una camera oscura sopra una cassetтина di vetro, la quale non solo si empie d'acqua, ma porta nelle due opposte facce o estremità due aperture circolari, in cui si possono incastrare vetri o lenti di qualunque figura concava o convessa. Ma e più facilmente e meglio ci avverte del cammino della luce per siffatti vetri la legge già stabilita intorno alla rifrazione. I raggi che cadono obliquamente sul vetro convesso  $ABDG$  (*fig. 48*) si debbono rifrangere avvicinandosi alle perpendicolari  $CB$ ,  $CA$ , che si partono dal centro  $C$ , e sono raggi di curvatura. E però se i raggi come  $OB$ ,  $OA$  cadono divergenti, nel rifrangersi divengono meno divergenti, o pure paralleli, come  $BD$ ,  $AG$ , perchè s'avvicinano alle perpendicolari  $CB$ ,  $CA$ . Se poi cadono paralleli, come  $LB$ ,  $MA$ , per la stessa ragione diventano convergenti. E se in fine s'imbattono convergenti, come  $ZB$ ,  $XA$ , da incontrarsi al di là di  $C$ , allora avvicinandosi alle perpendicolari aumentano la loro convergenza; ma se s'incontrano, come  $NA$ ,  $IB$ , in  $C$ , allora non si rifrangono, perchè cadono perpendicolari; e solamente diventano meno convergenti, se, come  $QB$ ,  $PA$ , andassero ad incontrarsi in  $F$ , che è al di qua del centro di curvatura  $C$ , perchè allora avvicinandosi alle perpendicolari da  $F$  vanno ad incontrarsi in  $y$ .

133. Riguardando alla stessa legge di rifrazione, ove i raggi cadono sopra una superficie concava (*fig. 49*), egli è chiaro che posti i raggi di curvatura  $Cb$  prolungato in  $s$ , e  $Ce$  prolungato in  $q$ , che sono perpendicolari, i raggi



paralleli, come  $ab$ ,  $de$ , dovendosi a quelli avvicinare, divergeranno di più. Per la stessa ragione più divergenti si fanno i raggi divergenti,  $Qe$ ,  $Pb$ , e solo passano senza rifrangersi i raggi  $Cb$ ,  $Ce$ , perchè sono perpendicolari. Ma meno divergenti diventano dopo la rifrazione i raggi  $Re$ ,  $Rb$ , che si partono da  $R$ , punto più vicino alla superficie concava, che non è il suo centro  $C$ , perchè avvicinandosi alle perpendicolari men divergenti debbono divenire. E i raggi in fine convergenti  $Fb$ ,  $Fe$ , come quelli che si unirebbero in mezzo a  $Cs$ , e  $Cq$ , si fanno meno convergenti avvicinandosi a tali perpendicolari.

134. Si distinguono oltre a ciò i raggi che diconsi *principali*, i quali cadendo obliquamente sopra un vetro, o convesso-convesso, o concavo-concavo, passano pel loro centro ottico, ed è proprietà di questi raggi d'emergere in una direzione parallela a quella con cui s'imbattono sulla lente. Così  $DB$  (*fig. 50*) passando per  $E$  emerge per  $FG$  parallela a  $DB$ . Sia di fatto  $AEC$  l'asse della lente, e guidati paralleli i due semidiametri  $AF$ ,  $BC$ , si uniscano i punti  $F$ ,  $B$ ; dopo di che cada in  $B$  il raggio  $DB$ , che rifrangendosi passa per  $E$  ed emerge in  $FG$ . Si prolunghi in fine  $AF$  in  $R$ ,  $CB$  sino a  $Q$ ,  $DB$  in  $H$ ,  $BF$  sino a  $P$ : per lo che viene che l'angolo della prima incidenza in  $B = QBD = HBC$ , e quello della corrispondente rifrazione =  $CBF$ . Il secondo angolo d'incidenza in  $F = BFA = PFR$ , e l'altro di rifrazione =  $GFR$ . E però  $\text{sen } HBC : \text{sen } CBF :: 31 : 20$ , e  $\text{sen } GFR : \text{sen } PFR$ . Di più i triangoli  $AEF$ ,  $EBC$  sono eguali, e perciò l'angolo  $EFA = PFR = EBC$ , e l'angolo  $HBC = GFR$ . E siccome le rette

$AF$ ,  $CB$ , come quelle che formano colla secante  $FB$  angoli alterni interni eguali, sono parallele; così ne segue che  $HBC = HSR = GFR$ . Le rette adunque  $DH$   $GF$  sono parallele, perchè gli angoli  $HSR$ ,  $GFR$  sono eguali.

Ma se la grossezza della lente = 0; allora  $FB = 0$ , e il raggio principale si muove in linea retta senza rifrazione. Per lo che tra i raggi che cadono paralleli sopra una lente doppiamente concava o convessa ve ne avrà uno principale, che se la lente è sottile, passa senza rifrangersi.

135. Volendo ora applicare le verità che già abbiamo ricavato dalle lenti, considereremo due casi; cioè quando il punto raggiante è nell'asse, e quando fuori, ma vicino all'asse.

Sia adunque il punto raggiante  $O$  nell'asse (*fig.* 51), e cadano  $OP$ ,  $OD$ , vicinissimi l'un l'altro, sul vetro convesso  $PBD$ , il cui centro geometrico è in  $C$ . Il raggio, come quello che passa per  $B$  centro ottico del vetro e giusta la direzione dell'asse, va in  $C$ , e non si rifrange. Ma  $OD$  cadendo obliquamente si torce avvicinandosi alla perpendicolare  $CD$ . Quindi spezzandosi in  $D$ , piglia la direzione  $DF$ , in cui incontra il raggio  $OB$  prolungato. Che se dall'altra parte e colla stessa obliquità cadesse il raggio  $OP$ , questo dopo la rifrazione si andrà ad unire in  $F$  cogli altri due. Questo punto è il fuoco di que' tre raggi, e il vetro convesso, siccome è chiaro, è un vetro di convergenza.

Ma siccome i raggi possono cadere divergenti, paralleli, o convergenti, si vuol sapere con esattezza dove in

ogni caso va facendosi il loro fuoco e a quale distanza?

L'angolo d'incidenza  $EDO = NDC$  (fig. 51), e il corrispondente di rifrazione =  $FDC$ , per cui il seno di quello al seno di questo sta :: 31:20. Guidate quindi le perpendicolari  $CN$ ,  $CM$ , sul raggio incidente e rifratto, s'avranno prima i due triangoli simili  $BDF$ ,  $CFM$ ; nei quali supposto l'archetto  $DB$  indefinitamente piccolo, si avrà  $DF = FB$ . E però  $FB:DB :: FC = FB-BC:CM$ , o sia  $FB = \frac{DB(FB-FC)}{MC}$ . Si avranno dipiù i due altri trian-

goli simili  $ODB$ ,  $ONC$ , nei quali essendo  $OD = OB$ , si avrà  $OB:DB :: CO = OB+BC:NC$ . E però

$DB = \frac{OB \times NC}{OB+BC}$ . Ora trasportando questo valore di  $DB$

nella prima equazione, s'avrà

$FB = \frac{OB \times NC}{OB+BC} \left( \frac{FB-BC}{MC} \right)$ . La distanza focale  $FB$  si

chiami  $x$ , e  $CB$ , che è il raggio di curvatura,  $R$ ; e la distanza del punto raggiante  $O$  dal centro ottico  $B$  si chiami  $D$ ; allora l'equazione di  $FB$  verrà esprimendosi

$x = \frac{D \times NC}{D+R} \left( \frac{x-R}{MC} \right)$ . E siccome  $NC$ ,  $MC$  sono i seni d'incidenza e di rifrazione, che stanno :: 31:20; così si

avrà  $x = \frac{31 DR}{11 D - 20 R}$ . Data dunque la distanza del punto

raggiante dal centro ottico, e il raggio di curvatura, si definisce immantinente l'incontro dei raggi.

Se fosse  $D = \infty$ , e però i raggi  $OB$ ,  $OD$ , fossero para-

lelli all'asse in luogo di divergenti, ne seguirebbe  
 $x = \frac{31 R_\infty}{11 \infty}$ , perchè la quantità  $-20R$  sarebbe = 0 in ri-  
 guardo alla quantità  $11\infty$ , o sia  $x = \frac{31 R}{11}$ .

136. Questa formola ci dimostra e stabilisce il punto in cui i raggi paralleli all'asse si tagliano dopo la rifrazione. Una sì fatta distanza si chiama *distanza focale* del vetro, e si ritrova per mezzo del raggio della sua superficie e il rapporto di rifrazione. Che se in luogo di rivolgero al punto  $O$  la superficie convessa  $PBD$ , vi si rivoltasse la concava, la formola resterebbe la stessa, e solamente il raggio  $R$ , come quello che sarebbe volto in senso contrario, in luogo di pigliarsi positivo, sarebbe da farsi negativo. Per lo che la formola generale sarebbe

$$x = \pm \frac{31 DR}{11 D \mp 20 R}, \text{ e nel caso dei raggi paralleli}$$

$$x = \pm \frac{31 R}{11}.$$

137. Si può questa formola applicare ai vetri doppiamente convessi. Cadano divergenti e vicinissimi i due raggi  $OB$ ,  $OD$  (*fig. 52*) sulla lente  $PBRH$ . Il raggio  $OB$ , come quello che cade perpendicolare passando per l'asse, va senza torcersi in  $G$ , e il raggio  $OD$  si rifrange avvicinandosi alla perpendicolare  $DC$ , perchè  $C$  è il centro del vetro  $PBR$ , e però il raggio rifratto sarebbe  $Di$ , che prolungato andrebbe incontrando  $OB$  in  $G$ . Ma nell'uscire dalla lente il raggio  $Di$  si rifrange allontanandosi

dalla perpendicolare  $UQ$ , perchè  $Q$  è il centro di  $PHR$ . E però torcendosi il raggio  $Di$  piglierà la direzione  $iF$ , e andrà tagliando  $OG$  nel punto  $F$ . Si tratta adunque di definire tal punto o sia il fuoco  $F$ .

Distinguendo la prima dalla seconda rifrazione, si guidino dai centri  $C$  e  $Q$  le perpendicolari  $QL$ ,  $QS$ ,  $Cm$ ,  $Cn$ , sui rispettivi raggi incidenti e rifratti, che rappresentano i seni d'incidenza e di rifrazione, e si chiami  $g$  la doppiezza della lente, e  $y$  la distanza  $GH$ .

Ora, giusta il num. 135,  $GB = \frac{31 DR}{11 D - 20 R}$ ; e siccome  $GB = y + g$ , sarà  $y = \frac{31 DR}{11 D - 20 R} - g$ . Essendo simili i due triangoli  $FHi$ ,  $FQS$ , ne viene  $FH:Hi :: FQ:QS$ ; e  $FH = x:Hi :: x+HQ:QS$ . Però  $x = \frac{Hi}{QS} (x+HQ)$ .

Parimente per i due triangoli simili  $GHi$ ,  $GQL$ , ne segue prima  $Hi:QL :: GH:GQ :: y:y+HQ$ . E però il quale valore sostituito nell'equazione di  $x$ , darà  $x = \frac{y \times QL}{QS (y+HQ)} (x+HQ)$ .

Finalmente i due triangoli simili  $QiL$ ,  $QiS$ , ci danno  $QL:\text{sen } QiL :: Qi:1$ , e  $QS:\text{sen } QiS :: Qi:1$ . Sarà dunque  $QL:QS :: \text{sen } QiL:\text{sen } QiS :: 20:31$ . Per lo che designando il raggio di curvatura  $HQ$  per  $S$ , ne verrà  $x = \frac{20 xyS + 20 y}{31 y + 31 S}$ , e sarà  $y = \frac{31 Sx}{20 S - 11 x}$

Ora ponendo in equazione questo valore di  $y$  coll'al-

tro or ora ritrovato, ne risulterà

$$x = \frac{620 DRS - 220 gDS + 400 gRS}{341 DR + 341 DS - 121 gD + 220 gR - 620 RS}$$

e fatta  $g = 0$ , come quantità piccolissima,

$$x = \frac{620 DRS}{341 DR + 341 DS - 620 RS} . \text{ Anzi supposto } R = S \text{ o}$$

sia eguali i raggi di curvatura, ne verrà

$$x = \frac{620 DR^2}{682 DR - 620 R^2} . \text{ Per lo che, dividendo per } 62R,$$

sarà  $x = \frac{10 DR}{11 D - 10 R}$  . E come nel caso che la lente fosse

doppiamente concava, il raggio  $R$  sarebbe negativo; così

la formola in generale riesce  $x = \pm \frac{10 DR}{11 D \mp 10 R}$  .

138. È da questa formola manifesto: 1.° Che il fuoco nelle lenti doppiamente convesse è reale, eccetto che  $11D$  fosse minore di  $10R$ , perchè allora  $x$  risulta eguale ad una quantità negativa. Ed all'inverso il fuoco delle lenti doppiamente concave è sempre negativo, qualunque sia la distanza dalla lente in cui è situato il punto raggianti.

2.° Se i raggi  $OB$ ,  $OD$ , sono paralleli, o sia la distanza del punto lucido =  $\infty$ , sarà  $x = \pm \frac{10 DR}{11}$  . E come il fuoco dei raggi paralleli chiamasi *principale*; così la distanza focale d'un vetro simmetricamente doppio convesso o concavo è eguale al raggio della superficie, o più esat-

tamente =  $\pm \frac{10}{11}$  di questo raggio. Che se il rapporto della rifrazione si ponga :: 17:11, la distanza focale sarà espressa per  $\pm \frac{11}{12}$  del raggio.

3.° Se la lente è piano-convessa o concava, allora un raggio sarebbe =  $\infty$ , e fatto  $S = \infty$  la formola si trasformerà in  $x = \pm \frac{620 DR}{341 D \mp 620 R}$ . E perchè, ove i raggi lucidi cadono paralleli, la distanza  $D$  è infinita, così la distanza focale di un vetro piano-convesso o concavo =  $x = \pm \frac{20 R}{11}$ ; o, come altri lo esprimono, giusta il rapporto della rifrazione :: 17:11,  $x = \frac{11}{6}$  del raggio, o presso a poco al diametro.

4.° Se uno dei due raggi sia negativo, allora la lente è convesso-concava, o concavo-convessa, o, come dicesi, è un menisco; e la sua distanza focale può essere positiva o negativa, giacchè risulta eguale alla differenza dei fuochi delle due superficie.

139. Avendo adunque le lenti di convergenza un fuoco reale, è chiaro che ove cadono i raggi solari sopra di esse, questi saranno raccolti nello stesso modo che avviene negli specchi concavi. E però le lenti doppiamente convesse portano il nome di *ustorie*, *caustiche*, *ardenti*, al pari degli specchi concavi. Di queste lenti sono famose per la loro qualità ustoria quella di Tschirnausen e di

Hartoeker, che hanno quattro piedi di diametro, e l'altra di Trudaine, che porta dentro dell'alcool ed ha otto piedi di raggio. Gli artefici adoprano pure le lenti convesse nei travagli dilicati, perchè coll'ajuto di queste si raccoglie la luce, e veder possono con più chiarezza i piccoli oggetti.

140. Le lenti convesse, e principalmente le ustorie, che hanno la superficie almeno di 2, o 3 piedi, stan sottoposte all'aberrazione di sfericità per la stessa cagione che noi abbiamo dichiarato trattando degli specchi concavi (num. 86). E però non incontrandosi i raggi raccolti da queste lenti in un sol punto, ma in un circoletto lucido, ne nascono le caustiche per rifrazione, come negli specchi concavi han luogo le caustiche per riflessione. Gli effetti di queste lenti sono tanto più intensi, quanto più la loro superficie è estesa, e minore è lo spazio in cui raccolgon la luce. Se il fuoco è molto lontano dal vetro, il circoletto lucido si descrive assai grande, e perciò debole è la forza ustoria. In tale caso si suole adoperare un secondo vetro convesso, che si chiama *vetro raccoglitore*, il quale raccoglie la luce in uno spazio più stretto.

141. Ed all'inverso posto il punto lucido nel fuoco d'una lente convessa, i raggi rifrangendosi escono paralleli. Basta, a dimostrar ciò, che nella formula si sostituisca a  $D$  il suo valore  $\frac{10}{11}R$ , perchè allora il denominatore riducendosi a zero, il valore di  $x$  diventerebbe infini-



to, o sia i raggi dovendosi incontrare ad una distanza infinita uscirebbero in direzioni parallele. Con questo principio si sono oggi adoperati i vetri lenticolari convessi per illuminare a gran distanze, e si è trovato che la luce rifratta per questi vetri illumina più o meglio che non fa la luce riflessa per gli specchi concavi. Il Fresnel nel 1822 presentò all'Accademia di Parigi un apparato lenticolare per rendere luminosi i fari, che poi migliorò nel 1824 per via di lenti cilindriche; e così si è veduto che l'effetto dell'apparato a rifrazione è più che triplo di quello prodotto dai grandi specchi. Di fatto un'ora dopo il tramonto del sole l'apparato del Fresnel compariva alla distanza di 50 miglia così brillante quanto uno degli ordinarij fari inglesi alla distanza di 15 miglia.

142. La stessa formola in fine che noi abbiamo ritrovato pel fuoco d'un punto lucido collocato nell'asse, si può applicare ad un punto che è fuori ma vicino all'asse, come è il punto  $F$  nella *fig.* 53. Poichè essendo  $C$  il centro ottico, e  $HCE$  l'asse della lente convesso-convessa  $AB$ , se da  $F$  si parte il raggio  $FA$ , questo dopo la rifrazione piglierà la direzione  $Af$ ; e se da  $F$  si guidi una retta  $FC$ , che passa pel centro ottico, questa prolungata sarà tagliata dal raggio rifratto in  $f$ . E come  $F$  è vicinissimo all'asse, così senza error sensibile sarà  $FC = HC$ , o sia la distanza  $D$  tanto pel punto  $H$  collocato nell'asse, quanto per  $F$  fuori, ma vicinissimo all'asse, è eguale. E però data la medesima lente o sia il raggio medesimo di curvatura, la distanza focale  $x$  di  $H$  e di  $F$  sarà

$\pm \frac{10 DR}{11 D \mp 10 R}$  ; o, in altri termini, si può considerare  $Cf$  distanza focale di  $F$ , come eguale a  $Ch$  distanza focale di  $H$ .

143. Segue da ciò, che ciascun punto raggiante come  $F$  posto fuori dell'asse produce dopo la rifrazione un'immagine  $f$  situata sempre nella linea retta, che si può condurre da esso punto al centro ottico. E però se guidate  $FH$  e  $fh$  normali all'asse, rappresenta  $FH$  un oggetto raggiante; ciascun punto di questo oggetto avrà il suo fuoco, e la sua immagine in  $fh$ ; e l'immagine di ciascun punto si troverà nella linea retta, che si può condurre da questo punto verso il centro ottico. Ora questa linea retta in sostanza è un raggio principale che passa pel centro ottico senza che soffra rifrazione; e questo raggio principale è l'asse della piramide lucida che si muove dal punto raggiante. Per lo che come l'immagine dei punti lucidi che sono collocati sull'asse si forma sull'asse alla distanza focale, del pari alla medesima distanza si dipinge l'immagine del punto raggiante fuori dell'asse sul raggio principale, o sia asse delle rispettive piramidi lucide.

144. Si possono ora comprendere chiaramente i fenomeni delle immagini nelle lenti così di convergenza, che di divergenza. Ma per procedere cogli esperimenti si ponga una fiamma o un piccolo oggetto innanzi una lente convesso-convessa.

## Esperimento.

Ove la fiamma sia collocata tra la superficie della lente e il suo fuoco, l'occhio che è collocato dall'altro lato della lente, vede la fiamma più grande, diritta e più lontana che non è. Se poi si colloca la fiamma giusto nel fuoco, non sen vede alcuna immagine, ma solamente si distingue una luce viva che è capace d'illuminare gli oggetti lontani. Finalmente a misura che la fiamma si va portando più lontana dalla distanza focale, se ne va vedendo l'immagine rovesciata e più grande dell'oggetto; ma diventa eguale all'oggetto quando la fiamma è posta alla doppia distanza focale o doppio raggio di curvatura. Mantenendosi poi sempre rovesciata diventa più piccola dell'oggetto a misura che questo si va più allontanando, e finalmente l'immagine si dipinge nel fuoco quando la fiamma è posta ad una distanza molto lontana. Per lo che lo spazio in cui una lente caustica esposta al sole ne raccoglie i raggi, altro non è che una piccola immagine del sole che si forma nel fuoco della lente; ed i fenomeni delle lenti di convergenza sono del tutto eguali a quelli che abbiamo dichiarato parlando degli specchi concavi.

145. A spiegare questi fenomeni sia nella *fig. 55*  $AB$  il profilo d'un vetro convesso,  $C$  il centro ottico,  $DQ$  l'asse,  $D$  il fuoco anteriore,  $E$  il posteriore,  $FHG$  l'oggetto raggianti. Or quando questo è collocato tra la lente e il fuoco, come è nella *fig. 55*; allora il raggio  $FA$  parallelo all'asse cadendo sulla lente è rifratto verso il fuoco po-

superiore  $E$ , e il raggio  $FCI$  senza essere rifratto passa pel centro ottico. Questi raggi adunque partendosi da  $F$  divergenti perdono in parte dopo la rifrazione e non del tutto la loro divergenza, e non potendosi raccogliere non descrivono l'immagine del punto  $F$ . Accogliendosi adunque nell'occhio divergenti si raffigurano prolungati dal lato da cui son venuti, sinchè si vadano a tagliare in  $f$ , e si vede in questo punto l'immagine della fiamma, e in generale dell'oggetto  $F$ . Il che avverandosi per ciascun punto di  $FHG$ , si vedrà l'immagine  $fhg$  diritta, più grande e più lontana che non è l'oggetto, ma immaginaria e non reale, siccome si dimostra dal num. 138, in cui il valore di  $x$  nella formola diventa negativo. In quanto poi al farsi più lontana, è da riflettere che i raggi  $FA$ ,  $FC$ , facendosi nel passar per la lente men divergenti, si debbano più in là di  $F$  prolungare per incontrarsi, siccome abbiamo dimostrato parlando dei fenomeni della visione per mezzo degli specchi concavi. E quanto più lontana si viene a formare l'immagine, tanto più cresce di grandezza rispetto all'oggetto, come del pari si è dichiarato parlando degli specchi concavi. Ed in generale si può dire che la grandezza dell'immagine dipende dalla distanza in cui si vede, e questa distanza dipende da quella dell'oggetto, perchè quanto più l'oggetto s'allontana dalla lente e s'avvicina al fuoco, tanto men divergenti s'imbattono i raggi sulla lente, e la loro divergenza diminuendosi ancora dopo il passaggio per la lente, è di necessità che più lontano si prolunghino i raggi, affinchè si possano incontrare. Di fatto potendosi la formola da

noi stabilita nel num. 137 ridurre senza errore sensibile a  $x = \frac{DR}{D-R}$ , ne segue  $x$  distanza dell'immagine :  $D$  distanza dell'oggetto ::  $R:D-R$ . E come quanto più cresce la distanza dell'oggetto, tanto maggiore risulta la quantità  $D-R$ , e tanto più piccolo diventa  $R$  rispetto a  $D-R$ ; così nella stessa ragione diminuisce la distanza  $x$  dell'immagine rispetto alla distanza  $D$  dell'oggetto. La formola dunque, come quella che definisce la distanza dell'immagine, viene ancora a definirne la grandezza apparente, perchè questa dalle cose dimostrate cresce in ragione della sua distanza.

146. Se l'oggetto  $FG$  è posto (*fig. 54*) nel fuoco anteriore  $D$ , il raggio parallelo  $FA$  è rifratto verso  $E$ , e  $FC$  passa senza soffrire alcuna rifrazione. Ma come  $CE$  e  $FA$  sono eguali e parallele, perchè  $CE = CD = FA$ ; così  $CFAE$  forma un parallelogrammo, e i raggi  $AE$ ,  $CF$  sono paralleli, come si osservò coll'esperienza, e si può ricavare dalla formola nel num. 141.

147. Sia infine l'oggetto  $FG$  (*fig. 53*) più lontano della distanza focale anteriore  $DC$ ; allora i due raggi,  $FC$  che non si rifrange e  $FA$  che si rifrange, convergono passando per la lente, e prolungati si tagliano in  $f$ , e tutti i raggi che si partono da  $F$  s'incontrano in  $f$ . Laonde si descrive in  $fg$  un'immagine rovesciata dell'oggetto  $FG$ ; perchè le piramidi lucide che si partono dai punti estremi  $F$  e  $G$  dell'oggetto imbattendosi sulla lente si frastagliano nel centro  $C$ . La grandezza poi di questa immagi-

ne è proporzionale alla sua distanza, e questa risulta da  $x:D :: R:D-R$ . Che se è  $D = 2R$  o sia l'oggetto è collocato ad una distanza eguale al doppio raggio, verrà  $x:D :: R:2R-R = R$ , o sia la distanza e grandezza dell'immagine è allora eguale alla distanza e grandezza dell'oggetto. Ma l'immagine sempre più diminuendo di grandezza e distanza in riguardo a quella dell'oggetto, come questo si va portando al di là del doppio raggio di curvatura, giunge in fine nel fuoco della lente, allorchè si porta ad una distanza mille volte più grande del raggio di curvatura della lente. Perchè allora i raggi cadono paralleli sulla lente, e dopo la rifrazione s'incontrano, siccome abbiám veduto, nella distanza focale. Raccogliendo adunque tutti i fenomeni delle lenti di convergenza, sono questi da riferirsi alla distanza in cui è collocato l'oggetto dalla lente. Quando questo si porta dalla superficie della lente sino al suo fuoco, l'immagine sarà dallo stesso lato dell'oggetto, e perciò immaginaria e dritta, ma si va successivamente allontanando dalla lente sino all'infinito, e nella stessa proporzione va crescendo da una grandezza eguale all'oggetto sino all'infinito. Quando poi l'oggetto si porta dal fuoco sino al doppio raggio di curvatura, l'immagine si dipinge dal lato opposto dell'oggetto, reale e rovesciata, ma la sua distanza e grandezza va decrescendo dall'infinito sino ad una quantità eguale in distanza e grandezza a quella dell'oggetto. Finalmente quando questo si va allontanando dall'estremità del diametro sino a distanza indefinita, l'immagine si forma reale e rovesciata, ma la sua distanza

va scendendo dal doppio raggio al raggio, o sia dal diametro al fuoco, e la sua grandezza va diminuendosi da una quantità eguale all'oggetto sino ad essere indefinitamente piccola.

148. Come da ciò che abbiamo esposto è manifesto che i fenomeni delle lenti di convergenza sono eguali a quelli degli specchi concavi; così si può bene argomentare che i fenomeni dei vetri di divergenza sieno a quelli eguali degli specchi convessi. Di fatto sia  $AB$  (*fig. 56*) un vetro doppiamente concavo, e  $HD$  il suo asse,  $E$  e  $D$  i due fuochi negativi, e l'oggetto  $FG$  sia in  $H$ . Se dal punto  $F$  si guida il raggio  $FA$  parallelo all'asse, questo sarà rifratto per  $AK$ , e da parallelo che era diventerà divergente in modo che prolungato comparirà di venire dal fuoco  $E$ . E se dal medesimo punto si guiderà  $FCL$ , questo raggio passando pel centro ottico non soffrirà alcuna rifrazione. Per lo che i raggi  $AK CL$  divergono in modo che prolungati pare che vengano dal punto  $f$ , e in questo punto pare che s'incontrino tutti i raggi che si partono da  $F$ . E facendo lo stesso ragionamento per i varj punti raggianti dell'oggetto  $FG$ , si ha in  $fg$  la posizione e la grandezza dell'immagine che si vede a traverso del vetro. Di che è chiaro che i raggi lucidi trasmessi a traverso d'un vetro di divergenza formano delle immagini diritte, che sono più vicine e più piccole che non sono gli oggetti. La vicinanza delle immagini nasce da ciò, che i raggi passando per la lente emergono più divergenti, e nel prolungamento di questi raggi, che hanno acquistato una maggior divergenza, si riferisce il loro incontro in

un punto più vicino. La picciolezza poi proviene, come si è detto, da ciò, che le immagini si dipingono più vicino, giacchè la loro grandezza apparente è sempre proporzionale alla distanza; il che meglio si ravvisa dalla formola in cui  $x$  distanza dell'immagine :  $D$  distanza dell'oggetto ::  $R:D+R$ . Di modo che la distanza e grandezza dell'immagine rispetto a quella dell'oggetto va diminuendo nella stessa ragione che  $R$  riesce più piccolo rispetto a  $D+R$ , a misura cioè che cresce la distanza  $D$ . E come quando la distanza dell'oggetto  $D$  è infinita, o sia i raggi s'imbattono paralleli, l'immagine si forma nel fuoco della lente; così egli è chiaro qual sia il cammino dell'immagine, e la variazione della sua grandezza. Poichè quando un oggetto dalla superficie d'una lente concavoconvessa si va di mano in mano allontanando sino ad una distanza infinita, l'immagine, che è sempre dritta, si va scostando dalla superficie sino al fuoco della lente, e la sua grandezza apparente dall'essere eguale all'oggetto va in corrispondenza menomando sino a diventare nel fuoco piccolissima. Le quali proprietà tutte ben si corrispondono a quelle che han luogo nelle immagini che si formano per mezzo degli specchi convessi.

## CAPO VII. — DELLA LUCE RIFRATTA PEI PRISMI, E IN PARTICOLARE DELLA DISPERSIONE DELLA LUCE.

149. Volendo ora applicare le leggi generali della rifrazione ai prismi di vetro, che risultano da vetri piani



d'una convergenza finita, siccome abbiamo fatto per le lenti, egli è facile osservare in che modo ne sia deviata la luce, e quali effetti si producano o nella visione o nella luce medesima. Sia adunque  $CAB$  (fig. 57) la sezione verticale d'un prisma triangolare, il cui angolo  $A$  formato dalle due superficie  $AB$ ,  $AC$  dicesi l'angolo rifrangente, e  $CB$  la base del prisma. Or se il raggio  $DE$  cade sulla faccia anteriore  $AB$ , guidata la perpendicolare  $HI$  sul punto d'incidenza  $E$ , non vi ha dubbio che il raggio si rifrange nel vetro verso l'alto per la direzione  $EF$  avvicinandosi alla perpendicolare. E cadendo di poi  $EF$  sulla faccia posteriore del prisma, è chiaro che condotta la perpendicolare  $LK$  il raggio si rifrange un'altra volta verso l'alto nell'emergere dal prisma, allontanandosi dalla normale e pigliando la direzione  $FG$ . Dopo di che prolungato il raggio incidente  $DE$  indefinitamente verso  $N$ , e il raggio emergente  $FG$  sino che incontri  $ND$  in  $M$ , corre agli occhi di tutti che l'angolo acuto  $GMN$  venga ad indicare di quanto il raggio  $DE$  sia stato distolto dalla sua primitiva direzione dopo le due rifrazioni.

Ora per conoscere con certezza e facilità un siffatto angolo, si è questo riferito all'angolo rifrangente del prisma, e si è trovato che quello con questo si può benissimo riferire. Di fatto dato il rapporto dei seni degli angoli d'incidenza e di rifrazione  $:: n:1$ , supponendo, come facciamo, che l'angolo d'incidenza sia piccolissimo, e più piccolo ancora il corrispondente di rifrazione, si possono sostituire ai seni gli angoli stessi, e dire che l'angolo d'incidenza  $HED = LEM:LEF$  angolo di rifrazione  $::$

$n:1$ , e però  $MEF:LEF :: n-1:1$ . E per la stessa ragione essendo nell'altra superficie  $KFG = MFL:EFL :: n:1$ , sarà  $EFM:EFL :: n-1:1$ . Però da questa e da quella proporzione risulta  $MEF+EFM:LEF+EFL :: n-1:1$ ; e sostituendo alla somma dei due angoli del primo termine l'angolo  $NMG$  cui è eguale, e alla somma degli angoli del 2.º termine l'unico, cui è eguale,  $ILF$ , ne viene  $NMG:ILF :: n-1:1$ . Ora pel quadrilatero  $AELF$  essendo i due angoli in  $E$  e in  $F$  retti,  $ELF$  è supplemento dell'angolo  $EAF$ ; e come  $ELF$  è del pari supplemento di  $ILF$ , ne segue che  $ILF = EAF$ . Per lo che si avrà  $NMG:CAB :: n-1:1$ , o sia  $NMG = (n-1)CAB$ . Anzi essendo il rapporto di rifrazione del vetro  $:: 3:2 :: \frac{3}{2}:1$ , sarà  $n = \frac{3}{2}$ , e

$n-1 = \frac{1}{2}$ . E però  $NMG = \frac{1}{2}CAB$ . Il che ci mostra che il raggio  $DE$  è deviato dalla sua direzione primitiva d'una quantità presso a poco eguale alla metà dell'angolo rifrangente. E questa deviazione, o sia il valore dell'angolo che la misura, sarà invariabile nel medesimo prisma, ancorchè gli angoli d'incidenza venissero a variare, purchè conservassero una notevole picciolezza. Per lo che dati due prismi dello stesso vetro, ma che hanno angoli rifrangenti diversi, e posti angoli d'incidenza piccolissimi, le deviazioni cagionate da siffatti prismi saranno proporzionali ai loro angoli rifrangenti.

150. È facile dopo ciò il persuadersi che posto l'occhio in  $G$ , si vedrà il punto  $D$ , da cui si parte il raggio

*DEFG* nella direzione *GF* più basso che realmente non è, perchè il raggio è stato deviato, e la sua deviazione ha sempre luogo verso la parte opposta dell'angolo rifrangente del prisma. Ma se, poste le medesime circostanze, il prisma si rovesciasse in modo che l'angolo rifrangente fosse in alto, allora il punto *D* si vedrebbe più elevato che non è.

Noi abbiamo sinora supposto che i raggi sieno nel medesimo piano che è perpendicolare al prisma, ed in questo caso dalle cose già dimostrate egli è chiaro che il prisma altro non fa che trasportare gli oggetti da un luogo ad un altro, e tanto quanto è l'angolo di deviazione. Ma guardando a traverso il prisma situato in una posizione orizzontale, e in particolare a traverso una delle sue superficie rifrangenti come *AC*, allora tutti gli oggetti si veggono mutati di luogo, e quei che sono verso i lati più notabilmente degli altri, di modo che una linea orizzontale comparisce un arco concavo. Poichè non tutti i punti degli oggetti e in particolare di questa linea sono egualmente deviati, e quei che vengono dai punti estremi cadendo più obliquamente sulla superficie del prisma, si torcono nell'interno di più che i raggi non fanno, che dai punti di mezzo provengono. Ma sia che si guardi a traverso il prisma, nella prima o nella seconda circostanza, si osserva sempre che gli oggetti sono tinti di colori diversi. E questo fenomeno ci sospinge a far delle nuove esperienze per istudiarlo meglio, e cercare di dichiararlo.

## Esperimento I.

Se in una camera oscura s'introduce (*fig. 58*) il raggio lucido *S*, questo traversando il prisma si rifrange, e in luogo di formare l'immagine rotonda del sole in *D*, si dilata nel senso della rifrazione, e sparpagliandosi descrive un'immagine allungata, distinta sensibilmente nei sette colori coll'ordine con cui sono segnati, cioè rosso, aranciato, giallo, verde, azzurro, detto anche turchino o celeste, e violetto o violaceo, detto anche pavonazzo, che si chiama *spettro solare*; e questo fenomeno o limite dell'immagine allungata e colorata della luce dicesi *dispersione*.

Notando con esattezza tutte le circostanze della formazione dello spettro, è da attendere: 1.° Che la sua lunghezza è forse cinque volte più della larghezza<sup>7</sup>. 2.° Che le due linee laterali che vanno per lungo, sebbene non sieno ben definite, pure sono sensibilmente distinte. 3.° Le porzioni estreme superiori e inferiori hanno un contorno pressochè semicircolare. 4.° Che gli spazj colorati da ciascuno dei sette colori, che si dicono *prismatici*, non sono eguali, nè separati e distinti con esattezza. 5.° Che quanto più s'allontana dal prisma il cartone bianco, su cui si dipinge lo spettro solare, tanto più i colori si veggono distinti.

151. Ora a dichiarare siffatti fenomeni è da riflettere che i raggi della luce passando nel prisma si rifrangono due volte, e il raggio emergente per la doppia rifrazione

---

<sup>7</sup> La lunghezza dello spettro dipende dal potere rifrangente della materia di cui è composto il prisma. — *Gli Editori*.

deviando dalla sua direzione va a cadere più alto. Per lo che l'immagine del sole, in luogo di formarsi in  $D$ , deve dipingersi più alto a cagione del prisma. Ma siccome ciascun raggio di luce è composto d'infiniti altri che sono dotati di qualità diverse e più d'ogni altro di rifrangibilità diversa; così inegualmente si torcono dopo la rifrazione che soffrono nel traversare il prisma. Quei che meno s'allontanano dalla perpendicolare sono i raggi rossi, e quei che più ne vanno lungi sono i violetti, e gli altri intermedj più o meno giusta l'ordine in cui sono collocati. E siccome camminano tra loro divergenti; così quanto più lungi dal prisma s'imbattono sul cartone bianco, tanto più i colori si veggono distinti. Se la luce che passa nel prisma fosse o tutta verde o tutta rossa o tutta violetta, allora l'immagine del sole  $D$  si formerebbe o verde o rossa o violetta nel luogo d'ognuno di questi colori. Ma come è fornita di diversa rifrangibilità, così si allontana diversamente dalla perpendicolare, e sparpagliandosi forma l'immagine del sole allungata e distinta in colori diversi.

152. Lo spettro solare adunque non d'altro risulta che d'una quantità infinita d'immagini rotonde del sole poste le une sopra l'altre in tal modo, che ciascuna delle medesime si trova più alta di quella che la precede, come si può meglio osservare e con più precisione nella *fig. 59*. E sebbene non vi sieno segnate che le immagini che formano i sette colori; pure è da supplirsi coll'immaginazione una quantità indefinita e senza numero di immagini. D'onde proviene che all'occhio le linee late-

rali, le quali limitano lo spettro, compariscono rette. Poichè frastagliandosi tutti que' circoli indefiniti di numero, che sono d'egual diametro e assai vicini tra loro, ne nasce che dalle loro intersezazioni o sia da tanti archetti innumerabili e piccolissimi si formi una sola linea retta tangente comune a tutti i circoli di egual diametro. Non così può essere nell'estremità superiore e inferiore dello spettro, e però il contorno pare che sia quasi semicircolare. La larghezza poi dello spettro deve essere eguale al diametro dell'immagine solare  $D$ , e la lunghezza è definita dai limiti della rifrazione tra il rosso e il violetto.

153. La luce bianca adunque del sole rifratta da un prisma non ha una rifrazione uniforme, perchè i raggi violetti sono deviati più fortemente dei rossi, e questi meno dei gialli, de' verdi, e così di seguito. Per lo che la luce bianca del sole è divisa per la rifrazione in raggi di colori diversi, e la luce di ogni colore ha un rapporto di rifrazione diverso. Giusta Newton la luce violetta :: 1,56:1, la verde :: 1,55:1, e la rossa :: 1,54:1<sup>8</sup>.

### Esperimento II.

Passando la luce bianca del sole a traverso un prisma, si formi prima lo spettro solare, e poi si faccia questo cadere sopra una lente doppiamente convessa; si vedrà che lo spettro svanisce, e tutta la luce raccolta nel fuoco della lente si mostra di nuovo sotto la forma di luce

---

8 Questi rapporti valgono soltanto per la specie di vetro adoprata da Newton.  
– *Gli Editori.*

bianca. Ma al di là del fuoco di nuovo appaiono i colori sotto un ordine inverso, formando lo spettro sopra un cartone bianco.

Ciò avviene perchè la luce passando pel prisma si divide ne' raggi de' sette colori. Ma come la lente convesso-convessa raccoglie i raggi; così que' raggi colorati traversando la lente si riuniscono nel suo fuoco, e formano la luce egualmente bianca, come prima di passare pel prisma, dal quale poi camminando i raggi colorati più oltre si dividono di nuovo, e però di nuovo formano lo spettro colorato, i cui colori si veggono in un ordine inverso, perchè passando per la lente si sono frastagliati.

154. Egli è quindi chiaro che la luce sembra composta di molti raggi diversamente colorati, e forniti di diversa rifrangibilità; poichè il prisma la scompone, e la lente convessa torna a comporla. Di fatto la luce bianca si risolve nei sette colori prismatici, e questi raccogliendosi formano di nuovo la luce bianca.

### Esperimento III.

Se, formato per mezzo del prisma lo spettro solare, si porta successivamente ciascuno dei colori sopra uno specchio piano, concavo o convesso, o pure si fa passare a traverso d'un prisma o d'una lente qualunque, s'osserva che ciascun colore, sia per rifrazione, sia per riflessione, resta sempre lo stesso senza soffrire alcuna alterazione.

155. Da questo esperimento ricavò il Newton che i colori dei raggi separati dal prisma sono non modifica-

zioni accidentali, ma inalterabili della luce, perciocchè nè per rifrazione nè per riflessione si possono in alcun modo cangiare e alterare. Indi i colori dello spettro solare furon chiamati *primitivi* e *semplici*. Ma questa opinione del Newton, che in seguito fu adottata da tutti i fisici, è stata oggi da alcuni modificata; poichè son d'avviso non tutti i colori che si manifestano nello spettro, essere semplici, ma solamente alcuni. E per meglio comprendere perchè i colori prismatici si tengono dai Newtoniani per semplici, si raccolgano sopra un cartone, in unico punto i raggi rossi e gialli di due spettri solari formati con due prismi, ed allora si vedrà nel punto d'unione il colore arancio. Che se in luogo de' raggi rossi e gialli si raccolgono in un punto i violetti ed azzurri, ne risulterà il colore indaco, o pure il verde se i raggi raccolti fossero gli azzurri e i gialli. Ora se il colore che si vede pel raccoglimento delle due maniere di raggi, si osserva per mezzo del prisma, esso si scomporrà, e in luogo di vedersi l'aranciato si vedranno separati il rosso e il giallo, e distinti l'azzurro e il violetto, o pure l'azzurro e il giallo in luogo dell'indaco e del verde.

156. È chiaro da questo esperimento che il verde, l'indaco e l'aranciato dello spettro solare sono diversi dal verde, indaco e aranciato formati per composizione. I primi, siccome abbiamo veduto nel num. 155, non sono soggetti ad alcuna alterazione, sia che si rifrangono, sia che si riflettono; gli altri al contrario si risolvono e separano per mezzo della rifrazione e del prisma. È nata da ciò la distinzione dei colori *semplici* e *primitivi*,



e de' colori *composti* e *secondarj*. Poichè la luce di quelli non si può dividere per la rifrazione, e la luce di questi all'inverso si separa. E però quelli si dicono *omogenei*, e questi *eterogenei*.

157. Osservando il Newton che i sette colori erano differenti per la loro diversa rifrangibilità, volle conoscere quale fosse la differenza di rifrangibilità nei raggi che formano la scala di ciascun colore. Diede adunque a ciascun dei colori principali nel cadere sopra un prisma di vetro un'incidenza eguale, e ne suppose il seno diviso in cinquanta parti eguali, e poi definì il seno corrispondente di rifrazione che ha luogo nell'uscire che fa dal vetro ciascun colore: per i raggi rossi lo stabilì 77 di quelle porzioni in cui era diviso il seno d'incidenza, e pei violetti, che sono i più rifrangibili, 78. Sicchè in riguardo allo stesso seno d'incidenza i seni di rifrazione sono 77.  $77 \frac{1}{8}$ .  $77 \frac{1}{5}$ .  $77 \frac{1}{3}$ .  $77 \frac{1}{2}$ .  $77 \frac{2}{3}$ .  $77 \frac{7}{9}$ . 78. Per lo che la gradazione della rifrangibilità s'estende nella scala dei raggi rossi da 77 a  $77 \frac{1}{8}$ , in quella degli aranciati da  $77 \frac{1}{8}$  a  $77 \frac{1}{5}$ , nell'altra dei gialli da  $77 \frac{1}{5}$  a  $77 \frac{1}{3}$ , e successivamente nel modo che si è indicato nelle altre scale degli altri colori.

#### Esperimento IV.

Un prisma rettangolare *DCE* (*fig.* 60) i cui angoli *E* e *D* sieno di  $45^\circ$  si presenti al fascio di luce *AB*, in modo che esso cada perpendicolare sopra *DC*; allora, pel num. 123, una porzione della luce che entra nel prisma giunta in *F* si riflette, ed emergendo dal prisma si dirizzerà per

*FS*, dove incontrando il prisma *NMQ* si scompone, e andrà formando sul cartone *OP* lo spettro solare *TR*. Ma l'altra porzione della luce giunta in *F* si rifrangerà, e uscendo andrà a descrivere sul cartone lo spettro *IL*.

Stando le cose in questo stato, si mova il prisma *DCE* lentamente sul suo asse, e in modo che il fascio *AB* formi un angolo di  $45^\circ$  colla base del prisma *ED*; allora si vedrà che il color violetto *T* sul cartone *OP* si rafforzerà, e totalmente mancherà in *L* sul cartone *GH*. Di poi andranno mancando successivamente i colori intermedj dello spettro *IL*, e si andranno in corrispondenza ravvivando i colori intermedj dello spettro *TR*. Finalmente proseguendo a girare il prisma *DCE*, mancheranno i rossi in *I*, e diventeranno più vividi i raggi rossi in *R*. Sicchè mancherà tutto lo spettro *IL*, e diventerà più forte lo spettro *TR*.

158. Si comprende facilmente dal num. 123 in qual modo la rifrazione si possa mutare in riflessione. Quello che più d'ogni altro è da notare in tale esperimento, egli è che i raggi i più rifrangibili sono ancora i più atti a riflettersi, e i meno atti a riflettersi sono i meno rifrangibili. Per lo che i raggi che compongono la luce bianca non solo sono forniti di diversa rifrangibilità, ma altresì di diversa attitudine a riflettersi. Poichè il violetto, che è il più rifrangibile, è ancora il più riflettibile, e i rossi sono gli ultimi a riflettersi perchè sono meno rifrangibili, e tutti gli altri intermedj hanno il grado di loro attitudine a riflettersi corrispondente al grado di loro rifrangibilità.

159. Sebbene si dica che i raggi principali dello spet-

tro solare sieno colorati, non è perciò da credere che i raggi rossi sieno tinti in rosso, o di violetto i raggi violetti. Altro non s'intende indicare colle parole raggi verdi, rossi, azzurri, o altri, che la sensazione che noi sogliamo d'ordinario indicare co' nomi di verde, rosso, azzurro. E però quando si è notato sette essere i colori principali di cui è composta la luce bianca, si è voluto segnare che sette sono le maniere principali de' raggi omogenei, e atti ad eccitare in noi la stessa sensazione che d'ordinario eccitano i corpi tinti in rosso, verde, ed altri senza più. Non solo adunque i raggi componenti la luce solare sono differenti fra loro in rifrangibilità, e per la diversa loro attitudine a riflettersi, ma altresì per la differente loro forza e impressione che fanno sull'organo della vista.

160. Un'altra differenza si è notata nei colori principali, ed essa consiste nel diversamente illuminare gli oggetti che sono visibili. Herschell di fatto si accorse che facendo cadere successivamente porzioni eguali di ciascuno dei colori primitivi sopra una pagina d'un libro, questa non era egualmente illuminata, per cui dovea egli mettersi a distanze ineguali per leggerla distintamente. Bisognava avvicinarsi di più quando era rischiarata dai raggi violetti, meno quando era illuminata dai raggi indaco. Potea poi allontanarsi di più coll'azzurro e maggiormente col verde; sicchè la distanza più grande in cui gli fu concesso di leggere con distinzione, fu quella appunto quando i raggi verdi più chiari o i gialli più forti illuminavano quella pagina. Finalmente dovette di nuo-

vo avvicinarsi allorchè l'oggetto fu rischiarato da' raggi aranciati, e molto più quando da' rossi. Di che è chiaro, 1.º che diverso è il potere d'illuminare in ciascuno de' sette colori; 2.º che il *maximum* di potere illuminante è ne' raggi che sono vicini al mezzo dello spettro; 3.º che nei colori estremi dello spettro la facoltà d'illuminare è minima; 4.º che cresce dai violetti progressivamente sino al principio de' gialli, e da questi successivamente decresce sino ai rossi: e però la facoltà d'illuminare corrisponde in ciascun colore alla sua distanza dal punto intermedio dello spettro; 5.º che i raggi gialli sono alla verità i medj non per riguardo al sito, ma per rapporto allo splendore. Di fatto osservandosi lo spettro, è a chiunque manifesto che la luce è più debole dalla parte de' raggi violetti, che da quella de' rossi, perchè questi più che quelli avvicinarsi ai gialli; per i quali giusta Newton si ha il rapporto della rifrazione 17:11, o più esattamente 1,5454:1.

161. Dalle esperienze da noi riportate si comprende perchè i fisici abbian portato opinione che sette sieno i colori fondamentali. Ma in verità il Newton non ebbe per sette i colori, ma per sette le specie principali de' colori cui si possono riferire e a cui si possono ridurre, non altrimenti che a classi, tutte le degradazioni; perciocchè tenne che il grado di rifrangibilità degli estremi raggi violetti va insensibilmente decrescendo, siccome è chiaro dal num. 153 nella scala di ciascun colore e da un colore all'altro. Un cono di luce bianca passando a traverso il prisma si scioglie, secondo lui, in un numero infini-

to di coni, i cui assi formano tra loro un angolo piccolissimo, e le cui basi si frastagliano fra loro e in parte si confondono. Per lo che il colore de' raggi violetti nello spettro non è unico, ma una insensibile degradazione di violetto che va finire nell'indaco. L'indaco parimente varia per successive sfumature e finisce nell'azzurro. E così di mano in mano il colore de' raggi va cangiando per gradi da un cono all'altro dall'azzurro al verde, dal verde al giallo di grado in grado sino al rosso. Ciò non pertanto disse, giusta il linguaggio comune, sette essere i colori, e di ciascuno di essi misurò la lunghezza. Poichè pigliò una retta la cui lunghezza era eguale alla doppia lunghezza dello spettro, e sovrapponendone un'estremità sul limite esteriore dei raggi violetti, e il mezzo su quello de' rossi, andò computando la distanza dell'estremità lontana di questa retta prima in riguardo al limite esteriore de' raggi violetti, e l'esprime per 1, e poi di mano in mano rispetto al fine o limite di ciascun colore. In questo modo s'accorse che le rispettive distanze o lunghezze erano, come si vede nella *fig.* 58, 1,  $\frac{6}{9}$ ,  $\frac{5}{6}$ ,  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{2}{3}$ ,  $\frac{3}{5}$ ,  $\frac{9}{16}$ ,  $\frac{1}{2}$ , o sia nello stesso rapporto in cui sono le lunghezze d'una corda che rende i suoni della scala della musica. Per lo che alcuni vanamente pretesero di costruire un cembalo a colori, e di fare, dirò così, cantare i colori. Ma a dire il vero, sebbene una sì fatta proporzione avesse avuto luogo nell'esperienze del

Newton; pure non sempre s'avvera, perciocchè il rapporto dello spazio occupato nello spettro dai diversi colori è differente giusta le diverse sostanze delle quali è formato il prisma.

162. Contro la dottrina del Newton intorno ai colori prismatici si è lanciato in Germania un certo Göthe, che sostiene la luce non esser composta, e non altro aversi che luce bianca, e il nero che è privazione di luce. I colori che si producono dal prisma, non altro sono, a suo credere, che una sovrapposizione del nero sul bianco, o del bianco sul nero. Il bianco sovrapposto sul nero produce, a suo pensare, il celeste, e passeggiando sul nero produce giusta la diversità del cammino l'indaco e il paonazzo. Se poi il nero si pone sul bianco, produce il giallo, e giusta la diversità del cammino l'aranciato e il rosso. Ma un siffatto cammino e una siffatta produzione di colori attribuisce egli ad una potenza occulta del prisma. Molti sono i fatti che reca in sostegno di questa sua opinione, e contro la dottrina della composizione della luce. Ma tutte le ragioni ed esperienze sono state discusse e rigettate dai fisici, ed è oggi comune la sentenza esser la luce composta. Solamente si è in forse sul numero dei colori, dai quali risulta la luce bianca; giacchè dalle esperienze del Wünsch da Francfort, rassodate da quelle del Prieur e del Petrini, si ricava che non sette, siccome si è pensato, nè quattro, come vuole il Wollaston e il Weiss, sono i colori omogenei, ma semplicemente tre, e questi sono il rosso, il verde e il violetto. Scomponendo infatti il Wünsch que' colori che non avea potuto scom-

porre il Newton co' suoi prismi, ha trovato che l'indaco dà un'immagine porporina terminata superiormente da un violetto pieno, e inferiormente da un verde languido; l'azzurro un'immagine turchina terminata dal violetto e dal verde; il giallo un'immagine gialla terminata da un verde pallido e dal rosso chiaro; l'aranciato un'immagine aranciata terminata da un verde pallido e dal rosso. Per lo che è venuto in opinione che lo spettro solare risulti da tre spettri o immagini allungate di tre colori fondamentali: e come i raggi di ciascun colore non solo, a creder del Wünsch, sono dotati di diversa rifrangibilità, ma anche una parte della luce violetta è meno rifrangibile d'una parte della luce verde, e una parte di questa è più rifrangibile d'una parte della luce rossa; così quelle tre immagini si vengono tra loro gradatamente a sovrapporre e frastagliare. Indi è che gli estremi dello spettro sono occupati dal violetto e dal rosso, e il medio dal verde, e tutti gli altri colori dalla sovrapposizione e confusione dal rosso e verde, o pure del verde e violetto. Ma qualunque sia l'opinione che si segua sul numero dei colori omogenei, sieno essi sette o pure tre, come oggi comincia ad essere in voce, sempre egli è vero che la luce sia composta, e che dall'unione dei colori prismatici si ha la luce bianca.

163. Nè questa ricomposizione dei colori in luce bianca si opera solamente, siccome abbiamo veduto coll'esperienza, per mezzo d'una lente convessa, ma altresì coll'ajuto degli stessi prismi che la scompongono. Riunendo in fatti in senso inverso due prismi di equal mate-

ria e di eguali dimensioni, la luce che passa a traverso di loro emerge senza dispersione, o sia senza colori, e un siffatto prisma composto si chiama *acromatico*. Perchè essendo eguali i due prismi, e situati coll'angolo loro rifrangente in senso contrario, le dispersioni, che sono eguali, si fanno in senso del pari contrario. Si può ancora ottenere la distruzione dei colori per mezzo di due prismi che sono di materia diversa; riunendo cioè un prisma di *crown-glass*, vetro comune d'Inghilterra, e l'altro di *flint-glass*, che è un cristallo più puro, ed è fornito d'una forza dispersiva maggiore.

#### Esperimento VI.

Si pongano, come nella *fig. 61*, tre prismi, due de' quali di *crown glass* e l'altro di *flint*, in modo che la somma degli angoli rifrangenti *ABC*, *EDC*, dei primi due sia all'angolo rifrangente *DCB* del terzo situato in senso contrario nella ragione inversa delle dispersioni, o sia come la dispersione del flint a quella del crown-glass. Or cadendo il raggio *sp* sulla superficie *AB* di siffatto prisma composto, s'osserverà che il raggio emergente *PS*, che riuscirà senza colori, sarà inclinato all'incidente *sp* formando l'angolo *SPH*, e il punto visibile in luogo di vedersi in *s* si vedrà per via del raggio emergente *SP* più alto in *a*.

164. Basta richiamare alla memoria i principj già posti per ben comprendere la ragione di questo esperimento. Si fa prima la dispersione per *ABC*, e poi per *DCB*, da cui emerge il raggio colorato, perciocchè la disper-



sione per lo flint è maggiore di quella che ha luogo nel prisma  $ABC$  di crown-glass. Ma come queste dispersioni si fanno in senso contrario; così la dispersione del raggio che emerge dal flint è eguale alla loro differenza. E questa viene ad essere distrutta dal terzo prisma  $EDC$  di crown-glass, che è situato in riguardo al flint in senso contrario. I tre prismi adunque dell'esperienza distruggono i colori, come farebbero due della medesima materia, e con angoli eguali posti in senso contrario. Il raggio emergente essendo senza colori al par dell'incidente, egli è chiaro che i raggi colorati in questo ed in quello sono nella medesima posizione, o sia paralleli tra loro, e come si veggono in  $SP$  e in  $sp$ . Ma il raggio emergente privo di colori non può mai esser parallelo all'incidente, anzi con questo dee formare un angolo. Poichè non ogni colore è dotato della stessa rifrangibilità, nè la rifrazione di ciascun colore è proporzionale alla media de' raggi verdi. Per lo che se gli angoli de' tre prismi fossero in ragione inversa solamente della dispersione del color verde, ne seguirebbe che questo, distrutta la sua rifrazione, emergerebbe per  $QH$  parallelo al raggio incidente  $sp$ , ma sarebbe colorato, poichè gli altri colori non rifrangendosi in proporzione ai verdi, non si potrebbero distruggere e resterebbero dispersi. Ed al contrario, posti i prismi, come abbiamo fatto, nella ragione inversa delle dispersioni, o sia dell'eccesso di rifrazione del raggio violetto riguardo a quella del rosso, il raggio emergente distrutta la dispersione si vedrà senza colore: ma come il raggio medio o sia verde, che forma l'asse del pennello

lucido, non si rifrange a proporzione degli altri; così non ha distrutta per i prismi la sua rifrazione; e non potendo pigliare la direzione  $QH$  parallela al raggio incidente, viene con questo a formare un angolo. Si dà quindi dispersione senza rifrazione di raggio medio, ed all'inverso si dà rifrazione di luce bianca senza dispersione. Dopo di che è facile a comprendersi perchè il raggio  $PS$  emergendo senza colori formi un angolo col raggio incidente, e guardando per questo raggio si vegga in alto il punto  $a$ .<sup>9</sup>

165. Per conoscere come i matematici computino un

---

9 Per ben comprendere la teorica dell'*acromatismo*, di cui qui fa parola l'autore bisogna farsi un'idea chiara della differenza che passa fra *dispersione* e *rifrazione*. La *rifrazione*, come si è veduto, è il piegamento che subisce un raggio luminoso dal suo cammino rettilineo nel passare in un mezzo rifrangente; mentre la *dispersione* è l'inclinazione più o meno grande di cui i raggi d'un colore vengono allontanati in uno stesso mezzo da quelli dell'altro. Se per una sostanza rifrangente l'indice medio di rifrazione sia  $n$ , e quello relativo ad un altro colore sia  $n+x$ ; e per un'altra sostanza le stesse quantità sieno  $n'$ ,  $n'+y$ ; le grandezze  $x$ ,  $y$  sono proporzionali alle dispersioni operate dalle due sostanze, e l'espressione  $\frac{x}{y}$  dicesi *rapporto di dispersione*. Non tutti i corpi hanno egual potere *dispersivo* e *rifrattivo*; e la forza dispersiva d'un mezzo è in generale indipendente dalla forza rifrattiva; e quando una di queste due sia determinata, non si può in alcun modo dedurre l'altra. Due sostanze possono avere eguale forza rifrattiva, ed essere dotate tuttavia di differente forza dispersiva, come è il caso del crown e del flint-glass. Parimente l'olio di trementina rifrange meno del crown-glass, ma è più dispersivo di lui. Si noti inoltre che il potere dispersivo nei differenti mezzi non sta nello stesso rapporto per ciascun colore, e negli spettri fatti da prismi di egual angolo rifrangente, ma formati di differente sostanza, i colori sotto l'egual angolo d'incidenza non vengono divisi nello stesso modo. Quando, p. e., la dispersione dei raggi rossi nel crown-glass sta a quella del flint-glass come 10:19; i raggi violacei possono nella stessa specie di vetri essere dispersi nel rapporto di 10:21. — *Gli Editori*.

si fatto angolo, sieno nella *fig. 62*  $CAB, ABD$  due prismi di cristallo di diverso potere rifrangente posti in senso contrario. Sia nel primo il rapporto di rifrazione  $:: n:1$ , e nell'altro  $:: m:1$ , e il raggio incidente  $EF$  cadendo sopra  $AC$  emerga per  $HI$  facendo il cammino  $EFGHI$ ; e come gli angoli si suppongono picciolissimi, così si possono a questi applicare i rapporti costanti. Ora prolungati il raggio incidente ed emergente sino che s'incontrano in  $Q$ , i matematici dimostrano che l'angolo  $IQR$ , o sia l'angolo che forma il raggio emergente senza colori coll'incidente  $= (n-1)CAB - (m-1)ABD$ . Chiamati gli angoli rifrangenti dei prismi con  $A, B$ , si guidino sui punti  $F, G, H$  le perpendicolari incidenti  $KL, SM, NO$ , e si prolunghi la prima sino che tagli l'altra in  $L$ , e questa la terza in  $N$ . E come, pel num. 149,  $SLF = A$ , e  $HNG = B$  si avrà  $LFP:FLG :: n:1$ . E perchè  $LFR = EFK = F$ ; perciò  $LFG = \frac{1}{n}F$ , e però  $LGF = SLF - LFG = A - \frac{1}{n}F$ .

Di più essendo i due angoli di rifrazione in due vetri di diverso potere  $:: m:n$ , sarà  $LGF:HGM :: m:n$ , e perciò

$$HGM = \frac{n}{m} \quad LGF = \frac{n}{m} A - \frac{1}{m} F, \text{ e quindi } NHG = HGM - HNG = \frac{n}{m} A - \frac{1}{m} F - B.$$

Finalmente essendo  $HNG:IHO :: 1:m$ , si avrà  $IHO = mNHG = nA - F - mB$ , e però  $IQR = QHP + HPQ = QHP + FGP + PFG$ . Ora pigliando i valori di queste tre quantità, si ha 1.º  $QHP = IHO - NHG =$

$$nA - F - mB - \frac{n}{m}A + \frac{1}{m}F + B .$$

$$2.^{\circ} FGP = HGM - LGF = \frac{n}{m}A - \frac{1}{m}F - A + \frac{1}{n}F .$$

$$3.^{\circ} PFG = EFK - LFG = F - \frac{1}{n}F .$$

Raccogliendo adunque, si avrà l'angolo sotto cui è distornato il raggio incidente dopo tutte le rifrazioni dalla sua prima direzione, o sia  $IQR = (n-1)A - (m-1)B$ .

166. Ora essendo paralleli tutti i colori nel raggio emergente, che è senza colori, come lo sono nel raggio incidente, ne segue che il raggio emergente verde fa un angolo coll'incidente eguale a quello che forma il raggio emergente, o violetto, o rosso, o aranciato, o altro col'incidente; per lo che posti i rapporti di rifrazione ne' due prismi di  $n:1$ , e di  $m:1$  per i raggi verdi, che diconsi di media rifrangibilità, e di  $N:1$  e di  $M:1$  per i raggi violetti, che sono i più rifrangibili, si avrà  $(n-1)A - (m-1)B = (N-1)A - (M-1)B$ ; e però  $(N-n)A = (M-m)B$ ; o sia  $M-m:N-n :: A:B$ : e come giusta l'esperienza del Dollond i prismi di crown-glass e di flint-glass distruggono i colori, allorchè  $A = 30$ , e  $B = 19$ ; così rispetto a queste due sostanze si ha  $N-n:M-m :: 19:30$ , o presso a poco  $:: 2:3$ , perchè così gli angoli rifrangenti sono in ragione inversa della rispettiva dispersione del flint e del crown-glass. Poichè è chiaro che  $N-n$  e  $M-m$  sono la misura della dispersione dei colori. Ma questi valori son diversi nei diversi mezzi, e non si possono ritrarre che dalla sola

esperienza. Di fatto Zeiher da Pietroburgo ha trovato che aggiungendo al vetro un poco d'ossido di piombo, la dispersione dei colori cresceva notabilmente, sebbene la rifrazione media fosse stata pochissimo alterata. Per formarsi quindi il prisma acromatico è da pigliarsi il rapporto degli angoli nella ragione inversa non già dei raggi verdi, ma dei poteri dispersivi; e questi non potendosi ritrarre per una legge generale, sono da ricavarsi dalla esperienza per ogni maniera di vetro, come fece Dollond.<sup>10</sup> Tutti questi fenomeni della dispersione o

---

10 All'accurata determinazione della dispersione dei raggi colorati prodotta dalle diverse sostanze rifrangenti, hanno moltissimo contribuito le indagini sulla luce istituite da Fraunhofer. Egli collocò in una camera oscura un prisma verticale innanzi all'obbiettivo d'un cannocchiale acromatico, e per un piccolissimo foro fece cadere orizzontalmente sopra il prisma stesso un raggio luminoso, disponendo l'istrumento in modo che, levato il prisma, si veda chiaramente col cannocchiale il pertugio. Facendo cadere lo spettro, prodotto dal prisma, dentro il cannocchiale, se il si esami guardando dalla parte dell'oculare, si rinviene, come ha trovato Fraunhofer, il fenomeno seguente: si scopre una moltitudine di linee alcune grosse ed altre sottili, alcune nere ed altre chiare, distribuite nei differenti colori dello spettro in modo particolare. Queste linee si presentano sempre collo stesso ordine, di qualunque sostanza sia composto il prisma, e per qualunque angolo rifrangente egli abbia. Il numero delle medesime però, come le loro scambievoli distanze aumentano in proporzione della grandezza dello spettro solare, e variano nelle differenti sostanze. L'autore si assicurò in varj modi che queste linee non dipendevano da un'ottica illusione, nè da imperfezioni dei vetri; ma occupa ciascuna un posto determinato nello spettro. Non trovansi le dette linee nei confini dei colori; ma quasi sempre da un lato e dall'altro delle medesime si riscontra lo stesso colore, che per gradazioni insensibili viene continuamente alterandosi per passare da uno in un altro colore. Tutte le particolarità di questo fenomeno possono vedersi negli *Annalen der Physik* di Gilbert, fascicolo VII dell'anno 1817 e fascicolo VIII dell'anno 1823; come pure nell'opera di Santini, *Teorica degli strumenti ottici*, volume I, pag. 18 e seg. Ora ciò che qui dobbiamo far osservare, si è che se i confini dei raggi prismatici nello spettro si potessero determinare esattamente, si

composizione della luce sono stati da noi sinora dichiarati ed espressi giusta il sistema e il linguaggio dei Newtoniani, che vogliono le molecole della luce dotate di diversa forza attrattiva in riguardo a materie diverse; giacchè la luce si scompone, a loro giudizio, perchè le molecole della luce di natura diversa diversamente sono attratte.

167. Ma per altri principj e con diverso linguaggio si spiegano gli stessi fenomeni da quei che seguono il sistema delle ondulazioni. È sentenza di costoro che i colori diversi risultano dalle lunghezze diverse delle ondulazioni; ed avendo queste misurato per ciascun colore, han trovato che il raggio rosso l'avea massima, e il violetto minima. E perchè queste vibrazioni, che sono unite nella luce bianca, nel rifrangersi si propagano, siccome si è notato al num. 129, con varia celerità; così si manifestano i colori diversi, i quali sovrapponendosi poi per mezzo d'una lente convessa vengono di nuovo ad eccitare la sensazione della luce bianca. Soggiungono di più che le onde, la cui lunghezza eccede 6, o 7 diecimillesimi di millimetro, sono invisibili per noi, e si danno solo a conoscere per l'azione che eccitano di calore. Però

---

avrebbe anche la grandezza di dispersione di questi raggi, data la distanza del prisma dallo spettro, e l'angolo di rifrazione del prisma stesso. Ma atteso l'indeterminazione di quei limiti non si può far uso d'un tal mezzo. Parimente non si può determinare a rigore l'angolo che farebbe ciascun raggio colorato con quello non rifratto. Ora, secondo le sperienze di Fraunhofer, ravvisandosi distintamente nello spettro delle linee e delle strisce determinate per ciascun corpo rifrangente, si potrà dietro le medesime stabilire il potere rifrattivo per ogni raggio colorato, o la dispersione dei raggi medesimi. — *Gli Editori.*

nello spettro solare vi è una forza calorifica che ci dimostra, come si vede nella *fig.* 58, nel colore rosso, e al di là nella porzione oscura. Di modo che il calorico che accompagna la luce non è altro che una vibrazione che non si può ravvisare dall'occhio. Ammettono del pari delle onde, la cui lunghezza è minore di 4 diecimillesimi di millimetro, e di cui ignoriamo i limiti, che non si possono del pari avvertire cogli organi della vista, e solamente si conoscono per le loro azioni chimiche. Queste onde o raggi si trovano verso il color violetto e al di là, come si vede nella *fig.* 58. Di fatto il muriato d'argento, che è di color bianco, situato successivamente nei primi sei colori dello spettro cominciando dal rosso, non si muta, e piglia tosto il color nero quando è esposto ai raggi violetti. Un raggio violetto al par della luce bianca fa scoppiare con violenza un mescuglio di porzioni eguale di cloro e d'idrogeno, e ciò non si può operare col rosso, la cui lunghezza d'ondulazione è quasi doppia. Si sono quindi distinti i raggi a colore dagli altri che si dicono chimici, e dai calorifici per la natura diversa delle molecole lucide giusta i Newtoniani, e per le diverse lunghezze delle onde giusta coloro che si tengono alle vibrazioni.

## CAPO VIII. — DEGLI ANELLI COLORATI E DEI DIVERSI COLORI DEI CORPI.

168. Il prisma non è il solo mezzo che abbiamo per

iscomporre la luce in diversi colori, ma un effetto simile si può produrre dalle lamine sottili dei corpi trasparenti. Di fatto le bolle di sapone, i vetri gonfiati alla lucerna, l'olio alla superficie dell'acqua, la mica, il carbonato di calce trasparente e altre sostanze, ove sieno bene assottigliate, ci manifestano de' colori vividissimi, e famosi sono gli esperimenti con cui il Newton trasse i colori della luce dagli strati sottili d'aria compresi tra due vetri. Pose egli una lente convesso-convessa d'un diametro assai grande, cioè di 1 o 2 piedi inglesi sopra la faccia piana d'una lente egualmente ampia e piano-convessa, e poi strinse alquanto l'una contro l'altra. Fece quindi cadere sulla lente superiore la luce sotto un angolo d'incidenza di  $4^\circ$ , e situò l'occhio a perpendicolo alla distanza di 8 pollici dal vetro, e di 1 dai raggi incidenti. In questo modo si accorse che nel punto di contatto delle due lenti aveavi una macchia nera trasparente, la quale era cinta a distanze diverse da circoli o anelli colorati, i quali alternavano con altri anelli scuri che aveano ancor essi la macchia per centro.

Gli anelli colorati, che diminuiscono di vivacità come si allontanano dalla macchia nera, si succedono nell'ordine seguente. Nel primo ordine, celeste, bianco, giallo, rosso; nel secondo, paonazzo, celeste, verde, giallo, rosso; nel terzo, indaco, celeste, verde, giallo, rosso; nel quarto, verde, rosso; nel quinto, celeste-verdognolo, rosso; nel sesto, celeste-verdognolo, rosso pallido; e nel settimo, celeste-verdognolo, bianco-rosso. Dopo di che vedonsi altre serie d'anelli, ma sempre meno ampie e



più languide quanto più s'allontanano dalla macchia centrale.

169. I diametri di questi anelli misurati dal Newton nella parte più brillante delle orbite aveano un rapporto tra loro, perciocchè i loro quadrati seguiano la ragione de' numeri impari 1, 3, 5, ec.; dal che si ricava che la loro differenza iva menomando come crescea la loro distanza dalla macchia centrale. Dalla misura poi dei diametri degli anelli scuri interposti ai colorati si avvide che i quadrati di sì fatti diametri cominciando dalla macchia centrale seguiano la ragione dei numeri pari 0, 2, 4, ec. E siccome le grossezze degli strati aerei compresi tra le lenti, e corrispondenti ai diversi circoli colorati o scuri, sono come i quadrati dei diametri; così quelle grossezze seguono del pari la ragione dei numeri impari, o pari.

Questi anelli colorati si osservano nello stesso ordine, sia che si muti la grandezza delle lenti, o la qualità dei vetri, e solamente si mostrano più ampj giusta l'obliquità dei raggi incidenti che fan dilatate i colori.

170. Variò Newton l'esperienza riguardando le due lenti non già per luce riflessa, ma trasmessa, ed osservò alcune differenze. Poichè vide che quella macchia, la quale per luce riflessa si manifesta nera, apparisce bianca, ed è circondata da una serie di circoli colorati, cioè rosso-pallido, nero, paonazzo, celeste; bianco, giallo, rosso, paonazzo, celeste; verde, giallo, rosso, verde tendente al celeste, rosso; ed altri in appresso che riescono tanto più languidi quanto più lontani.

171. Finalmente, in luogo di fare le esperienze colla luce bianca, fece cadere sulle due lenti ad uno ad uno i colori del prisma, e conobbe che ogni raggio omogeneo producea tanto per riflessione che per trasmissione degli anelli del suo colore separati da anelli scuri, ed in maggior numero di quei che si formavano dal raggio bianco. Ma gli anelli che si vedeano scuri per colore riflesso, guardando le lenti per luce trasmessa, si manifestavano coloriti, ed all'inverso. Misurando poi i diametri di sì fatti anelli, trovò che i quadrati degli anelli lucidi e scuri, siccome si era osservato colla luce complessa, eran tra loro nella ragione dei numeri impari, o pari; di modo che nella stessa ragione erano le grossezze corrispondenti degli strati d'aria. Aveano infine questi anelli la minima larghezza coll'incidenza normale, e si dilatavano col crescere l'obliquità dell'incidenza; ma gli anelli di ciascun colore crescevan gradatamente di diametro, come diminuiva la loro rifrangibilità.

172. A dichiarare sì fatti fenomeni degli anelli colorati, Newton ed i suoi seguaci portano opinione che ogni molecola luminosa acquista, nel traversare un mezzo che rifrange, una certa disposizione passeggera ad essere più presto trasmessa che riflettuta, o pure all'inverso. Ma questa disposizione si produce alternativamente e ad intervalli eguali; sicchè la stessa molecola, la quale da prima è disposta ad essere trasmessa, di poi piglia un'attitudine ad essere riflettuta, e quindi ritorna ad acquistare la facilità di trasmissione, e di nuovo quella di riflessione, e così di mano in mano va periodicamente alter-

nando dalla facilità di trasmissione all'altra di riflessione, ed all'inverso. Si vede quindi che la molecola alternando il suo stato in tutto il cammino che fa nel medesimo mezzo, giunge alla seconda superficie in una disposizione diversa ad esser trasmessa, o pure a riflettersi, giusta le varie alternative che ha avuto. Ma queste successioni eguali e periodiche di stato, che pigliano origine da qualche modificazione fisica che s'imprime ad ogni molecola luminosa, per la prima superficie rifrangente, non si fanno istantanee, ma crescono o decrescono a poco a poco e gradatamente. Poichè le molecole lucide perdono per gradi la facilità di trasmissione per acquistare la contraria di riflessione, la quale da prima è debole, e poi crescendo successivamente giunge al *maximum*; dopo di che va decadendo insensibilmente sino che passa allo stato di trasmissione, che di nuovo per gradi s'aumenta, e poi declina. Ora partendosi le molecole lucide dal corpo luminoso, o da altro, in cui si rifrangono, ancorchè sien fornite d'eguale celerità, pure hanno intervalli di facile trasmissione o riflessione ineguali, nè tutte si trovano nello stesso stato di facile trasmissione o di facile riflessione, e quelle stesse che sono nel medesimo periodo, non sono tutte nello stesso grado, ma chi nel principio o nell'aumento, chi nel *maximum* o nel finire della facile riflessione o trasmissione. Ora non basta che le molecole lucide sieno in tale o tale altra disposizione per poter essere o trasmesse o riflesse dalla prima superficie d'un mezzo cui s'avvicinano; ma è di necessità che si riguardi alla forza che in quella su-

perficie produce la riflessione. Potrà esser questa assai o poco energica giusta la varia natura dei corpi rifrangenti, e a tenore dei gradi diversi della sua forza produrre effetti diversi. Quando è forte, può non solo produrre la riflessione delle molecole che sono nello stato di facile riflessione, ma eziandio di quelle che sono nel principio o sul fine del periodo di facile trasmissione. Ed all'inverso può esser così debole che non solo lascia passare le molecole che si trovano nello stato di trasmissione, ma ancora quelle che sono nel cominciare o nel finire del periodo di facile riflessione; perchè manca della forza necessaria a vincere la celerità delle molecole lucide, e a farle tornare indietro per la via per cui sono venute. Di che avviene, che sebbene le molecole sieno nello stato di più facile o riflessione o trasmissione, non ne segue che debbano essere necessariamente riflesse o trasmesse; e l'attitudine loro all'uno o all'altro stato non importa necessità, ma facilità ad essere o riflesse o trasmesse. È questo il senso giusta cui Newton recò innanzi il famoso principio degli accessi di facile trasmissione e di facile riflessione.

173. Spiegano con queste idee i Newtoniani, perchè d'ordinario non abbia luogo trasmissione di luce senza riflessione, ed al contrario riflessione senza trasmissione; giacchè tra le molecole lucide, che s'avvicinano ad una superficie, ne suppongono sempre di quelle che stansi in ogni maniera d'accesso, e che sono quindi vinte dalla forza riflettente, o pur questa vincono. Ed è del pari in questo modo che distinguono due maniere di ri-

flessione: l'una che avviene dopo che la luce ha traversato una spessezza sufficiente d'aria, e prima che le sue molecole giungano al corpo che riflette; e l'altra che nasce dalle molecole che penetrando la superficie del corpo si riflettono da una certa profondità. La prima, che chiamano *speculare*, nasce dall'azione in distanza che esercita un corpo qualunque che riflette, e dà sempre luce bianca, se il raggio incidente è bianco, o pure il colore che ha il raggio incidente, perchè tra i raggi di ciascun colore vi han sempre quelli che sono nell'accesso di facile riflessione. La quantità sola del colore riflesso o della luce bianca riflessa può variare, come varia l'energia della forza riflettente, di cui ciascun corpo è dotato. L'altra riflessione poi nasce da una porzione di luce colorata, che si disperge da ogni lato nello spazio, e giunge talvolta, quando è abbondante, a indebolire alquanto la bianchezza della prima specie di riflessione senza che la distrugga.

174. Entrando i raggi, quale che ne sia la specie, in un mezzo trasparente, conservano sempre la loro disposizione ad essere riflessi o rifratti in forza degli accessi di facile riflessione o trasmissione; ma le lunghezze di questi accessi sono varie per i diversi raggi, cioè sono minori per i raggi più rifrangibili e van successivamente crescendo al menomare della loro rifrangibilità. E sebbene si conservino costanti nello stesso mezzo; pure se i raggi passano da un mezzo ad un altro, vengono a cambiare. Newton di fatto dimostrò che quando passano perpendicolarmente da un mezzo ad un altro, le lun-

ghezze degli accessi in un mezzo sono agli stessi intervalli in un altro quale che si fosse mezzo, come il seno d'incidenza a quello di rifrazione nel passaggio della luce dal primo al secondo. Or queste lunghezze furono ricavate da Newton dalla esperienza, o sia dalla grossezza del mezzo in cui si riflette o trasmette il raggio d'un colore qualunque. Indicata quindi colla lettera *g* la grossezza che produce la riflessione d'una qualche specie di raggi, si è stabilito che lo stesso raggio conserva una tendenza ad essere riflesso da tutte le grossezze e a tutte le distanze dalla superficie rappresentate da *3g*, *5g*, *7g*, ec., e ad essere trasmesso alle distanze *2g*, *4g*, *6g*, ec.; perchè gl'intervalli alternano e sono eguali. Ma l'una o l'altra tendenza non ha il suo effetto che presso la seconda superficie, perchè in questa, che è in contatto col mezzo adjacente, sono riflesse le particelle lucide che si trovano in un accesso di facile riflessione; e le altre, che sono in accesso di facile trasmissione, si rifrangono passando nel mezzo adjacente.

Le molecole che sono riflesse dalla seconda superficie giungono alla prima in un accesso di facile trasmissione, se il cammino fatto movendo da quella a questa racchiude un numero impari d'intervalli; ed al contrario giungono in un accesso di facile riflessione, se questo numero è pari. Poichè nel partire della seconda superficie, finito l'accesso di facile riflessione, comincia l'altro, di facile trasmissione, che si può esprimere per *g*, e va alternativamente tornando a *3g*, o *5g*, ec.; ed al contrario stanno a questi accessi di facile trasmissione interposti

quelli di facile riflessione a  $2g$ ,  $4g$ ,  $6g$ , ec. E però nei due cammini che fanno i raggi, l'uno dalla prima alla seconda superficie, e l'altro nel ritorno da questa a quella, gli accessi di facile riflessione e trasmissione sono in senso opposto, perchè gli accessi di riflessione nel primo cammino seguono l'ordine de' numeri impari, e gli altri di trasmissione quello de' numeri pari, e nel ritorno succede, come si è notato, il contrario. Nasce da ciò, che se questi due cammini sono eguali, siccome si avvera quando la prima superficie è parallela alla seconda, i raggi che ritornano da questa a quella si debbono trovare in un accesso di facile trasmissione, e uscendo rifrangersi; giacchè posti i cammini eguali, e le alternative in senso opposto, ne segue che come i raggi nel primo cammino si trovarono in un accesso di facile riflessione, così al ritornare debbono essere in un accesso di facile trasmissione. Che se le superficie non fossero parallele, allora il cammino de' raggi nel ritornare dalla seconda alla prima superficie potrebbe essere maggiore o minore dell'altro che i raggi han fatto trapassando da questa a quella, e giusta il numero pari o impari dei loro accessi potrebbero essere riflessi o trasmessi.

175. Si comprendono giusta questi principj le esperienze degli anelli colorati. Cominciando dall'ultima esperienza che ha luogo coi colori omogenei, egli è chiaro che i colori prismatici cadendo ad uno ad uno sulle lenti debbono formare degli anelli lucidi del medesimo colore, che alternano cogli scuri, sia che si guardino per riflessione o pure per trasmissione. Poichè quan-

do gli anelli lucidi si manifestano per riflessione, i raggi colorati che si riflettono, son quelli che trovansi in un accesso di facil riflessione; e gli altri che vanno negli spazj interposti agli anelli lucidi, sono in un accesso di facile trasmissione, e perciò danno luogo agli anelli scuri. Ed al contrario là dove si vedono gli anelli scuri per riflessione, si manifestano i lucidi, quando si guarda per trasmissione, perchè ivi i raggi colorati sono in un accesso di facile trasmissione, e in mezzo a questi anelli lucidi alternano gli scuri, che pigliano origine dagli altri raggi che trovansi nell'accesso di facil riflessione. E come gli uni e gli altri accessi sono in proporzione alle spessezze dell'aria interposta alle due lenti; così giusta le varie spessezze alternano gli accessi e gli anelli lucidi e scuri.

In questo modo, facendo eguale ad 1 la grossezza dell'aria in cui havvi riflessione, gli anelli lucidi hanno luogo a 1, 3, 5, ec. quando si veggono per riflessione, e a 2, 4, 6, ec. quando si veggono per trasmissione, perchè così alternano gli accessi.

I diversi colori hanno lunghezze diverse nei loro accessi, e sono disposti a riflettersi, o pure a trapassare a grossezze diverse d'aria. Però il primo anello di color azzurro s'allontana dal centro più che non fa il primo anello di color violetto; il primo dei verdi più del primo degli azzurri; il giallo più dei verdi, e il rosso più di tutti. Facendo adunque cadere la luce bianca sulle lenti, i raggi colorati, da cui questa risulta, manifestano i loro anelli a quelle distanze medesime ove li dimostrano



quando ad uno ad uno cadono sulle lenti separatamente. Di modo che se gli anelli colorati non venissero a sovrapporsi, si vedrebbero ben distinti. Ma come sono sensibilmente larghi, e più o meno si stringono nello spazio che occupano; così in parte si confondono, e ne risulta in parte un colore composto. Però nella prima serie degli anelli veduti per riflessione si mostra un cerchietto bianco formato da tutti i colori. E se nelle serie, che seguono la prima, si veggono non confusi i colori, dopo un certo termine tornano a confondersi, e colori si manifestano più o meno mescolati, più o meno sfumati. I raggi del pari che si rifrangono negl'intervalli degli anelli formati per riflessione, dan colori che si combinano d'una maniera simile ed analoga. Ma tutti i colori degli anelli, sia che abbiano luogo per trasmissione o per riflessione, sbiadiscono e si perdono ad una certa distanza dal centro; perchè i diversi raggi mescolandosi presso a poco in proporzioni eguali producono una luce biancastra. Il che non potendo accader per via dei raggi omogenei, si comprende perchè il numero degli anelli sia maggiore allorchè si esperimenta colla luce omogenea, e minore allorchè si esperimenta colla luce complessa.

176. Nè questi fenomeni degli anelli colorati hanno solamente lungo colle lamine sottili di aria o di acqua, o di vetro, ma con tutti i corpi trasparenti, purchè questi si riducano a sottili laminette. Di fatto si veggono nelle bolle di sapone e nelle sottili laminette di mica. Giacchè il principio è uno, ed è quello degli accessi di facil riflessione o trasmissione, che alternando ritornano ad

eguali intervalli.

Ma altrimenti dichiarano gli anelli colorati i partigiani delle vibrazioni; e connettendo questi fenomeni con quelli della diffrazione, cogli stessi principj li vanno spiegando. Quando un'onda, dicono essi, arriva alla superficie di contatto di due mezzi elastici di densità differente, lo strato indefinitamente sottile del primo mezzo, che tocca il secondo, giusta i principj dell'urto dei corpi elastici, non resta in quiete; ma dopo d'aver posto in moto lo strato contiguo del secondo mezzo, acquista una nuova celerità, che si comunica successivamente agli strati che lo precedono, e si ha riflessione, la quale ha segno positivo se il primo strato è più denso, e negativo se è meno denso del secondo. E però se l'onda luminosa è riflessa dentro o fuori del mezzo più denso, la celerità d'oscillazione è positiva o negativa, e i moti oscillatorj corrispondenti hanno de' segni contrarj. Or giusta questo principio è venuto Young dichiarando gli anelli colorati, perchè ha riguardato un sistema di onde che si parte da un corpo luminoso nel punto che giunge alla superficie che separa il vetro dall'aria. In questo punto, dice egli, vi ha una riflessione parziale che diminuisce poco l'intensità della luce trasmessa nello strato dell'aria, e nasce dentro del primo vetro un altro sistema di onde la cui intensità è molto piccola rispetto a quella della luce trasmessa. Di che viene che questa poco indebolita dalla prima riflessione produce, nell'arrivare alla seconda superficie, un secondo sistema di onde riflesse d'una intensità presso a poco eguale a quella delle onde che pro-

vengono dalla prima riflessione. E però coll'interferenza di queste con quelle si manifestano i colori vivacissimi, o gli anelli colorati. Ma come questi si formano, presso al punto di contatto delle due lenti le due superficie della lamina dell'aria sono sensibilmente parallele, e i due sistemi di onde seguono la medesima via. Altra differenza non corre tra loro se non quella che proviene dalla lunghezza del cammino; giacchè il sistema riflesso alla seconda superficie è ritardato riguardo all'altro d'uno spazio eguale al doppio della grossezza della lamina d'aria che ha traversata andando e ritornando. L'uno di questi sistemi oltre a ciò è stato riflesso al di dentro del vetro superiore, o sia al mezzo più denso, e l'altro al di fuori del vetro inferiore, e i loro moti sono, come già si è veduto, in senso opposto. Per le interferenze adunque là dove le onde dei due sistemi, se vibrassero nel medesimo senso, dovrebbero essere d'accordo giusta la differenza dei loro cammini (num. 66) si neutralizzano, ed all'inverso s'accorderanno là dove dovrebbero essere discordi.

Poste le quali cose, vanno essi determinando la posizione degli anelli lucidi e scuri, allorchè cadono sulle lenti i raggi omogenei. Poichè ravvisano il punto di contatto, come quello in cui la grossezza dell'aria è nulla; e però i due sistemi di onde riflesse, non avendo luogo differenza alcuna di cammino, dovrebbero essere d'accordo; ma come quei due sistemi hanno moti contrarj, si neutralizzano, e il punto di contatto guardato per riflessione comparirà scuro, e come una macchia nera. Non

così dee avvenire allorchè allontanandoci dal punto di contatto ci fermiamo là dove la grossezza dell'aria sia eguale ad  $\frac{1}{4}$  d'ondulazione, perchè allora la differenza del cammino tra i due sistemi delle onde riflesse dalla prima e dalla seconda superficie sarà eguale ad una semiondulazione, che giusta il principio delle interferenze dà una perfetta discordanza, e nel nostro caso al contrario un accordo perfetto, che è quanto a dire il punto più illuminato del primo anello lucido. Quando poi la grossezza dell'aria è eguale alla metà d'un'ondulazione, la differenza del cammino sarà d'un'ondulazione intera, che dovrebbe dare accordo, e nel nostro caso dà una compiuta discordanza, e quindi si vedrà il mezzo di un anello scuro. E così di mano in mano alterneranno gli anelli lucidi e scuri, poichè questi corrisponderanno alle grossezze  $0. \frac{1}{2}d. d. \frac{3}{2}d. 2d. \frac{5}{2}d. ec.$ , e quelli alle grossezze  $\frac{1}{4}d. \frac{3}{4}d. \frac{5}{4}d. \frac{7}{4}d. \frac{9}{4}d. ec.$ , chiamando  $d$  la lunghezza d'un'ondulazione nell'aria. Che se prendesi per unità il quarto di questa lunghezza, le grossezze dell'aria corrispondenti ai massimi e minimi di luce saranno espresse per gli anelli scuri  $0. 2. 4. 6. 8. ec.$ , e per i lucidi  $1. 3. 5. 7. ec.$ , siccome erasi ricavato dalle misure e dalle esperienze del Newton. La grossezza quindi della lamina dell'aria corrisponde ad un quarto della lunghezza d'ondulazione, e questo quarto è ciò che chiamasi lunghezza degl'intervalli delle alternative de-

gli accessi Newtoniani nelle molecole lucide. Per lo che moltiplicando per 4 le misure che ha somministrato il Newton per le sette principali specie di raggi semplici, si conoscono immantinente le lunghezze corrispondenti alle loro ondulazioni. E parimente riesce facile indicare col calcolo i luoghi dove si manifesterà un tale colore, e dove sarà un anello lucido o scuro. E così i partigiani delle vibrazioni riconducono, conosciute le lunghezze delle ondulazioni, i fenomeni degli anelli colorati per mezzo delle interferenze a quelli della diffrazione.

177. Nè solo i fenomeni degli anelli colorati si riferiscono a quelli della diffrazione, ma agli altri ancora della rifrazione. Poichè, siccome si è osservato parlando delle leggi della rifrazione nel sistema delle vibrazioni, i seni degli angoli d'incidenza e di rifrazione sono necessariamente proporzionali alle celerità di propagazione, o sia alle lunghezze delle ondulazioni della luce nei due mezzi; giacchè quella celerità cresce o manca come cresce o manca la lunghezza dell'ondulazione. Ora nel traversare che fanno i fascetti lucidi una lamina sottile, le ondulazioni si raccorciano in questa lamina giusta il rapporto del seno di rifrazione a quello d'incidenza pel passaggio della luce dall'aria nella lamina. Di modo che se in luogo di aria s'introduce dell'acqua tra le due lenti delle esperienze Newtoniane, le ondulazioni luminose s'accorciano nel rapporto del seno di rifrazione a quello d'incidenza nel passaggio della luce dall'aria nell'acqua, e le grossezze delle due lamine d'aria e d'acqua, che riflettono i medesimi anelli, sono, siccome osservò

Newton, nel rapporto di que' due seni. E però i fenomeni della diffrazione, della rifrazione e degli anelli colorati si legano tra loro per li medesimi principj che li dichiarano.

178. In questo modo la formazione degli anelli riflessi si spiega per l'interferenza dei raggi riflessi alla prima e alla seconda superficie della lamina dell'aria. Ma quella degli anelli che si veggono per trasmissione e compariscono assai deboli, Young la ricava dall'interferenza dei raggi trasmessi direttamente, e da quelli che si trasmettono dopo due riflessioni consecutive nella lamina sottile; e colla differenza d'intensità di questi due sistemi di onde rende la ragione degli smorti colori di sì fatti anelli. Comechè con questi principj si spiegano benissimo gli anelli colorati tanto colla luce omogenea quanto colla complessa, allorchè l'incidenza si suppone perpendicolare e poca obliqua; pure quando le obliquità sono assai grandi, i calcoli del Young non più s'accordano cogl'insegnamenti del Newton e della sperienza; per lo che i partigiani delle vibrazioni a spiegare una sì fatta anomalia rifuggono a certe modificazioni sin ora ignote, che suppongono nella rifrazione della luce, allorchè questa passa assai obliquamente fra due superficie molto vicine.

179. È facile dopo ciò il comprendere in che modo s'adoprina costoro a spiegare i colori dei corpi. I corpi a loro parere hanno diversi gradi di elasticità, che varia come varia la disposizione delle loro molecole. Rinviano quindi in mille modi diversi le ondulazioni di lun-

ghezza diversa, che sopra loro s'imbattono, o pure che in parte li penetrano. Però da una tale diversità nella dispersione di raggi di lunghezza ineguale nascerà una copia d'interferenze costanti, che neutralizzando tutti gli altri colori, darà luogo alla formazione d'un solo, che è quello proprio d'un corpo. Quei che rimanderanno egualmente le onde d'ogni lunghezza, appariranno bianchi. Gli altri che le accolgono nel loro interno, le estingueranno, o pure le rinvieranno in modo che le onde si scontreranno in una perfetta discordanza, e compariranno neri. Altri in fine che hanno delle proprietà intermedie tra quegli estremi, produrranno degli effetti intermedj, distruggeranno alcune onde, altre ne invieranno, e presenteranno i colori con quelle numerose gradazioni che saranno corrispondenti alle lunghezze delle onde. L'ineguaglianza in somma delle vibrazioni riflesse o trasmesse dei corpi, a tenore che colorano la luce per riflessione o per rifrazione, danno luogo ai fenomeni più maravigliosi dei colori dei corpi. Anzi per meglio riuscire in tale spiegazione suppongono che a cagione della molla imperfetta dei corpi il movimento di vibrazione sia in tutto o in parte distrutto, o almeno così modificato, che si può cangiare in vibrazioni invisibili, che potranno produrre effetti calorifici, e non di luce.

180. Con più ordine e più semplicemente vengono i Newtoniani dichiarando i colori dei corpi. Stabiliscono essi che i corpi risultano, come di fatto sono, da particelle poste a distanza l'une dalle altre, in modo che per i loro pori sieno un aggregato di più gruppi piccolissimi.

Aggiungono di più che sì fatti gruppi, sia per le loro qualità particolari, sia per la densità, rifrangono la luce assai più forte, che non fa l'aria, o altro mezzo fra loro interposto. E finalmente si credono abilitati dall'analogia ad affermare che la riflessione e il trapassamento della luce succede in ciascun gruppo nello stesso modo che si fa nelle lamine sottili. Or posti questi tre principj, vien fatto ai Newtoniani di spiegare i fenomeni dei varj colori dei corpi. Poichè suppongono da prima che un certo numero di raggi, tra quelli che penetrano i corpi, passa per gl'interstizj de' loro gruppi, ed escono nello spazio senza alcuna alterazione, giusta l'ordine de' loro accessi. Ma vi hanno degli altri raggi che rincontrano i gruppi, e sono stretti a traversarli. Di questi, alcuni che sono pochi, nel cader che fanno sulla superficie di ciascun gruppo si riflettono, ed altri penetrano il gruppo, dove forte si rifrangono, e pigliano degli accessi molto più corti e più rapidi che non aveano nell'aria, o sia nel mezzo circostante. Per lo che giungendo alla seconda superficie del gruppo, quelli che si trovano in un accesso di facile riflessione, sono riflessi e formano il colore proprio del gruppo; e gli altri, che sono in un accesso di facile trasmissione, oltrepassano, sino che s'imbattono in un altro gruppo. Allora se il primo gruppo non ha riflesso tutti i raggi, che trovandosi nella luce incidente eran proprj a formare il suo colore, il secondo gruppo ne rifletterà una porzione, ed un'altra il terzo, e così di mano in mano, finchè mancheranno del tutto questi raggi che sono atti a dare un tale colore: di modo che il co-



lore totale del corpo si formerà dalla somma di tutte queste riflessioni. È questa la ragione per cui la riflessione d'un corpo è sempre la più brillante allorchè si espone alla specie de' colori prismatici, che domina nel suo colore, ed al contrario è debolissima quando la specie di que' colori gli è straniera. Ma tra i raggi che han traversato i gruppi successivi, vi han di quelli che non han sofferto alcuna riflessione, ed escono liberamente nell'aria. Indi è che diverso può essere in alcuni corpi il colore a tenore che questi son veduti per luce riflessa o trasmessa, o pure possono presentare lo stesso colore nell'uno e l'altro caso, se lascian passare e riflettere insieme raggi della medesima specie, come sono i vetri colorati.

181. A parte de' raggi che sono trasmessi o riflessi, ve n'ha di quelli che sono assorbiti o estinti dall'interno de' corpi; e però avviene che il colore dei raggi trasmessi non è complementario di quello dei raggi riflessi, o sia l'uno e l'altro colore presi insieme non formano, come dovrebbero, il bianco: ed in verità se niente si perdesse di luce, i due colori riflesso e trasmesso racchiuderebbero tutti i colori prismatici, ed insieme dovrebbero formare il bianco. Nasce dalla porzione della luce, che si perde o si estingue, che l'oro assottigliato in laminette comparisce giallo per riflessione, e verde per luce trasmessa, mentre il verde non è complementario del giallo. E parimente perdendosi successivamente i raggi colorati nel traversare un liquido, può avvenire che questo presenta a diverse altezze colori diversi. Potrà oltre a ciò accade-

re che i corpi non trasmettano nè riflettano i raggi, ma tutti li assorbiscano, e allora compariranno neri, o sia privi di colore. Che se riflettono alcuni raggi ed assorbono tutti gli altri, allora sono opachi, e si vedran tinti del colore dei raggi che riflettono. Ed in generale diconsi opachi quei corpi che niun raggio per qual si sia ragione trasmettono. Di fatto l'acqua agitata, battuta e schiumante, come si osserva nelle cascate. appare bianca, ma non trasparente, per cagione dell'aria che si è interposta tra le sue molecole; ed all'inverso se un corpo ha pori assai larghi ed abbondanti a segno che disperda tutta la luce, finisce d'essere opaco allorquando vi s'insinua un qualche fluido che lo rende uniforme, come è l'acqua per la pietra idrofana, o l'olio ne' pori della carta.

Finalmente vi hanno dei corpi che riflettono tutti o quasi tutti i raggi, e diconsi opachi, e degli altri che non assorbono e non riflettono alcun raggio, ma li trasmettono tutti senza alterare o scomporre la luce, e diconsi diafani, senza colore o limpidi. E questi si suppongono formati così tenui, che non sono capaci a rifletter la luce, e paragonar si possono alla lamina d'aria compresa nel centro delle lenti Newtoniane, dove havvi luce trasmessa liberamente.

182. Ma per meglio dare a vedere l'identità dei colori de' corpi con quelli degli anelli colorati, hanno in prima osservato che le tinte le quali han luogo in natura e nelle combinazioni chimiche, son sempre composte come quelle degli anelli, variano come varia la grossezza delle

molecole dei corpi che li riflettono, e il passaggio d'una tinta in un'altra si fa sempre per le stesse gradazioni di grossezza, come negli anelli. Di fatto nei cangiamenti di colore che han luogo di grado in grado, come nelle foglie o ne' fiori, o pur nelle combinazioni chimiche, s'osserva l'ordine ascendente o discendente dei colori degli anelli, e lo stesso passaggio dall'uno all'altro. Ciò corre agli occhi di tutti nell'autunno, quando il principio della scomposizione delle foglie indica la loro vicina caduta; poichè dal verde dell'ordine terzo degli anelli passano successivamente al giallo, all'aranciato ed al rossastro. Un'altra analogia essi ricavano da ciò, che i colori permanenti dei corpi dipendono dalla medesima causa che quelli delle lamine sottili. Queste di fatto se dotate sono d'una gran forza rifrangente, determinano a tenore della loro grossezza la specie dei colori riflessi, qualunque sia il mezzo che le circonda, giacchè questo può influire al più sull'intensità del colore, e non cangiarlo. Così i colori delle sete, delle lane e d'altre sostanze inzuppate d'acqua o d'olio, non cangiano, ma soltanto diventan foschi, e ripigliano la loro vivacità quando evapora col calore il fluido interpostovi. Un'altra analogia corre tra i colori riflessi dai corpi e dalle lamine sottili, ed è quella che gli uni e gli altri riescon cangianti sotto diverse incidenze, allorchè la forza rifrangente dei corpi e delle lamine è piccola rispetto a quella del mezzo ambiente. Ciò più d'ogni altro s'osserva nelle piume del pavone, i cui colori cambiano al cangiar d'inclinazione dei raggi. E così di mano in mano riconducono i colori dei corpi al

fenomeno dei colori che riflettono le lamine sottili, e rigettando l'affinità delle varie sostanze per la luce, li fan dipendere dalla grossezza e dalla forza rifrangente dei gruppi delle molecole di che i corpi sono formati.

## CAPO IX. — DELLA DOPPIA RIFRAZIONE E POLARIZZAZIONE DELLA LUCE.

### Esperimento I.

Se pongasi sopra i caratteri d'un libro un cristallo di calce carbonata, e di quella in particolare d'Islanda, che vince in purezza ed in trasparenza l'acqua la più limpida, si osserva che ogni lettera ed ogni linea comparisce doppia.

Questo fenomeno della doppia immagine si vede non solo a traverso del cristallo della calce carbonata, ma altresì di tanti altri cristalli, quali sono quelli de' carbonati di barite e di piombo, nel cristallo di rocca, nel cromato di piombo, nel solfato di rame cristallizzato, ed altri.

183. A comprendere la ragione di questo fenomeno sia  $AN$  (*fig. 63*) un romboide, che è la figura propria della calce carbonata, nel quale  $A, N$  sono i due più grandi angoli solidi, e  $AE, BN$  le diagonali delle due basi o facce  $ADEF, BCNG$ ; di modo che la retta, che divide que' due angoli ottusi, ne forma l'asse, e un piano condotto per questo asse normalmente alla faccia  $FADE$ , o sia il quadrilatero  $AENB$  si chiama la *sezione principale* del

romboide.

184. Ora se un raggio di luce  $St$  cade perpendicolare sulla base superiore, nel punto che s'immerge si divide in due porzioni, di cui l'una  $tl$  sarà il prolungamento del raggio incidente, o sia non si rifrange, come nel caso ordinario, e l'altra  $tf$  prenderà una direzione obliqua avvicinandosi verso l'angolo solido  $B$ ; e però avrà luogo una *doppia rifrazione* del raggio lucido in maniere diverse, l'una *ordinaria* e l'altra *straordinaria*, e si dice raggio *ordinario* il primo, *straordinario* l'altro, e in corrispondenza immagine *ordinaria* quella che proviene dal primo, e l'altra *straordinaria*. Per lo che la distanza  $fl$ , che è interposta all'uno e all'altro raggio ordinario e straordinario, si chiama *ampiezza d'aberrazione*.

Che se il raggio  $St$  in vece d'essere perpendicolare venga a cadere obliquamente sulla faccia  $FADE$ , si dividerà sempre in due, l'uno che sarà rifratto giusta le leggi ordinarie, e l'altro straordinariamente.

185. Questi due raggi emergendo dalla faccia opposta del romboide si piegano nuovamente ed escono ambidue paralleli al raggio incidente, se le due facce del cristallo, l'una d'incidenza e l'altra d'emersione, sono parallele, giacchè nell'emergere debbono ambidue i raggi deviare giusta la stessa legge con che han deviato immergendosi. Ma se la faccia d'emersione sia inclinata a quella d'incidenza, allora i due raggi ordinario e straordinario non escono paralleli, e si vanno sempre più separando. È questa la ragione per cui i cristalli che han debole la doppia rifrazione, si tagliano a prismi, affinché

manifestino più sensibile la divergenza dei due raggi.

186. È chiaro dopo ciò perchè guardando a traverso lo spato d'Islanda si vegga la doppia immagine delle cose. Sia di fatto *BAEN* (*fig. 64*) la sezione principale del romboide, *p* il punto visibile e *S* l'occhio. Tra i raggi che si mandano da *p* vi ha *pl*, che si divide nel raggio ordinario *lt*, il quale arriva all'occhio giusta la direzione *ts* parallela a *pl*, e nel raggio straordinario *lz*, che esce per la direzione *zx* parallela del pari a *pl*, ma cade fuori dell'occhio, perchè si avvicina all'angolo acuto *E*. Nel modo istesso degli altri raggi che si partono da *p*, dividendosi *po* nel raggio ordinario *or* e nello straordinario *ou*, questo viene ad incrocicchiarsi coll'ordinario *lt* nel punto *k*, ed emergendo da *u* imprende la direzione *us* parallela a *po*, che giunge all'occhio, a differenza di *rm* che non vi può arrivare. Per lo che si vedranno due immagini del punto *p*, l'una per *st* che è l'immagine ordinaria, e l'altra per *su* che è la straordinaria.

Le cose da notarsi sono in prima, che come il punto raggiante *p* s'avvicina alla linea *BN*, il punto d'intersezione discenderà verso questa medesima linea, e in modo che posto *p* in contatto di *BN*, si confonderanno i due punti *p* e *k*. È oltre a ciò da osservarsi che l'immagine straordinaria si vede non solo inversa per l'incrocicchiamento dei raggi, ma ancora più bassa; perchè vedendosi, com'è solito, un punto raggiante nell'apice d'un cono lucido, si viene a stabilire più lontano quest'apice per mezzo del raggio straordinario: ma di ciò meglio in altro luogo.

Ci giova per ora d' esporre i principali fenomeni della rifrazione straordinaria, i quali siccome si riferiscono principalmente all'asse del cristallo dotato della doppia rifrazione, così è di necessità di dichiarare prima d'ogni altro il senso della parola *asse*. È da sapersi che a cagione dell'ordine e della disposizione delle molecole del cristallo si trova nei cristalli a doppia rifrazione una direzione intorno a cui han luogo i fenomeni in una maniera simile e simmetrica, ed è questa la direzione che si chiama *asse del cristallo*, o pure di *doppia rifrazione*. Nè bisogna perciò riguardarlo come una sola e unica linea, perciocchè tutte le linee che sono parallele a questa direzione, o sia a questo asse, hanno la stessa proprietà di produrre intorno a loro gli stessi fenomeni. Così nel cristallo di calce carbonata non solo si presenta quella direzione nella linea che taglia gli angoli ottusi  $A, N$ , ed è diagonale del parallelogrammo  $AENB$ , ma in tutte quelle linee che sono a questa parallele. Ciò non ostante tutti i cristalli che son forniti della rifrazione doppia al pari della calce carbonata, si dicono *cristalli ad un asse*. Ma vi hanno de' cristalli in cui non una, ma due di quelle direzioni si manifestano, le quali sono tra loro più o meno inclinate, e però si chiamano *cristalli a due assi*. Ora parlando, per procedere con più semplicità, de' soli cristalli ad un asse, e in particolare di quelli della calce carbonata, è da notarsi la sezione principale  $AENB$ , la quale risulta sempre da un piano, come si è detto, che è guidato per l'asse perpendicolarmente alla faccia del cristallo. Poichè se il raggio  $St$  (*fig. 63*) è nel piano della

sezione principale, i due raggi rifratti, l'uno ordinario  $tl$  e l'altro straordinario  $tf$ , saranno nel medesimo piano; ma fuori di tal sezione il piano dei raggi incidenti sarà diverso da quello dei raggi rifratti, e questo sarà sempre parallelo alla sezione principale. Supponendo oltre a ciò che il raggio incidente sia nel piano della sezione principale, potrà in prima avvenire che quello sia parallelo all'asse. Tagliandosi di fatto uno o tutti due gli angoli ottusi  $A$ ,  $N$  con un piano perpendicolare all'asse, se il raggio cade perpendicolare sopra uno di questi piani, sarà egli parallelo all'asse. Or in siffatto caso si osserva che il raggio non si divide, ed è nulla o almeno minima la doppia rifrazione. Però si è ricavato il metodo di trovare la direzione dell'asse in un cristallo, trovando quella in cui i raggi non si dividono nel traversarlo. Ma se i raggi in luogo di cadere normali sopra il piano che è perpendicolare all'asse, vi cadessero obliquamente, allora farebbero un angolo coll'asse, ed avrebbe luogo la rifrazione straordinaria, la quale sotto incidenza eguale è la medesima così dall'una come dall'altra parte dell'asse. Finalmente se il raggio incidente è perpendicolare all'asse, la doppia rifrazione giunge al *maximum*.

187. Questi fenomeni, che sono i principali e chiaro si manifestano nella calce carbonata, furono rappresentati con una legge generale dall'Hugenio che seguiva il sistema delle ondulazioni. Supponendo egli che la luce si propaga ne' mezzi ordinarij in onde che hanno celerità eguali per ogni verso, o sia in onde sferiche, immaginò che nello spato d'Islanda si propagasse in onde sferoidi-



che, o sia con celerità ineguali che corrispondeano ai due assi ineguali della sferoide. E però dalle ondulazioni sferiche ricavava il raggio ordinario, e dalle sferoidiche lo straordinario. E sagace com'egli era, insegnò a ritrovare la direzione del raggio straordinario con una costruzione geometrica, come si può vedere nel tomo III del *Trattato di Fisica* del Biot, pag. 137. Ma quel che più reca maraviglia, egli è che non solo la sua costruzione è stata trovata col fatto vera in tanti diversi cristalli, ma confermata dalle formole del La Place, che si fondano sull'ipotesi dell'emissione e sulla dottrina dell'attrazione, su i principj in somma de' Newtoniani. I quali vogliono che una porzione del raggio incidente, entrando nel cristallo, sia talora respinta e talora attratta da una forza che emana dall'asse del cristallo, o da una linea al medesimo parallela, e questa porzione si venga così a separare dal raggio rifratto ordinariamente formando il raggio straordinario. E però la legge di Hugenio, che pareva un'approssimazione empirica e si era provata dall'esperienza, venne confermata dal La Place colle leggi generali della meccanica, che si convengono alle forze attrattive, e pigliò la sembianza di verità dimostrata da un principio meccanico. Ciò non pertanto i seguaci del sistema delle ondulazioni fermi restando alla legge dell'Hugenio, traggon ragion de' principali fenomeni della doppia rifrazione dalla diversa celerità che ne' varj cristalli vengono a pigliare i raggi ordinario e straordinario.

188. Or sebbene i seguaci delle due ipotesi si parton

da principj diversi, pure convengono nella legge che esprime e racchiude in tutti i sensi il cammino de' raggi ordinario e straordinario nel cristallo. Sono essi d'accordo che la celerità con cui si propagano i raggi ordinarij è la medesima in tutte le direzioni, ed al contrario varia quella de' raggi straordinarij, secondo l'angolo che essi fanno coll'asse. Sono del pari d'accordo nell'apprezzare la celerità de' raggi straordinarij per la deviazione che soffrono all'entrare e all'uscire sotto incidenze oblique; perciocchè da sì fatta deviazione il rapporto si cava tra i seni degli angoli d'incidenza e di rifrazione, e solamente disconvengono nell'esprimere i rapporti delle celerità che lo fanno inversamente. Di fatto nel sistema dell'emissione si stabilisce che la differenza tra i quadrati della celerità dei raggi ordinario e straordinario è proporzionale al quadrato del seno dell'angolo che la loro direzione fa coll'asse; mentre nel sistema delle ondulazioni questa proporzione si trae dalla differenza de' quozienti dell'unità divisa per quei quadrati. Ma in ambedue queste espressioni sono rappresentati come conseguenti i fatti. Poichè chiaro ne segue in prima che le due specie di raggi non si dividono, e hanno la medesima celerità allorchè sono paralleli all'asse, per la ragione che il loro seno in tal caso è eguale a zero. Avranno al contrario celerità differenti, e questa loro differenza s'accrescerà gradatamente con quel seno a misura che si allontanano dall'asse, sino che giungeranno ad essergli perpendicolari, ch'è la direzione in cui la differenza tra la celerità dei due raggi è massima; perchè il seno del-

l'angolo, che essi fanno coll'asse, è massimo. E come conosciuta la velocità de' due raggi si conoscono i rapporti dei seni degli angoli d'incidenza e di rifrazione; così dati questi rapporti e la direzione del raggio incidente, si viene di leggieri a definire la direzione dei raggi ordinario e straordinario, e il loro cammino nel cristallo.

189. È solamente da notare che sebbene la differenza di velocità de' due raggi sia sempre proporzionale al seno di quell'angolo; pure può essa risultare positiva o negativa, secondo che l'una o l'altra sia maggiore o minore. Di fatto è positiva nello spato calcare, e negativa nel cristallo di rocca; e si argomenta così, che in quello i raggi ordinarij camminano men presto degli straordinarij, ed in questo al contrario. Per lo che il Biot venne nella opinione che nei cristalli, in cui quella differenza è positiva, alcune particelle lucide siano respinte da una forza che si parte dall'asse; e negli altri, in cui è negativa, alcune particelle lucide sieno attratte da una forza che del pari deriva dall'asse; e distinse così in due maniere i cristalli a doppia rifrazione, in quelli cioè che sono a doppia rifrazione *attrattiva*, e negli altri che sono a doppia rifrazione *ripulsiva*: distinzione che è del tutto rigettata dai seguaci delle ondulazioni. Son questi i principj giusta i quali si dichiarano i fenomeni della doppia rifrazione in ambidue i sistemi. Ma non è da tacere che Brewster rigetta la legge di Hugenio, la crede inesatta e da non potersi applicare a tutti i cristalli. e giunge inoltre ad affermare che sien privi di ogni fondamento i calcoli

e le formule del La Place. Per lo che si sforza egli d'introdurre una nuova legge, che dagli altri non è stata riconosciuta per vera. Le quali cose ci debbon mostrare che ancora siamo incerti nello spiegare un sì fatto ordine di fenomeni. Bastaci per ora di osservare che per mezzo di un prisma a doppia immagine è giunto Arago a determinare, colla precisione che maggiore si può, i diametri de' corpi celesti.

### Esperimento II.

Posti due romboidi di spato d'Islanda l'uno sopra l'altro, come nella *fig.* 65, situateli sopra una carta in cui avvi segnato un punto. Or se le sezioni principali di questi romboidi sono tra loro parallele, e nel medesimo piano come stanno nella *fig.* 65, il punto guardato a traverso i due romboidi si vedrà doppio e non quadruplo. Ma se girate lentamente il cristallo superiore sull'inferiore, si cominceranno a vedere quattro immagini di quel punto con queste circostanze, che le due le quali già prima esistevano cominciano a indebolirsi, e le altre due che di nuovo sono comparse vanno sempre più avvivandosi quanto più si gira. Di modo che giunta la rivoluzione ad un quarto di giro, o sia posti i piani delle due sezioni normali l'uno all'altro, indebolite le due prime per gradi, in fine spariscono, e le altre due ravvivate per gradi acquistano tutta la loro vivacità. Passato questo termine, se continuate a girare, avranno luogo i medesimi effetti in ordine inverso, cioè a dire: le immagini scomparse riappariranno, e la loro tinta, che da principio è leg-

giera, a poco a poco si rafforzerà; mentre le altre due andranno diminuendo di vivacità, finchè dispariranno in fine di una mezza rivoluzione del romboide superiore, in cui le due sezioni principali, sebbene situate in senso contrario, stansi nel medesimo piano, o parallele tra loro. Questa alternativa continuerà di mano in mano per ogni quarto di giro, e sino che sarà finita tutta intera la rivoluzione.

190. Considerando un sì fatto esperimento, egli è chiaro che nella prima posizione de' cristalli, in cui le due sezioni erano nello stesso piano o in piani paralleli, i due raggi, l'uno ordinario e l'altro straordinario, nell'immergersi nel secondo cristallo, non si sono spartiti, e che il raggio ordinario del primo sarà rifratto ordinariamente dal secondo cristallo, e straordinariamente sarà rifratto lo straordinario. Ma come le due sezioni vanno facendo un angolo, ciascuno de' raggi, che proviene dal primo romboide, si dividerà in due, rifrangendosi straordinariamente una parte del raggio ordinario, e ordinariamente una parte del raggio straordinario; e però si vedranno quattro immagini.

191. È solo da avvertire che i due raggi, in cui divide si l'ordinario del primo cristallo, hanno eguale intensità, e le due immagini corrispondenti eguale chiarezza, quando le due sezioni principali fanno un angolo tra loro di  $45^\circ$ . Crescendo poi quest'angolo, va diminuendo l'intensità del raggio ordinario, e crescendo quella dello straordinario, finchè divenuto retto l'angolo delle due sezioni, o sia divenuta l'una all'altra normale, mancherà

del tutto il raggio ordinario, e resterà solamente lo straordinario nella sua massima intensità. Lo stesso avviene ne' due raggi in cui si dividono lo straordinario del primo romboide. La loro intensità è eguale a  $45^\circ$ , e in tutto il resto ineguale; ma l'intensità dello straordinario va mancando, come cresce quella dell'ordinario, finchè giunte le due sezioni ad una posizione normale, manca del tutto il raggio straordinario, e resta solamente l'ordinario che giunge al *maximum* d'intensità: di modo che i due raggi si permutano, divenendo ordinario lo straordinario, ed all'inverso, e in corrispondenza anche le due immagini.

192. Nella stessa guisa e per gli stessi gradi succede la produzione delle quattro immagini nel secondo quarto di giro, finchè di nuovo, quando le due sezioni sono parallele, e nello stesso piano i raggi da quattro si riducono a due, cambiandosi l'ordinario in straordinario, ed all'inverso; e così i fenomeni medesimi si tornano a replicare prima nel terzo e poi nell'ultimo quarto del giro.

193. E in generale ciascun raggio, o, in altri termini, ciascun sistema di onde prodotto da una delle due rifrazioni del primo romboide si divide nel secondo in altre due rifrazioni, ma in parti ineguali, quando le due sezioni principali de' due cristalli non formano un angolo di  $45^\circ$ ; ed al contrario non ha che un solo modo di rifrazione nel secondo romboide, quando quelle due sezioni sono parallele e normali tra loro. Solamente è da notare che nel primo caso è della stessa natura, e nel secondo di nome contrario, cioè il raggio ordinario e straordina-

rio restano nel primo caso, quali sono nel primo romboide, e si permuta l'ordinario in istraordinario, e questo in quello nel secondo. Questi fenomeni non solo si avverano in due cristalli di calce carbonata, ma con qualunque maniera di cristallo, purchè siano dotati di doppia rifrazione e abbiano un solo asse.

194. Si ricava da questa esperienza, che la luce nel rifrangersi, doppiamente acquista una modificazione che non avea prima nello stato di luce diretta. Poichè i due raggi nell'emergere dal primo romboide non conservano in tutta la loro direzione le medesime proprietà ottiche, e sono sottoposti, giusta le posizioni degli assi dei romboidi, ora alla rifrazione ordinaria ed ora alla straordinaria.

### Esperimento III.

Se il raggio *SI* (*fig. 66*) cadendo sulla superficie *LL* di un vetro piano ben pulito e non stagnato forma con questo piano un angolo di  $35^{\circ}25'$ , questo raggio rifletterà per la retta *II'* facendo l'angolo d'incidenza eguale a quello di riflessione. E se il raggio riflesso andrà ad imbattersi collo stesso angolo di  $35^{\circ}25'$  sopra un altro vetro *L'L'* del pari piano, pulito e non stagnato, sarà in generale sottoposto ad una seconda riflessione per *I'S'*.

195. Per meglio comprendere la disposizione de' vetri, o i fenomeni che ne risultano, sia *II'* una linea verticale, e 'l primo piano di riflessione *SIL* sia il meridiano; allora il secondo piano di riflessione *II'S'* sia il verticale che passa per i punti di est ed owest. Ora se il vetro *LL*,

conservando sempre la stessa inclinazione al raggio verticale  $II'$ , gira intorno a questo raggio come intorno ad un asse, ne segue che il piano in cui opera la seconda riflessione sarà necessariamente diretto verso i varj punti dell'orizzonte nei differenti azzimuti, che secondo il linguaggio degli astronomi esprimono gli angoli che fanno col meridiano i piani verticali diretti su i diversi punti dell'orizzonte.

Ciò posto, se il secondo piano di riflessione sia diretto nel meridiano, ed abbia quindi la stessa direzione del primo piano di riflessione, l'intensità della luce riflessa dal secondo vetro  $L'L'$  sarà massima. Ma a misura che quel secondo piano nel girare si allontana dalla posizione in cui era paralella al primo, l'intensità della luce riflessa va menomando. Questa poi manca del tutto così alla interiore, come alla posteriore superficie del secondo vetro, quando il secondo piano di riflessione è diretto nel verticale di est ed owest, o sia diviene perpendicolare al primo; perciocchè allora tutta la luce in luogo di riflettersi è trasmessa a traverso del vetro.

Continuando il giro per altri  $90^\circ$  si riproducono gli stessi fenomeni in un ordine inverso. Poichè l'intensità della luce riflessa va crescendo, come nel primo quadrante avea diminuito; ed allorchè la superficie riflettente del secondo vetro ha descritto intorno al raggio una mezza circonferenza, o sia il secondo piano di riflessione ritorna ad essere nel meridiano, l'intensità della luce riflessa giunge al *maximum*. E come nell'altra metà della circonferenza avvengono esattamente gli stessi feno-



meni che hanno avuto luogo nella prima; così in tutta la rotazione si danno due *massimi* e due *minimi* di luce riflessa; i primi due si osservano negli azzimuti  $0^\circ$  e  $180^\circ$ , ed i secondi negli azzimuti  $90^\circ$  e  $270^\circ$ . Tutte le variazioni poi di luce intorno a questi limiti sono le stesse ne' differenti quadranti. Ma è da avvertire che cangiato un poco l'angolo del secondo vetro  $L'L'$  col raggio  $II'$ , l'intensità della luce riflessa non è più nulla in alcun azzimuto, e solo diviene debolissima, dove prima coll'angolo di  $35^\circ 25'$  era nulla, cioè nel verticale di est ed owest. Ed al contrario se lasciata l'inclinazione di  $L'L'$  con  $II'$  di  $35^\circ 25'$  si cangia alquanto l'angolo del raggio incidente  $SI$  col primo vetro  $LL$ , allora il raggio cadendo sul secondo vetro non lo traversa mai tutto.

196. Da questo esperimento si raccoglie del pari che la luce diretta per mezzo della riflessione su i corpi trasparenti acquista una modificazione che prima di riflettersi non avea. Poichè il raggio riflesso al primo piano giusta le varie posizioni del secondo può essere più o meno riflesso, ed eziandio in gran parte o pure niente riflesso, acquistando delle proprietà ottiche che sono opposte.

#### Esperimento IV.

Un raggio lucido riflesso da una lamina di vetro sotto un angolo d'incidenza di  $35^\circ 25'$  cadendo normalmente sopra un romboide di calce carbonata, la cui sezione principale è parallela al piano di riflessione, non si divide, e tutto è rifratto ordinariamente. Ma qualora la sua

sezione principale fa un angolo con quel piano, si divide in due raggi, l'uno ordinario e l'altro straordinario; come cresce quest'angolo, manca l'intensità del raggio ordinario, e va crescendo quella dello straordinario, finchè giunto a  $90^\circ$  viene meno il raggio ordinario, e giunge alla massima intensità lo straordinario.

197. Questa esperienza ci dimostra che il raggio riflesso sotto quell'angolo è analogo del tutto al raggio ordinario, che emergendo da un romboide superiore di spato islandico passa nell'inferiore (num. 191). Poichè questi due raggi ci danno a vedere gli stessi fenomeni secondo la diversa posizione de' due piani, che nei romboidi sono le loro sezioni principali, e in questo esperimento sono la sezione principale del romboide e 'l piano di riflessione.

198. Questo stesso esperimento si può esprimere all'inverso. Diviso il raggio che cade sopra un romboide di spato in due, si ricevano questi sulla superficie ben pulita di una lamina di vetro con un angolo d'incidenza di  $35^\circ 25'$ : allora se il piano d'incidenza è parallelo alla sezione del cristallo, il raggio ordinario in parte si rifrangerà e in parte sarà riflesso, come se fosse un raggio di luce diretta; ma il raggio straordinario penetrerà del tutto nel vetro. Che se pongasi la sezione principale nel cristallo normalmente al piano d'incidenza, il raggio straordinario sarà in parte riflesso e in parte rifratto, e il raggio ordinario sarà interamente rifratto. Per lo che un raggio di luce colla riflessione sotto quell'angolo da quel vetro è nella stessa maniera modificato come se

fosse stato ordinariamente dallo spato islandico la cui sezione principale fosse parallela al piano di riflessione, o rifratto straordinariamente da un egual cristallo la cui sezione principale fosse normale a quel piano. L'esperienze dunque ci danno a vedere una perfetta medesimezza tra la modificazione che la riflessione imprime ai raggi sotto una certa incidenza, e quella che loro comunicano i corpi cristallizzati che son forniti della doppia rifrazione.

#### Esperimento V.

Ove si fa cadere obliquamente, e meglio con un angolo di  $35^{\circ}25'$ , un raggio sopra una serie di vetri paralleli di picciola grossezza, e separati gli uni dagli altri, si osserva che essendo molte di numero le laminette, per esempio 40 o 50, niuna particella lucida viene riflessa dall'ultima lamina. Però si vede che aggiungendo a queste delle altre laminette parallele, la luce tutte le traversa conservando lo stesso splendore, perchè tutte le sue particelle si trasmettono senza riflettersi. Ma quel che è più, se questa luce trasmessa si fa cadere sopra un romboide di spato calcare, ora si divide ed ora no in quella guisa e in quelle stesse posizioni in cui si divide o no il raggio che da un primo romboide passa in un secondo, come si è dimostrato nelle prime esperienze.

199. La luce adunque che traversa obliquamente i corpi non cristallizzati, quali sono i vetri, viene da questi modificata, come se traversasse un romboide di spato o altri corpi cristallizzati. E però è da concludersi che la

rifrazione ordinaria imprime ai raggi quella stessa modificazione che loro imprimono la riflessione e la doppia rifrazione.

200. Questi e altri simili esperimenti furono la prima volta mandati ad effetto dal Malus, ed oggi con più facilità si possono eseguire per mezzo di uno strumento immaginato dal Biot, che descritto si legge nel tomo IV, l. 6, cap. 1 del suo *Trattato di Fisica*. Ora il Malus immaginava che ciascuna molecola lucida, come piacque al Newton, era fornita di due sorti di poli o sia di facce dotate di proprietà fisiche diverse, e che questi poli o lati eran rivolti in ogni senso nella luce ordinaria. Venne quindi nel pensiero che per l'azione de' corpi si poteano disporre in modo le molecole lucide, che i loro lati simili, o almeno dotati delle medesime proprietà, si volgessero nel medesimo senso. Sicchè ogni raggio, come quello che risulta da una serie infinitamente rapida di particelle che presentano le loro facce omologhe nel medesimo senso, viene ad essere sotto il medesimo angolo da certi lati più riflessibile, o pure più rifrangibile che per certi altri. E però stimò egli denominare una sì fatta disposizione dei poli delle molecole lucide *polarizzazione*. La quale in sostanza non è altro che quella modificazione della luce, per cui essa acquista l'attitudine ad essere o non essere totalmente rifrangibile o totalmente riflessibile sotto il medesimo angolo d'incidenza, secondo i lati del raggio incidente verso cui è rivolta la superficie de' corpi che riflettono o rifrangono, o sono cristallizzati. Così nell'esperimento III il raggio riflesso dal primo

vetro sotto l'angolo di  $35^{\circ}25'$  è riflesso dal secondo vetro nella massima parte, quando presenta i suoi lati nord e sud; ed al contrario è per niente riflesso quando presenta i suoi lati est ed owest. Il raggio adunque che in qualunque modo ha acquistato una sì fatta modificazione, si dice *polarizzato*, e si dice *polarizzato relativamente ad un piano*, quando trovandosi in questo piano o in un altro a questo parallelo è riflesso al *maximum*, e in un piano al medesimo normale è trasmesso al *maximum*. E però dicesi polarizzato in rapporto a questo piano in due sensi rettangolari. Così nell'esperimento IV il raggio è polarizzato in rapporto al piano della sezione principale del cristallo, e nell'esperimento III in rapporto al piano del meridiano. Il che, secondo l'opinione del Malus e di quei che si accostano al sistema dell'emanazione, altro non esprime che il verso parallelo o normale in cui le facce simili delle molecole lucide son girate e dirette relativamente a quella sezione principale, o al meridiano, o ad un piano qualunque. Il raggio in fine polarizzato mantiene permanente nello spazio questa sua proprietà, e la conserva senza alterazione sensibile quando passa perpendicolarmente a traverso densità notabili di aria, di acqua, o di altra sostanza ch'esercita la semplice rifrazione. Arago scoprì che la luce la quale proviene dalle comete è polarizzata nello stesso modo che farebbe, se riflessa fosse da un ammasso di vapori poco densi che ricevono la luce del sole; e trovando la luce diretta del sole del tutto priva di polarizzazione, la somigliò a quella dei gas infiammati, che del pari non

ne mostrano, e l'ebbe per diversa dall'altra che viene dai solidi o liquidi candescenti, giacchè questa manifesta una quantità non piccola di raggi polarizzati.

201. Sebbene i vetri e in generale tutte le superficie polite abbiano la proprietà di polarizzare più o meno interamente la luce che riflettono sotto qualunque angolo d'incidenza, che non sia il retto; pure ci ha un'incidenza particolare a ciascuna di quelle superficie, che polarizza al massimo la luce diretta, e chiamasi *angolo vero di polarizzazione* o *polarizzante*. Questo angolo pel vetro nell'aria è, siccome abbiamo veduto, di  $35^{\circ}25'$ ; per la barite solfata è  $32^{\circ}6'$ ; pel diamante  $27^{\circ}54'$ ; pel zolfo nativo  $29^{\circ}46'$ ; per l'ambra  $33^{\circ}25'$ ; per l'olio di pesce  $34^{\circ}30'$ , e per l'acqua  $36^{\circ}58'$ . Ed in generale sulle superficie de' corpi trasparenti dev'esser tale l'incidenza, che il raggio riflesso sia perpendicolare al rifratto. Ma questo angolo varia in prima come varia la natura del mezzo ambiente che la luce dee traversare per giungere a quelle superficie che riflettono. Così l'angolo polarizzante, che dall'aria nel vetro è di  $35^{\circ}25'$ , diviene quasi di  $46'$  nel vetro circondato di olio di trementina. L'angolo polarizzante in secondo luogo alla prima superficie di una di quelle sostanze è diverso dell'altro, che polarizza alla loro seconda superficie. Ma secondo Brewster l'uno e l'altro sono tra loro reciprocamente complimentarj, e per Malus il primo sta al secondo come il seno d'incidenza a quello di rifrazione in un dato corpo.

202. Molti corpi opachi ben lustri, come il marmo, il legno di ebano, le vernici nere, ec., polarizzano la luce,

che riflettono così perfettamente, che fanno alcuni corpi diafani. E tra questi ve ne hanno alcuni, come il diamante e 'l vetro di antimonio, che non polarizzano mai interamente. Ma sono i metalli soprattutto che polarizzano men compiutamente la luce che riflettono.

203. Volgendoci ora ai fenomeni che noi osservato abbiamo negli esperimenti, colla luce polarizzata per mezzo della doppia rifrazione e per mezzo della riflessione, è da notare che si possono tutti e bene rappresentare coll'ajuto di una formola, in cui si suppone l'intensità della luce proporzionale al quadrato del coseno dell'angolo che fanno o le due sezioni principali o i due piani di riflessione, moltiplicato pel *maximum* d'intensità, che noi facciamo = 1. Considerando adunque in prima il raggio ordinario che s'immerge nel secondo romboide, e chiamando  $i$  l'angolo delle due sezioni, si avrà pel raggio ordinario, che ne risulta, l'intensità dell'immagine ordinaria =  $\cos^2 i$ . E come in questo caso  $90^\circ - i$  è l'angolo de' due piani pel raggio straordinario; così l'intensità dell'immagine straordinaria è rappresentata da  $\cos^2(90^\circ - i) = \sin^2 i$ . E però quando  $i = 0$  il  $\sin^2 i$  diviene nullo, o sia quando le due sezioni sono nello stesso piano, l'immagine straordinaria disparesce, e tutta la luce passa nell'immagine ordinaria, perchè  $\cos^2 i = 1$ . Quando  $i = 45^\circ$  il  $\sin^2 i$  e  $\cos^2 i$  divengono ciascuno =  $1/2$ , e le due immagini sono di eguale intensità. Finalmente quando  $i = 90^\circ$ ,  $\sin^2 i = 1$  e  $\cos^2 i = 0$ , o sia l'immagine ordinaria disparesce, e tutta la luce passa nella straordinaria. Le stesse variazioni han luogo per le due immagini che si for-

mano dal raggio straordinario che s'immerge nel secondo romboide. Questo raggio si divide in due: lo straordinario è rappresentato da  $\cos^2 i$ , e l'ordinario da  $\sin^2 i$ . Però quando  $i = 90^\circ$ ,  $\cos^2 i = 0$ , o sia l'immagine straordinaria sparisce e passa nell'ordinaria, perchè  $\sin^2 i = 1$ . Ciò che ha luogo in un quadrante si ripete negli altri che compiono l'intera rivoluzione del romboide.

204. Nella stessa guisa si rappresentano i fenomeni della luce polarizzata per riflessione. Quando  $i = 0$ , o pure  $= 180^\circ$ ,  $\cos^2 i = 1$ , o sia l'intensità della luce riflessa è al *maximum*, e quando  $i = 90^\circ$  o pure  $= 270^\circ$ ,  $\cos^2 i = 0$ , o sia l'intensità della luce riflessa è nulla, o sia niente se ne riflette, siccome ci fu chiarito dall'esperienza.

205. Malus, che fu il primo a recare innanzi sì fatto ramo di fenomeni, ne diede la teorica, che fu poi fiancheggiata da' calcoli del La Place, e da altre osservazioni de' seguaci del sistema dell'emanazioni. Riferì quegli ciascuna molecola lucida a tre assi rettangolari presi nel suo interno. Il primo di questi assi è sempre nel senso della traslazione del raggio, come è *CZ* (*fig. 66*), che va dal nadir allo zenit, e chiamasi *asse di traslazione*. L'altro *CY* è diretto orizzontalmente dall'est all'owest, e 'l terzo *CX* è diretto orizzontalmente dal nord al sud, e trovasi nel piano di riflessione che qui è lo stesso che il meridiano. E come nell'esperienza III il raggio è polarizzato in rapporto al meridiano; così l'asse *CX*, come quello che trovasi nel piano del meridiano, dicesi *asse di polarizzazione*. Ora un raggio è una serie di particelle lucide, e però in un raggio polarizzato gli assi di queste



particelle si trovano tutti paralleli tra loro. Dimodochè polarizzare un raggio altro non importa, che ridurre, quanto più si può, quegli assi rispettivamente paralleli tra loro.

206. Ma bisogna soprattutto attendere all'asse di polarizzazione di un raggio. Nel caso nostro quest'asse è nel meridiano, o sia gli assi di tutte le molecole lucide, da cui quello risulta, sono nel piano del meridiano, e d'ordinario nella luce polarizzata per riflessione sono nel piano della riflessione. Che se trattasi di raggi polarizzati da un cristallo doppiamente rifrangente, allora è da distinguersi il raggio ordinario dallo straordinario. Poichè le particelle del primo hanno i loro assi di polarizzazione in un piano che si guida pel loro asse di traslazione, ed una linea parallela all'asse del cristallo; e le particelle del secondo hanno il loro asse di polarizzazione normale ad un piano condotto per l'asse loro di traslazione, ed una retta parallela del pari all'asse del cristallo. Stabilita la posizione dell'asse di polarizzazione, si comprende di leggieri l'azione ch'esercitano le forze polarizzanti, che si suppongono ripulsive, le quali sono forse le forze riflettenti, o che almeno hanno con queste un'intera relazione. Ma nei cristalli doppiamente rifrangenti credesi certo che sieno le stesse che le forze rifrangenti. Del resto quali che si fossero, altro non fanno che rendere parallelo o normale l'asse di polarizzazione a' piani cui si riferisce la polarizzazione. Quando lo rendono parallelo, le forze che emanano da' corpi, cui si appressa, lo respingono, e le particelle lucide sono rifletti-

bili; e quando è normale, le forze operando con eguale intensità sulle due parti eguali dell'asse di polarizzazione, come *CX*, *CF*, che sono a destra e sinistra dell'asse di traslazione, non possono riflettere le particelle lucide, e queste cadendo sul corpo trasparente si rifrangono, e si dice che divengono rifrangibili. Così nell'esperimento III il raggio è polarizzato in rapporto al meridiano in due sensi rettangolari. Anche l'asse di polarizzazione quando è nel piano del meridiano è riflesso al *maximum*, e quando è nel piano dell'est ed owest, che trovasi a quello normale, è rifratto al *maximum*.

207. Credesi che le forze polarizzanti o ripulsive non possano produrre lo stesso effetto su tutte le molecole lucide che si appressano a' corpi riflettenti; perchè non tutte si trovano nel medesimo stato, ma alcune nel mezzo, ed altre nel fine di un accesso di facile riflessione o trasmissione. Stimano quindi da ciò poter provenire che le particelle dei raggi lucidi alcune si polarizzano ed altre no, ed altre si polarizzano in versi differenti. Da ciò parimente vuolsi che abbia origine la polarizzazione della luce per riflessione e rifrazione in versi opposti, che ha luogo ne' corpi non cristallizzati, giusta l'esperimento V. Giacchè le molecole lucide da prima in parte si riflettono, e in parte si rifrangono, per la ragione che trovandosi in diverso stato hanno alcune gli assi ridotti nel piano d'incidenza, ed altre in un piano al medesimo normale. E ciò sino a tanto che, mancata per la molteplicità delle laminette la luce riflessa, resta inalterabile e costante la luce trasmessa.

208. In generale adunque il moto delle molecole lucide, da cui è composto il raggio, si riferisce a tre assi, di cui quello di traslazione, ch'è sempre nella direzione del raggio, si chiama  $\alpha$ , e gli altri due rettangolari  $\beta$ ,  $\gamma$ ; e l'azione delle forze ripulsive è tutta intenta ad eccitare una rotazione di  $\beta$  o di  $\gamma$  intorno ad  $\alpha$ , in virtù della quale si cangia la posizione rispettiva degli assi delle molecole di un medesimo raggio. E però le quantità delle molecole, il cui asse  $\beta$  o  $\gamma$  diverrà normale alla direzione delle forze, sarà, secondo i principj della meccanica, proporzionale al quadrato del seno dell'angolo che queste linee dovranno descrivere intorno all'asse  $\alpha$  per prendere quella nuova direzione; e la quantità delle molecole, i cui assi  $\beta$  o  $\gamma$  si avvicineranno quanto più si può alla direzione delle forze ripulsive, sarà proporzionale al quadrato del coseno dell'angolo che queste linee dovranno descrivere rotando intorno ad  $\alpha$  per arrivare al piano che passa per questo asse e per la direzione delle forze.

209. È di leggieri dopo ciò il comprendere perchè facendo un angolo tra  $0$  e  $90^\circ$  le due sezioni principali di un cristallo di spato, il raggio ordinario si divide in due, ordinario e straordinario, e del pari in due lo straordinario, cioè straordinario ed ordinario. Poichè la forza polarizzante il raggio ordinario e quella che polarizza lo straordinario non essendo nè parallela nè normale all'asse di polarizzazione delle molecole, ciascuna tende a farlo girare nel suo verso o parallelo o normale, in quelle molecole sulle quali opera, e quindi viene a dividersi ciascun raggio in due.

210. Altre considerazioni ha aggiunto Brewster alla teorica del Malus per ispiegare con facilità alcuni fenomeni, come si può leggere nelle *Filosofiche Transazioni per l'anno 1819* (Part. I, pag. 146 e 153). Solamente non è da tacere ch'egli dalle proprietà ottiche dell'agata ha ricavato che i cristalli doppiamente rifrangenti sieno formati da due mezzi, l'uno ordinario e l'altro straordinario, o sia da due specie di parti ch'esercitano particolarmente sopra le piramidi lucide una forza che ne svolge il raggio ordinario e straordinario. Questi due mezzi sono disposti ne' cristalli a strati alternanti, che variano di densità secondo qualche legge; e talvolta hanno un'egual trasparenza, come nel quarzo, e talvolta ineguale, come in alcune specie di agata. Nasce da ciò, a giudizio del Brewster, che alterato il pulimento di sì fatti cristalli, viene a formarsi confusa l'immagine ordinaria e straordinaria, perchè si producono delle rifrazioni irregolari. Ma più d'ogni altro, ripete egli da sì fatta struttura la ragione per cui coll'ajuto di una sostanza liquida interposta tra la cavità delle asprezze del cristallo, secondo che questa sostanza ha una forza rifrangente eguale o al mezzo ordinario o allo straordinario, l'immagine ordinaria o straordinaria, che prima era confusa, viene a vedersi chiara e distinta. Varj altri fenomeni della luce polarizzata va spiegando il Brewster per mezzo della struttura dell'agata, della turmalina, della madreperla, come si può osservare nel tomo CIII delle *Filosofiche Transazioni*. E tra questi fenomeni si può notar quello della turmalina o dell'agata tagliata a lamine sottili, che danno il

passaggio al raggio ch'è polarizzato in un verso determinato. Però due di quelle laminette o di agata o di turmalina incrocicchiate ad angolo retto diventano opache, perchè i raggi trasmessi dalla prima non possono entrare per la seconda. Ed al contrario ove quelle due laminette si soprappongono nel medesimo verso, sono del tutto trasparenti, perchè i raggi si trasmettono per ambedue.

211. In altro modo dichiaransi i fenomeni della luce polarizzata da quei che si tengono al sistema delle ondulazioni, i quali deridono e i poli, e le proprietà diverse di questi poli nelle particelle impercettibili della luce. A render ragione della differenza delle proprietà ottiche che manifestano i raggi polarizzati ne' due versi rettangolari, suppongono col Fresnel che per via della polarizzazione si scompongono le oscillazioni lucide in altre che sono trasversali o sia normali non parallele alla direzione del raggio. Ma queste oscillazioni, in cui si scompone l'onda luminosa, han luogo in due versi rettangolari, cioè parallelamente o perpendicolarmente al piano di polarizzazione, e in questi due versi si fatti moti trasversali non sono gli stessi. Di modo che i due movimenti o oscillazioni, per fissar le idee ne' due versi  $CY$ ,  $CX$  (*fig.* 66), sono trasversali, perchè perpendicolari alla direzione del raggio  $CZ$ . E però entrando le onde luminose polarizzate ne' cristalli che doppiamente rifrangono, si scompongono in modo, che le loro oscillazioni han luogo trasversalmente e ne' due versi rettangolari.

Confermano una sì fatta supposizione colla formola stessa del Malus. Poichè è già noto pel num. 54 che l'in-

tensità della luce nell'ipotesi delle onde si reputa eguale alla somma delle forze vive che sono in ogni ondulazione, o sia quando il fluido è omogeneo alla somma de' quadrati delle celerità dei diversi punti dell'onda, che ben si può rappresentare col quadrato del coefficiente comune di queste velocità. Ora essendo, giusta il Malus, l'intensità della luce dell'immagine ordinaria (num. 203)  $\cos^2 i$ , ne segue che  $\cos i$  viene ad essere, secondo il Fresnel, il coefficiente comune delle celerità dell'ondulazione, e che ne rappresenta l'energia. E parimente essendo, giusta il Malus,  $\sin^2 i$  l'intensità della luce dell'immagine straordinaria, viene  $\sin i$  a rappresentare nel senso del Fresnel l'intensità della celerità di oscillazione nel sistema di onde che ha provato la rifrazione straordinaria. Le celerità adunque di oscillazioni di un raggio polarizzato primitivamente, che si risolve in due altri, entrando nel cristallo dotato della doppia rifrazione, si scompongono nello stesso modo che farebbero nel caso che i moti oscillatorj di questo raggio in luogo di essergli paralleli si eseguissero in una direzione che gli fosse normale, e paralellamente o perpendicolarmente al piano di polarizzazione. Di fatto se ciò avesse luogo, giusta i principj della meccanica, la celerità paralella sarebbe la velocità moltiplicata per  $\cos i$ , e la normale sarebbe la stessa celerità moltiplicata per  $\sin i$ , o sia le due componenti sarebbero proporzionali a  $\cos i$  e  $\sin i$ . Di che i seguaci dell'ondulazioni van ricavando col Fresnel, che la legge del Malus suppone ed indica che i moti oscillatorj delle molecole eteree ne' raggi polarizzati si scompon-

gono, allorchè questi entrano ne' cristalli doppiamente rifrangenti, e si fanno trasversalmente o sia normalmente a' raggi.

Senza entrare più innanzi nel dichiarare i fenomeni della luce polarizzata per mezzo de' moti trasversali, si può leggere quanto ne disse il Fresnel in una nota nel tomo XVII degli *Annali di Chimica e di Fisica* (pag. 79). Solamente ci facciamo qui a notare alcune esperienze che han dato origine a nuove dottrine e ad altri snodamenti de' due sistemi.

#### Esperimento VI.

Egli è già noto pel num. 195, che se il raggio polarizzato per riflessione  $II'$  va ad imbattersi perpendicolarmente sul vetro superiore  $LL'$  (*fig.* 66), egli liberamente tutto lo traversa; e del pari è noto pel num. 197 che lo stesso raggio cadendo verticalmente sopra un romboide di calce carbonata, la cui sezione sia parallela al piano di polarizzazione, questo raggio non si divide, e dà solamente un'immagine ordinaria. Ma se prima di cadere sul vetro o sullo spato si faccia passare a traverso di una lamina sottile di calce solfata, o di altro cristallo doppiamente rifrangente, si osserva: 1.° Che il raggio emergendo da sì fatta laminetta, sia che si accolga dall'occhio, o pur cada normalmente sopra un cartone, comparisce bianco. 2.° Che traversando il romboide non dà più una, ma due immagini, e cadendo sullo specchio  $LL'$  si divide in due fascetti, di cui l'uno è trasmesso e l'altro è riflesso, ed ambidue questi fascetti son colorati in modo

che i loro colori sono complimentarj. 3.° Se mettesi in giro la lamina, restando sempre l'incidenza perpendicolare, la tinta di  $L'L'$  non varia, ma ne varia l'intensità, la quale disparirà o diventerà minima allorchè l'asse è diretto verso uno de' punti cardinali, e giungerà al suo *maximum* a' punti medj, cioè a dire quando l'asse sarà diretto negli azzimuti di  $45^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $225^\circ$ ,  $315^\circ$ . Ma se varia la grossezza della lamina, o pur l'incidenza del raggio, variano i colori de' fascetti, sebbene conservino i periodi medesimi di loro intensità. Che se la lamina riducesi ad una grossezza, che ne' pezzi più puri può essere stabilita a  $\frac{41}{100}$  di millimetro, i colori del tutto spariscono e si avrà luce bianca.

212. Questo esperimento fu la prima volta recato in luce nel 1811 dall'Arago, e in altri modi, e senza che gli fosse conosciuta la scoperta dell'Astronomo francese, venne eseguito dal Brewster nel 1812; e di allora in poi è stato l'argomento dello studio e de' travagli di più fisici, e più di ogni altro del Biot, che fece belle, delicate e numerose esperienze, che si leggono in una sua memoria che porta il titolo: *Ricerche sperimentali e matematiche sulla luce*.

Ragionando adunque il Biot sopra questo esperimento, ne dedusse che le particelle della luce polarizzata ordinariamente per l'azione della laminetta di calce solfata si dividono in due porzioni, l'una delle quali conserva la sua primitiva polarizzazione e passa a traverso di  $L'L'$ , e



l'altra perde questa polarizzazione, ed una nuova straordinaria ne acquista, in virtù della quale non traversa più  $L'L'$ , ma da questo si riflette. Separandosi quindi la luce bianca in queste due porzioni diversamente polarizzate, ne segue che pigliano tinte diverse, le quali sono complementarie, perchè unite formano, come devono, il bianco. Ma se la lamina ha notevole grossezza, allora questa colla sua azione depolarizza tutte le particelle lucide, e a tutte imprimendo una polarizzazione straordinaria e comune, non le separa, e la luce si mantiene bianca.

Andò inoltre ricercando il verso in cui ha luogo la polarizzazione straordinaria. Suppose che l'angolo formato da' due piani, giusta cui si fanno la polarizzazione primitiva e la straordinaria, sia  $= 2x$ . E però girando il piano di riflessione di  $L'L'$  nell'azzimuto medio, o sia  $x$ , il raggio riflesso sarà bianco, poichè rifletterà ivi in un'eguale proporzione le tinte della luce polarizzata ordinariamente e straordinariamente, che unite insieme formano il bianco. Fu a questo carattere che venne riconoscendo la direzione  $x$  in qualunque posizione data dalla lamina attorno del raggio polarizzato. Di fatto venendo all'esperienza, si accorse che questa direzione combacia coll'asse della lamina cristallizzata, e se il cristallo ha due assi, colla linea media tra questi due assi. Dimodochè se questo asse forma un angolo qualunque  $i$  col piano di polarizzazione primitiva, l'immagine riflessa da  $L'L'$  sarà bianca, quando il piano di riflessione sulla sua superficie sarà diretto nell'azzimuto  $i$ ; e però  $2i$  è l'azzi-

muto della polarizzazione novella. E perchè si possano fissare le idee, sia un raggio bianco polarizzato secondo  $CX$  (*fig. 67*) che cada perpendicolarmente sopra una lamina di calce solfata, la cui grossezza non oltrepassa 0,45 di millimetro, il cui asse  $CA$  faccia un angolo qualunque  $i$  colla direzione  $CX$  della polarizzazione primitiva; il raggio trasmesso da quella lamina si osserva composto di due fascetti diversamente polarizzati, l'uno nell'azzimuto zero, o sia nella direzione  $CX$  della polarizzazione primitiva, e l'altro nell'azzimuto  $2i$ , o sia secondo la direzione  $CX'$  egualmente lontano dall'asse, ec. Egli è chiaro dopo ciò, perchè la tinta straordinaria riflessa giunge al suo *maximum* quando l'asse della lamina forma un angolo di  $45^\circ$  col piano primitivo di polarizzazione. Poichè quella tinta essendo polarizzata nell'azzimuto doppio, gira allora i suoi assi di polarizzazione secondo  $CY$  ad angoli retti sopra  $CX$ . E come il vetro  $L'L'$  (*fig. 66*) ha anche il suo piano di riflessione diretto secondo  $CY$  nel verticale di est ed owest; così trovasi nella posizione più favorevole a riflettere, ed ha luogo perciò il *maximum* di tinta straordinaria. Per la stessa ragione gli stessi massimi si replicano negli altri quadranti degli azzimuti  $135^\circ$ ,  $225^\circ$ ,  $315^\circ$ ; giacchè i doppi di questi numeri essendo multipli semplicemente pari di  $45^\circ$ , pongono gli assi di polarizzazione del fascetto straordinario sopra  $CY$  o  $CY'$  ad angoli retti con  $CX$ . Si possono leggere nel tomo IV, lib. 6, cap. 2, del *Trattato di Fisica* del Biot tutte le formole con cui si calcolano e prevedono i varj gradi di queste tinte negli altri azzimuti.

213. Fu osservato che la tinta delle particelle lucide che perdono la primitiva polarizzazione ed acquistano la straordinaria, è sempre quella di un anello colorato riflesso giusta l'esperienza del Newton (num. 168 e 169), e la tinta delle altre particelle che conservano la polarizzazione primitiva, è sempre quella di un anello colorato trasmesso corrispondente. Osservò inoltre pel primo il Biot che le grossezze di due lamine cristallizzate della medesima natura, le quali manifestano due tinte qualunque straordinarie, sono tra esse come le grossezze delle lamine di aria che riflettono delle tinte simili negli anelli colorati. Ma sebbene sieno proporzionali, pure i valori assoluti sono maggiori, e questi valori per tinte simili sono ineguali in cristalli diversi. Di fatto nella mica di Siberia la più pura e nella calce solfata la proporzione delle grossezze successive che ci danno delle tinte simili, è la stessa; ma il valore assoluto della mica in riguardo a quello della calce solfata :: 696:365.

214. Ora dall'accordo di quei colori, e da questa proporzionalità di grossezze che han luogo quando la luce incidente è bianca, argomentò il Fisico francese che qualunque raggio omogeneo traversando i cristalli doppiamente rifrangenti ha degli accessi di polarizzazione ordinaria e straordinaria, come negli anelli colorati ha quelli di trasmissione e di riflessione. E siccome un raggio omogeneo è trasmesso o riflesso nell'esperienze Newtoniane agli intervalli di grossezza  $g$  compresi nella serie  $0, g, 2g, 3g, \text{ec.}$ ; così nel traversare il cristallo dotato di doppia rifrazione viene con alternative somiglianti

polarizzato ordinariamente e straordinariamente. Di fatto, dic'egli, le particelle di un raggio omogeneo polarizzato ordinariamente nel procedere alla grossezza zero sino alla fondamentale  $g'$  conservano la polarizzazione primitiva nell'azzimuto  $CX$ , ossia zero, e da questa grossezza  $g'$  procedendo più oltre a  $2g'$  lasciano la polarizzazione primitiva per prendere la straordinaria nell'azzimuto  $2i$ . E poi di mano in mano si mostrano polarizzate alternativamente e nell'azzimuto zero e  $2i$  secondo il numero delle grossezze che han traversato in corrispondenza all'alternativa di trasmissione o di riflessione. Dimodochè chiamata  $g$  la grossezza fondamentale di un dato colore omogeneo, le molecole che lo compongono, da  $g$  sino a  $2g$  fan le viste di aver lasciato la polarizzazione primitiva per pigliarne una novella nell'azzimuto  $2i$ , e quindi da  $2g$  sino a  $3g$  di aver lasciato questa seconda per pigliar la prima nell'azzimuto 0: e così successivamente questo colore omogeneo si troverà polarizzato straordinariamente alle grossezze  $g$ ,  $3g$ ,  $5g$ , ec., nella progressione dei numeri impari, e in quella de' pari 0,  $2g$ ,  $4g$ , ec. polarizzato ordinariamente. Questi valori intanto, che son diversi nel medesimo cristallo per li diversi colori omogenei, sono in ciascuno proporzionali alle rispettive lunghezze degli accessi di facil trasmissione e riflessione.

Stabilita una sì fatta alternativa di polarizzazione straordinaria e primitiva, egli è chiaro che l'asse di polarizzazione delle molecole lucide si volterà (num. 205) alternativamente dall'azzimuto  $2i$  all'azzimuto 0; o in

altri termini, nel tempo che quelle molecole traverseranno le rispettive grossezze del cristallo doppiamente rifrangente, faran di continuo delle oscillazioni che avranno per limiti  $2i$ , oppure zero, in riguardo all'asse o direzione della loro polarizzazione primitiva. Questi limiti, per tutte le particelle che movono nella medesima direzione, sono gli stessi, ma la durata in cui ogni colore eseguisce le sue oscillazioni è diversa. Più rapide sono le oscillazioni del color violetto dello spettro, che le altre del color rosso; e quelle in riguardo a queste presso a poco :: 622:1000, o pure di 10 a 16. Di modo che i tempi delle oscillazioni di ciascun colore dello spettro a partir dal violetto per andare al rosso formano una scala che va di mano in mano crescendo.

Questo movimento oscillatorio si ferma quando le molecole lucide giunte alla superficie della lamina del cristallo emergono nell'aria, o in altro mezzo che non è fornito di doppia rifrazione. In tal punto analizzando il raggio emergente o col cristallo della calce carbonata, o con un vetro acconciamente disposto ed inclinato (n°. 198–99), si osserva che le molecole lucide si danno a vedere quali sarebbero se dotate fossero pienamente di quel lato di polarizzazione, verso cui l'ultima oscillazione le conducea, sia che questa fosse stata da esse perfezionata, o pure incominciata.

Conchiude da tutto ciò il Biot, che quando un raggio di luce semplice già polarizzato traversa perpendicolarmente una laminetta cristallizzata parallela all'asse di doppia rifrazione, le molecole lucide penetrano da prima

sino ad una certa profondità senza perdere la loro polarizzazione primitiva, e poi procedendo più oltre si mettono a dondolare periodicamente sopra sè stesse in tal modo, che l'asse di polarizzazione si trasporta alternativamente da una parte all'altra dell'asse del cristallo in eguali ampiezze; non altrimenti che un pendolo intorno alla verticale, da cui si è allontanato. Dopo di che di leggieri si comprende perchè questo stato di apparente moto, in cui per l'azione del cristallo par che si trovino gli assi delle molecole lucide prima di fermarsi, è chiamato da lui *polarizzazione mobile*, a differenza dello stato permanente e definitivo che fu detto *polarizzazione fissa*.

215. La forza che produce la polarizzazione mobile, opina questo Fisico che si possa rappresentare per un effetto di ripulsioni e di attrazioni esercitate oppostamente dalle particelle del cristallo su gli assi delle molecole lucide (num. 206) con un'energia minore di quella che produce la polarizzazione fissa. Gli elementi da' quali, a creder di lui, viene una sì fatta forza, sono il numero delle particelle che attirano e respingono, o sia la grossezza del cristallo; la lunghezza del tragitto che fa la luce a traverso il cristallo; e 'l seno dell'angolo che forma col raggio incidente l'asse del cristallo, da cui emanano le ripulsioni e le attrazioni. Per lo che variando questi elementi varia l'energia di quella forza, ed in corrispondenza il numero delle molecole lucide oscillanti, e la rapidità delle loro oscillazioni. Quando poi questa forza si eguaglia a quella che ferma la polarizzazione, le

oscillazioni cessano, e la luce piglia la polarizzazione fissa.

216. Ritornando ora all'esperienza, corre agli occhi di tutti in qual modo venga il Biot dichiarando le tinte de' fascetti lucidi in virtù della polarizzazione mobile. Quando il raggio bianco polarizzato ordinariamente entra nella lamina di calce solfata, le sue molecole non soffrono alcun cangiamento sensibile nelle direzioni de' loro assi sino alla grossezza  $g$ , ch'è diversa per ciascuna specie di colore. Ma giunte a questo punto cominciano ad oscillare intorno ai loro centri di gravità non altrimenti che la spirale nell'orologio. E come le celerità di sì fatte oscillazioni son diverse pe' diversi colori, così ad ogni grossezza della lamina si trovano colori diversi nei due limiti delle oscillazioni  $0$  e  $2i$ . Però si producono i due fascetti colorati, le cui tinte son complimentarie, allorchè si analizza la luce che emerge dalla laminetta di calce solfata. Ma oltrepassando un certo termine, cresciuto il numero delle molecole lucide oscillanti, come cresce la grossezza della lamina (num. 214), queste molecole nei limiti delle oscillazioni si rimescolano, e i colori variano, come avviene negli anelli Newtoniani. Riunendosi in fine tante molecole diverse, quante sien bastevoli a formare il bianco, questo si forma e diviene sempre più perfetto. È questa la ragione per cui nella calce solfata alla grossezza di  $\frac{45}{100}$  di millimetro i colori spariscono e vi ha la luce bianca.

Noi, per non confondere la mente de' giovani, lasciamo di qui riferire gli altri esperimenti del Biot, e quei in particolare del Brewster, che molte cose aggiungono e modificano alla teorica e alle osservazioni di quel Fisico. Ci giova soltanto di far cenno de' fenomeni che si osservano quando un fascetto di raggi convergenti polarizzati ordinariamente cada sopra una laminetta di un cristallo che doppiamente rifrange.

### Esperimento VII.

Riguardando alla *fig. 68*, *MM* è un gran disco di vetro annerito alla superficie posteriore, su cui si polarizza per riflessione un lungo fascetto di luce bianca delle nuvole, di modo che venga questo fascetto accolto senza niente riflettersene dal vetro nero *VV*; e ciò accade allorchè l'occhio situato in *O*, e guardando nel vetro *VV*, vede tutta oscura la superficie del disco *MM*.

Disposte in questo modo le cose, s'introduca nel tragitto de' raggi una lamina di spato di Olanda *LL* tagliata perpendicolarmente all'asse di cristallizzazione, e si giri in tal guisa che riceva il raggio polarizzato sotto l'incidenza perpendicolare. Allora l'occhio fisso in *O* osserva nel vetro *VV* una moltitudine di anelli colorati concentrici separati in quattro quadranti da una croce nera, le cui branche van dilatandosi a misura che si allontanano dal vetro, non altrimenti che fanno le comete, e come si vede nella *fig. 69*. Si trova inoltre nel centro degli anelli una macchia nera cinta da un circolo turchino cupo, che presto si cangia in bianco che tira al turchino, e poi in



bianco perfetto, quindi in giallo pallido, in aranciato ed in rosso (n.° 168), come nel primo anello riflesso del Newton. I colori degli altri anelli seguono parimente nello stesso ordine tanto lungi che si può scorgere, e la croce nera non partecipa in niente alle loro gradazioni. La grandezza in fine degli anelli cangia colla distanza dell'occhio alla lamina cristallizzata, perchè aumenta quando se ne allontana, e diminuisce quando vi si avvicina. Si conserva poi la stessa quando l'occhio si muove parallelamente alla lamina.

217. Questi fenomeni degli anelli colorati si dichiarano dal Biot co' principj della polarizzazione mobile. Poichè crede che le forze polarizzanti esercitate dalla lamina su i diversi raggi, che la traversano obliquamente al suo asse, giungono a depolarizzare le molecole lucide. E come la loro energia è ineguale a distanze ineguali, e resta la stessa ad una stessa distanza intorno all'asse; così debbono esse colla polarizzazione straordinaria o mobile che cagionano, siccome si sa pel num. 212, far manifeste in giro le diverse tinte, ch'essendo eguali a distanze eguali producono gli anelli colorati che si osservano: dimodochè le due linee nere, che s'incrocicchiano (*fig. 69*), sono formate da raggi che conservano a causa della loro posizione la loro polarizzazione primitiva, e trasmettendosi altrove lasciano una serie di macchie che danno origine a quelle due linee. Mu niuno dei raggi che traversano la lamina fuori di queste linee, conserva la polarizzazione primitiva almeno in tutto. Una parte del raggio la perde, e si ripolarizza in modo che il resto del-

le molecole lucide oscilla colla polarizzazione mobile. Però questa porzione ripolarizzata giunta al vetro *VV* è riflessa e mostra il colore (Vedi il *Trattato di Fisica* del Biot, tomo IV, pag. 483).

218. Ma tutte queste dottrine del Biot sulla polarizzazione mobile sono rigettate dal Fresnel, e da quei che si accostano all'ipotesi delle ondulazioni. E in verità l'esperienze e le difficoltà che hanno opposto e 'l Fresnel e l'Arago e l'Ampère a quella dottrina sono tante e di tal momento, che par se ne giunga a dimostrare l'insufficienza (Vedi il *Supplimento del Sistema di Chimica* del Thomson, pag. 97 e seg.). Tutta la differenza che corre, a parere dell'Arago, tra il Biot e 'l Fresnel nasce da ciò, che sebbene un raggio traversando una lamina sottile di calce solfata si divide in due, uno ordinario e l'altro straordinario; pure questi due raggi solo matematicamente seguono nel cristallo cammino diverso, nè fisicamente riesce possibile di separarli. Indi è venuto che il Biot, senza separarli, li ha esaminati in massa nel punto di emersione; ed avendo osservato che in certi casi questa luce, composta da' raggi ordinario e straordinario, ora facea la vista di conservare la sua polarizzazione primitiva, ed ora di polarizzarsi tutta nell'azzimuto  $2i$ , ne dedusse che le lamine sottili operano in modo diverso de' cristalli grossi. Il Fresnel poi quantunque separato non abbia le due maniere di raggi emergenti, pure ebbe cura d'isolarli in certo modo per via degli effetti. Poichè ebbe l'accorgimento di mandare nello spazio, in cui si trovano i raggi ordinarj e straordinarj, un fascetto di rag-

gi polarizzati nella stessa guisa che i primi. E come l'esperienza gli avea insegnato che l'interferenza può aver solamente luogo tra i raggi che originariamente sono stati polarizzati nel medesimo verso; così dalle frange scure e brillanti, che risultavano dalla interferenza de' raggi ordinarij e degli altri aggiunti ch'erano egualmente polarizzati, gli venne fatto di conoscere ciò che prima non sospettavasi; cioè, che la luce polarizzata secondo un piano potea esser composta di raggi polarizzati secondo direzioni differenti. E così diede a vedere che l'equivoco del Biot era in ciò riposto, che applicava a' raggi ordinarij e straordinarij, presi separatamente, un modo di polarizzazione che avea luogo soltanto nella loro unione. E in verità belli e dilicati sono gli esperimenti con che il Fresnel dimostra come dalla interferenza de' raggi ordinarij e straordinarij, che son dotati di celerità diversa, risultar ne possono le diverse tinte e tutti i fenomeni che il Biot attribuisce alla polarizzazione mobile. A questi esperimenti aggiunge quegli alcune formole generali, con cui calcola, prevede e determina ogni ancorchè minima circostanza dei colori che han luogo per mezzo delle lamine cristallizzate. Si possono leggere gli esperimenti e le formole del Fresnel dalla pag. 113–135 del *Supplimento alla Chimica* del Thomson, e alla pag. 267 del tomo XVII degli *Annali di Chimica e Fisica*.

219. Or da tutto ciò è facile il raccogliere che la dottrina del Biot intorno alla polarizzazione mobile è forte contrastata da' fatti, e che l'ipotesi del Fresnel, ancorchè ingegnosa e munita di formole e di calcoli, non giunge

ancora a sodezza e verità. A noi basta aver dato un puro e semplice cenno de' fenomeni intricati e molteplici della polarizzazione, affinché gli studiosi sieno in istato di comprendere le fatiche de' fisici intorno a questo e ampio e novello ramo della fisica. Si potranno quindi leggere: la *Teoria della doppia rifrazione* del Malus, le *Memorie dell' Instituto*, il *Giornale della Scuola politecnica*, le *Memorie della Società Filomatica*, e gli *Annali di Fisica e Chimica*, dove sono registrati i travagli dell' Arago, il quarto volume del *Trattato di Fisica* del Biot, le *Memorie* del Brewster inserite nelle *Transazioni filosofiche per gli anni 1815–17*, e principalmente del 1818, articolo XIII, e le memorie di tanti altri fisici che al presente si occupano della polarizzazione della luce.

220. Esposti i fatti principali e i principali fenomeni della luce, ci resta ora a sapere se essa sia lanciata, come alcuni vogliono, da corpi luminosi, o pure risulti, come altri credono, dalle vibrazioni d'un fluido eminentemente sottile sparso nello spazio. Ma prima di ogni altro è da porre mente che non tutte ancora si conoscono le proprietà della luce, e molti sono i fenomeni che restano ancora oscuri e desiderano delle illustrazioni, così nell'una, come nell'altra ipotesi. Per quanto i Newtoniani levino e mettano forze attrattive e ripulsive, vanno tastone, e si arrestano, ed incerti ed impediti sono nel dichiarare i fenomeni della diffrazione. E quei che si accostano alle ondulazioni confessano del pari con ingenuità che impacciati sono nel diciferare gli argomenti che riguardano l'assorbimento della luce, come sono la rifles-

sione sulle superficie metalliche e su i corpi neri, il passaggio della luce a traverso i corpi imperfettamente traslucidi, e i colori propri de' corpi. Ma parlando de' fenomeni più comuni e de' fatti principali, non vi ha dubbio che l'ipotesi dell'emissione sia più intelligibile, spieghi con più semplicità i fenomeni, un linguaggio adoperi più facile. Ciò non pertanto è così maravigliosa la picciolezza che si deve concedere alle molecole lucide, e così difficile a comprendere che si fatte picciolissime molecole sien fornite di poli diversi, e dotate sieno di eguale celerità da qualunque corpo lucido che vengano lanciate (sia che questo fosse la bambagia che brugia, o pure la grandiosa massa solare), che la mente nostra stenta a porre come certa una sì fatta ipotesi. Non vi ha parimente dubbio che tutti i fenomeni della rifrazione si dichiarino spontaneamente e coll'esattezza del calcolo per mezzo di forze attrattive, come fanno i Newtoniani, a differenza di quei che seguaci sono delle ondulazioni, i quali più ingegnosamente che con sodezza li vanno affazzonando ed interpretando. Ma come non bastano a ben comprendersi i fenomeni tutti le sole forze attrattive, son costretti i Newtoniani a recare innanzi le ripulsive, ed ora a dar di mano a queste ed ora a quelle, ed ora ad introdurre gli accessi di facile riflessione e trasmissione, ed ora a mettere in movimento per via di quelle forze i poli delle molecole lucide. Le quali cose non danno unità, e slegati lasciano i fatti della luce, senza unico principio che li esprima e connetta. Spiegano al contrario i partigiani delle vibrazioni con un solo princi-

pio tutti i fenomeni che a prima vista differenti e di ordine diverso compariscono. Dall'esperienza ricavano solamente le diverse lunghezze delle ondulazioni della luce ne' diversi mezzi che traversa, e sopra questa base fondano le loro formole, colle quali calcolano i diversi fenomeni della diffrazione, quelli degli anelli colorati, e gli altri della rifrazione, in cui il rapporto del seno d'incidenza al seno de' raggi rifratti è lo stesso delle lunghezze delle ondulazioni ne' due mezzi, e i colori e i singolari modi di polarizzazione che manifestano le lamine cristallizzate. Son quindi di avviso che legando il sistema delle ondulazioni tutti i fenomeni dell'ottica, e racchiudendoli in formole generali, meriti da sè la preferenza sopra l'altro dell'emissione, che slegati li lascia e mutuamente non li rischiara. Ma non avvertono essi che una sì fatta legagione non è sempre vera, perchè non è sempre naturale. Non senza stento dichiarano la varia rifrangibilità de' colori, e la loro separazione dalla luce bianca per mezzo della rifrazione; e non senza durare gran fatica interpretano alcuni fenomeni della polarizzazione a via di onde e di vibrazioni. E in generale si può dire che i partigiani dell'una e dell'altra ipotesi son più gagliardi quando attaccano, che quando si difendono; segno evidente che ancora non hanno per le mani la verità. Ciò non pertanto è da confessare che ai nostri tempi, per l'urto di queste due opinioni, si sono conosciute alcune proprietà della luce che prima si ignoravano, meglio sonosi compresi alcuni fenomeni che prima erano oscurissimi, altri ch'erano slegati si sono iti ravvicinan-

do e raccozzando; e si può dire che questo ramo della fisica si è accresciuto a tal segno, che le scoperte che hanno avuto luogo in questi ultimi tempi, han sorpassato di gran lunga tutte le osservazioni e tutti gli esperimenti che si erano anteriormente fatti. Basta in fine di notare, tra le tante, alcune applicazioni utilissime delle nuove scoperte, Biot ha immaginato il *colorigrado*, strumento che compara e riconduce in una maniera precisa i colori propri de' corpi a quelli che si manifestano colla polarizzazione mobile, ed agli anelli colorati. Arago poi profittando della scoperta dei colori che si traggono dalle lamine sottili, trovò il modo di riconoscere con esattezza l'eguale intensità di due raggi, problema che gran lume fornisce alla *fotometria*. Divide egli in prima ciascun raggio in due immagini colorate, l'una a cagion d' esempio verde e l'altra rossa, e poi combina il verde dell'una col rosso dell'altra; perciocchè se i raggi primitivi sono eguali, si riprodurrà il bianco, come se i due colori traessero la loro origine dal medesimo fascetto. Ma checchè sia delle due opinioni intorno alla luce che al presente sono in voga, egli è certo che sia per mezzo delle vibrazioni, sia per mezzo delle particelle lucide, si opera sopra l'organo dell'occhio la visione, ultimo argomento in cui ci facciamo a considerare la luce.

## CAPO X. — DELLA VISIONE E DEGLI STRUMENTI OTTICI.

221. La conoscenza, o, come dicesi, la percezione de-

gli oggetti prodotta dalla luce dicesi *visione*, e l'occhio è l'organo per cui se ne trasmette l'impressione. Ora quest'organo risulta, come si vede nella *fig. 70*, da un bulbo quasi sferico situato in una cavità ossea che chiamasi *orbita*, ed è difeso al di fuori da tegumenti finissimi, facilissimi a contrarsi, che diconsi *palpebre*. È egli formato da più membrane; la prima delle quali *AB*, *AB* è dura, biancheggianti, elastica, lamellare, e si denomina *sclerotica*, o *cornea opaca*, la quale nella parte anteriore è diafana, sottile e più convessa, ed imita il vetro di una mostra, come si vede in *AgA*. Però in questa parte anteriore piglia il nome di *cornea trasparente*, ch'essendo ricoperta da una membrana bianca detta *adnata* o *albuginea*, forma il bianco dell'occhio.

Alla sclerotica si unisce dalla parte interna una seconda membrana di tessuto villosa, chiamata la *coroide*, la quale nereggi a cagione della *membrana di Ruischio*, che ad essa aderisce. La coroide poi va a finire in *DD* sotto la protuberanza della cornea trasparente in un anello membranaceo che pianeggia, ed è chiamato l'*uvea*, che porta l'*iride*, o sia un cerchietto colorato, nel cui centro stassi la *pupilla*, o sia il foro interposto tra *D* e *D*, ch'essendo capace di restringersi e dilatarsi per mezzo di alcune fibre, regola la quantità de' raggi che penetrano nell'occhio. Avvi in fine presso la superficie interna della coroide la *retina CV*, *CV*, o sia una delicatissima e trasparente membrana nervosa composta di fibre sottilissime con molta sostanza di midolla, sicchè volgarmente credesi un'espansione del nervo ottico. È di fatto



nella retina il tatto, dirò così, della luce, e da essa portasi e diramasi l'impressione al cervello.

Sotto l'iride avvi un allungamento della coroide, che si chiama *ligamento ciliare*, ed è destinato a sostenere dinanzi la pupilla la lente cristallina, detta anche cristallino. È questa lente di convergenza un corpo diafano, la cui convessità è più grande dalla parte posteriore che dall'anteriore; ed è così situata, che il suo asse coincide con quello dell'occhio, ed unisce i centri della pupilla e del bulbo. In questo modo per via delle membrane e della lente cristallina dividesi l'occhio in due cavità: l'una racchiusa tra la cornea e l'uvea, e tra l'uvea e la lente cristallina, che si può rappresentare da *DaaDAA*; e l'altra, posteriore e più grande, è posta tra il cristallino e la retina, e viene indicata da *VVCbC*. Questa è ripiena di un umor trasparente mucilaginoso e senza colore, che è chiamato *vitreo*, ed è contenuto da una sottile tunica, su cui appoggiasi la lente. E quella è piena di un fluido trasparente, senza odore e alquanto salso, che dicesi *aqueo*, perchè ha una gravità ed una forza rifrattiva eguale a quella dell'acqua.

222. Dalla descrizione dell'occhio è facile il comprendere in che modo i raggi della luce ci possano dare a conoscere gli oggetti esteriori. Sia in fatti *ABC* (*fig. 71*) l'oggetto collocato avanti l'occhio: non vi ha dubbio, pel num. 47, che ciascun punto di quest'oggetto manda all'occhio una piramide lucida. Ma di tutte queste piramidi consideriamo, per non confonderci, come composta di tre raggi quella sola di mezzo che si parte

da  $B$ , e delle altre due che si partono dall'estremità  $A$  e  $C$ , non riguardiamo che i soli assi  $AE$ ,  $CG$ . Or di queste tre piramidi i tre raggi  $BD$ ,  $AE$ ,  $CG$ , che ne formano gli assi, come quelli che cadono normali sull'occhio, non stanno sottoposti ad alcuna rifrazione (num. 118), e irrifratti continuano il loro cammino sino al fondo dell'occhio. Ma non così avviene pe' due raggi obliqui  $BE$ ,  $BG$ , che fan parte della piramide di mezzo. Questi cadendo sulla cornea, e più d'ogni altro sull'umor aqueo, si rifrangono avvicinandosi alla perpendicolare (num. 119), e perdendo la loro divergenza si riducono a paralleli, o acquistano della convergenza (num. 132). E però si torcono in  $ET$  e in  $GP$ . Passano poi dall'umore aqueo nel cristallino, e di nuovo si rifrangono avvicinandosi alla perpendicolare, e piglian così il sentiero  $Tt$ ,  $Pp$ . Ma uscendo dall'umor cristallino per entrare nel vitreo che ha minor densità, si rifrangono allontanandosi dalla perpendicolare (num. 119). E però allontanandosi il raggio  $Tt$  dalla normale  $Cc$ , e 'l raggio  $Pp$  dalla normale  $Aa$ , vengono tra loro a convergere, e si vanno a riunire nel punto  $b$  della retina. E come lo stesso deve succedere per le piramidi che si partono dai punti  $A$  e  $C$ , e dagli altri punti che sono a questi interposti; così nel fondo della retina si dipinge l'immagine  $cba$  dell'oggetto  $ABC$ ; e questa immagine, a cagione che gli assi delle piramidi lucide s'intersecano nel centro della lente cristallina, si dipinge rovesciata.

223. Questa dipintura, che si è ricavata dalla dottrina della rifrazione e dal meccanismo dell'occhio, è confer-

mata dalla vista dell'occhio artificiale, e meglio dagli occhi degli animali. Poichè tolta dall'occhio di un bue una porzione della sclerotica e della corioide, si veggono sulla retina dipinte a rovescio le immagini, e più comodamente negli occhi di quegli animali che hanno la sclerotica trasparente, come sono i conigli e i topi bianchi.

Molto si altercò una volta tra i metafisici per sapere come l'anima nostra percepisse gli oggetti, e come dipingendosi due immagini ne' nostri occhi, e queste due immagini rovesciate, non si vedesse che unico l'oggetto, e questo diritto. Ma oggi non più si parla di metafisica, che, in luogo di recare innanzi, arrestò i progressi della teorica della visione; e si confessa da tutti che ignoto è a noi come la sensazione si trasformi in percezione. Per lo che ci contentiamo di dire che i raggi scagliati dell'oggetto producono sulla retina un'impressione, e questa una modificazione per cui l'anima sente, e dopo il sentire percepisce l'oggetto. È quindi manifesto che contemplandosi, giusta i principj della scuola di Scozia, nella percezione l'oggetto, e non già le immagini che rovesciate si dipingono nella retina, si debba quello vedere unico e diritto come egli è. E in verità senza confondere, come si è fatto da' metafisici, l'immagine colla sensazione, è da avvertire che noi riferiamo la posizione degli oggetti giusta la direzione de' raggi, per cui non vediamo l'immagine *cab*, ma dirizzandoci lungo i raggi sentiamo *A, B, C*, e tutti i punti interposti. Di che segue che molto influiscono alla maniera della visione degli oggetti gli abiti da noi contratti, l'esperienza e i giudizj dell'a-

nima nostra, che sono capaci di trasformare la vista degli oggetti dinanzi agli occhi nostri medesimi.

224. Ma tornando al cammino de' raggi che penetrano nell'occhio e dipingono l'immagine sulla retina, si comprende benissimo che l'impressione si fa chiara e sensibile, quando è prodotta dall'unione de' raggi che compongono ciascuna piramide che si parte da ciascun punto dell'oggetto. E noi riguardando a sì fatto proceder della natura possiamo alcuni conseguenti ricavare, che la teorica della visione illustrano ed affinano. E primieramente se pochi fossero i raggi che compongono la piramide lucida, l'impressione ch'essi fanno è debole, e la visione risulta confusa. Indi la natura ci diede la cornea convessa, e la facoltà di dilatare la pupilla, affinchè in più copia entrar potessero i raggi dentro l'occhio. Per lo che gli oggetti distanti, come quelli che pochi raggi possono mandar sull'occhio, non si veggono distinti. Si è trovato che il limite della visione distinta per gli oggetti che non sono solitarj, ancorchè illuminati dalla più chiara luce diurna, giunge ad un angolo ottico di  $1'16''$ , e per gli oggetti solitari a quello di  $30''$ , e questo va crescendo come la luce va menomando di chiarezza in riguardo alla luce meridiana. I limiti poi della visione confusa sono assai vasti, nè si conosce fin dove estender si possano, quando l'oggetto è luminoso. Come per difetto così ancora per eccesso di luce si può turbare la visione. Poichè la copia della luce irrita il sensorio ed abbaglia. Indi è che per difenderci dalla moltitudine de' raggi vogliamo stringer la pupilla.

Ma per meglio comprendere il senso della vista, è da sapersi che l'occhio ha la proprietà di conservare le impressioni che riceve, e tanto più quanto sono più forti. Ciascun sa che girando all'intorno un ferro candente o un carbone acceso, si osserva un circolo lucido, e che dopo di aver guardato fisamente per uno o due minuti qualche oggetto luminoso o molto illuminato, chiudendo gli occhi, o pure altrove volgendoli, si continua a vedere per un certo tempo un'immagine simile all'oggetto, che dicesi *spettro oculare*. Il che non potrebbe aver luogo se l'impressione non durasse. Solamente è da notare che l'impressione di tutti i colori non dura egualmente, e pare che non tutti i fiocchi nervosi sien capaci dell'impressione di tutti i colori. Passando in fatti all'oscuro dopo di aver guardato il sole, si vedono ad occhi chiusi gli spettri giallo chiarissimo, giallo torbido, aranciato, rosso, violetto, indaco, azzurro, in quello stesso ordine con che l'impressione de' diversi colori si va gradatamente estinguendo. Molte osservazioni poi ci mostrano che tante persone non vedono tutti i colori, o almeno non li veggono alla maniera comune; giacchè si sa che il poeta Carledeau non distinguea il rosso, e 'l chimico Dalton avea lo stesso difetto; di che si argomenta che non tutti i fiocchi nervosi sono atti a trasmetterci la sensazione di tutti i colori. Anzi meglio viene ciò dimostrandosi, allorchè si distorna la vista di un corpo fortemente colorato dopo che si è a lungo riguardato; perciocchè non si ha che la sola sensazione de' colori complimentarj del primo: così se dopo di aver guardato a

lungo una carta rossa sopra un piano bianco, si rivolgono gli occhi al piano, vi si vedrà posta l'immagine non più tinta di rosso, ma di verde azzurro, ch'è complementario del rosso. Per lo che si è venuto nel pensiero che i fiocchi nervosi, i quali atti erano a ricevere l'impressione de' raggi rossi, faticati e stanchi non possono più trasmetterne l'impressione e cagionarne la percezione. Guardandosi quindi il bianco, tutti i colori omogenei, eccetto del rosso, vengono ad eccitare la loro impressione sulla retina. E come il mescolamento degli altri colori senza il rosso ci dà il verde azzurro; così tinta di questo colore complementario viene a mostrarsi l'immagine del piano.

225. In secondo luogo è da avvertire che per vedere distintamente gli oggetti, ciascuna delle piramidi lucide, che questi mandano, debba avere la sua unione o il suo fuoco su la retina in un punto unico e privo di dimensione. Poichè se i raggi di ciascuna piramide convergessero in modo che si unissero prima che giungessero alla retina o pure dopo, le piramidi contigue si rimescolerebbero tra loro e si frastaglierebbero; e le varie impressioni, cagionate da' raggi che si partono da varj punti dell'oggetto, si confonderebbero, e l'immagine si dipingerebbe confusa, e confusa risulterebbe la visione. Che se l'occhio, o per eccesso di convessità, o pure di densità negli umori, ha un potere rifrangente troppo grande, allora i raggi delle singole piramidi si uniscono prima di giungere alla retina, e la visione viene a formarsi confusa. È questo un difetto dell'occhio che si trova ne' giovani, e

dicesi *miopia*, nè si può in altro modo correggere che con vetri concavi; perciocchè tali vetri diminuendo la convergenza de' raggi (num. 133) fan sì che questi, in luogo di unirsi prima, abbiano il loro fuoco dopo, e giusto nella retina. Ed al contrario quando l'occhio per difetto o di convessità o di densità degli umori ha una forza rifrangente meno di quella che si conviene ad occhio sano, il fuoco delle singole piramidi avrà luogo al di là della retina, e la visione viene del pari confusa. Questo difetto, comune di ordinario a' vecchi, dicesi *presbitismo*, e si può solo emendare coi vetri convessi; giacchè essendo proprietà di sì fatti vetri (num. 132) di aumentare la convergenza de' raggi, vagliono ad anticipare il fuoco delle singole piramidi, e farlo cadere non già oltre, ma esattamente sulla retina. Indi è nato l'uso degli occhiali concavi per i *miopi*, e de' convessi per i *presbiti*.

226. Essendo conosciuto, pel num. 145, che il fuoco de' raggi rifratti muta di luogo al cangiare la distanza degli oggetti; così non si sapea comprendere come da' nostri occhi si potessero veder chiaramente degli oggetti che posti sono a distanze diverse; o, in altri termini, come le immagini non si dipingono al di qua o al di là della retina, ma giusto e costantemente sopra questa membrana, ancorchè gli oggetti disposti sieno a distanze diverse. Molto intorno a ciò affaticati sonosi i fisiologi cercando nella cornea, ne' processi ciliari, nell'iride, nella lente cristallina, nella retina e in tutto il bulbo una mutazione che disponga e conformi l'occhio a veder ret-

tamente gli oggetti a distanze differenti. Ma in verità si sono recate innanzi più ipotesi che fatti, ed oggi è dimostrato che il cangiamento di forma da potersi supporre nell'occhio non è bastevole a spiegare il fenomeno. Di modo che non si dubita che l'occhio sia fornito di un potere di aggiustamento; ma come accada, e in quali parti e per quali vie, del tutto s'ignora. Il certo è che vi hanno delle persone che mancano della facoltà di vedere distintamente a distanze diverse; perciocchè son limitate in tal modo a veder chiaro ad una sola distanza, che al di qua o al di là di questa veggono confusamente. E però hanno di necessità di usare degli occhiali convessi per gli oggetti più lontani, e de' concavi per i più vicini. Riflettendo in fine che i miopi hanno la cornea più, e i presbiti meno convessa, si comprende perchè quelli accolgano maggior copia di raggi, che non fan questi. Di che viene che colla stessa quantità di luce può il miope veder chiaramente, mentre il presbita non può con chiarezza vedere. E sebbene il presbita ad emendare il suo difetto ponga in opera i vetri convessi; pure questi essendo sottoposti all'aberrazione di sfericità (num. 140) gli restringono d'assai lo spazio o il campo della visione. Per lo che Wollaston a correggere un sì fatto errore ha adattato ai presbiti de' vetri da un lato convessi e dall'altro concavi, affinchè i raggi che per cagione della convessità deviano dal loro fuoco, possano a questo essere, quanto più si può, ricondotti per mezzo della concavità, o, in una parola, un errore emendare con un altro.

227. Ma l'esperienza, il tatto e gli altri sensi concor-



rono a perfezionare e rettificare la grandezza, la distanza e la figura che attribuisce la nostra mente agli oggetti che si veggono. È solamente quando ci manca la guida dell'esperienza, che noi stimiamo la grandezza e la distanza degli oggetti per mezzo dell'angolo ottico (n. 13). E siccome un sì fatto angolo decresce come cresce la distanza; così egli è chiaro che la grandezza degli oggetti cangia dinanzi agli occhi nostri come cangia la distanza. Indi è nata la distinzione della grandezza apparente dalla reale; intendendo per questa la grandezza costante che attribuisce agli oggetti l'anima nostra, quando sono alla debita distanza e ben rischiarati; e per grandezza apparente quella che si stima per mezzo degli angoli ottici, e varia come questi cangiano. Di fatto quando si guardano due linee parallele che sono molto lunghe, ci appaiono convergenti, perchè l'intervallo tra l'una e l'altra parallela, sebbene sia sempre lo stesso, per la distanza viene a sottendere un angolo che va sempre più impicciolendo. Ma ancorchè un oggetto lontano ci sembra piccolo a cagione dell'angolo ottico che ci illude; pure se noi sappiamo che sia e come sia quell'oggetto, l'anima nostra lo giudica tanto grande, quanto esso è. Un marinaio guardando il mare vede e riconosce un vascello, là dove tutti gli altri non veggono in confuso che una nuvoletta. Tanto vale l'esperienza e l'abitudine ad emendare le false apparenze del nostro vedere!

228. Ma come le abitudini rettificano talvolta gli errori della nostra vista, così talvolta ci possono condurre in inganno. Avvezzi a veder confusi gli oggetti lontani, e

chiari quei che sono vicini, siamo portati a giudicare più vicino, che non è, un oggetto assai rischiarato, e di contrario più lontano, che non è, un oggetto che tramanda poca luce. Una fiaccola in fatti in tempo di notte ci comparisce sempre molto vicina, ancorchè sia lontanissima. Indi i dipintori giungono a rappresentare in un quadro o sia in un piano tutti gli oggetti che collocati sono a distanze diverse in natura, illuminandoli più o meno, e finendone con più o meno di esattezza e precisione le parti.

229. Avvezzi del pari ad estimare le varie distanze degli oggetti dalla diversa impressione ch'eccitano su i nostri organi i raggi che da' punti di quelli si partono, giudichiamo talvolta le linee rette assai lontane per curve. Poichè essendo tutte egualmente deboli le impressioni che eccitano su noi i raggi che da' punti di quella linea assai lontana provengono, si reputano sì fatti raggi essersi da un equal distanza partiti. E però la linea retta si vede come un arco, il cui centro è riposto nell'occhio. Indi è che un'ampia pianura si vede sempre da noi terminata in circolo. E come per la distanza non si ravvisano gli angoli e le linee flessuose degli oggetti; così avviene che il sole e la luna, che sono corpi sferici, ci compariscono piani circolari, e più belli e regolari ci sembrano gli oggetti che sono mal contornati e senza simmetria, allorchè da lontano si guardano.

230. Ma gli occhi nostri sono così conformati, che loro sfugge la visione degli oggetti che sono assai lontani, o pure di quei che sono assai piccoli. Indi inventati si

sono i *telescopj*, che quelli ci avvicinano e rischiarano, e i *microscopj*, che questi ci mostrano ed aggrandiscono; e col favore di sì fatti strumenti ottici si è ampliata per noi la conoscenza delle cose, e si è aggrandita la nostra scienza. I telescopj non risultano che dalla combinazione di più lenti, e diconsi *dioftrici*, o pure di lenti e di specchi, e pigliano il nome di *catadioftrici*. In quelli il vetro e in questi lo specchio che raccoglie i raggi immediatamente dagli oggetti, dicesi *oggettivo*; e negli uni e negli altri il vetro cui si applica l'occhio, si chiama *oculare*.

Tra i telescopj dioftrici avvi quello di Galileo, che è composto di due lenti, dell'oggettiva  $C$  (*fig.* 74) ch'è una lente di convergenza, e dell'oculare  $D$  ch'è una lente di divergenza. Ma queste due lenti debbono avere i loro assi nella medesima linea retta (ch'è proprietà comune a tutti i telescopj), e l'oculare dev'essere situata prima del fuoco dell'oggettiva per una distanza eguale alla sua distanza focale. Così il fuoco dell'oggettiva  $C$  ritrovasi in  $ba$ , e l'oculare è posta in  $D$  alla debita distanza prima di  $ba$ .

Ciò posto, sia  $AB$  un oggetto assai lontano, che manda da ciascun punto de' pennelli lucidi, i cui raggi per la gran distanza s'imbattono paralleli sulla lente  $C$ . Allora non vi ha dubbio che i raggi di quei pennelli divengono dopo la rifrazione (num. 138) convergenti. E però il pennello che si parte da  $A$  andrebbe unendosi in  $a$ , e quello che muove da  $B$  in  $b$ . Ma incontrando i raggi nel cammino la lente di divergenza passano dallo stato di

convergenza a quello di parallelismo, e deviando da  $b$  e da  $a$  imprendono la via di  $f$  e di  $g$ , ed entrano nell'occhio dell'osservatore. Ma sebbene i raggi che formano ciascun pennello sieno paralleli, pure i pennelli uscendo dalla lente si muovono divergenti; ed è di necessità di avvicinare, quanto più si può, l'occhio all'oculare, affinché i pennelli che camminan divergenti incontrare lo possono e insinuarvisi.

231. Di due lenti del pari, ma ambedue di convergenza, è formato il telescopio astronomico (*fig. 75*). I raggi che compongono i pennelli lucidi, i quali si partono da' punti dell'oggetto lontano  $BA$ , passando a traverso l'oggettiva  $C$  doppiamente convessa, si rifrangono, e convergendo vanno ad unirsi nel fuoco dell'oggettiva, ed ivi descrivono (num. 147) l'immagine  $ab$ ; la quale è rovesciata, perchè gli assi dei pennelli lucidi traversando l'oggettiva incrocicchiate si sono nel suo centro. E come l'oculare  $D$ , ch'è ancora doppiamente convessa, è posta lontana dall'immagine  $ab$  per la sua distanza focale; così i raggi de' pennelli lucidi, che dopo aver descritto quest'immagine si muovon divergenti, nel passare per l'oculare divengono (num. 131) paralleli, e i pennelli lucidi vanno convergendo in  $E$ . Quivi adunque vedrà l'occhio sotto l'angolo ottico  $nEm$ , ch'è assai grande, l'immagine  $ab$  molto ampliata ed aggrandita. Sicchè il telescopio di Galileo e l'astronomico, sebbene sien formati ciascuno di due lenti, pure hanno lunghezze diverse. Poichè il primo ha una lunghezza eguale alla differenza, e 'l secondo alla somma delle due distanze focali del-

l'oggettiva e dell'oculare.

232. Siccome col telescopio astronomico gli oggetti si veggono rovesciati, perchè rovesciata si dipinge l'immagine in  $ab$ ; così guardando per mezzo di sì fatto telescopio gli oggetti terrestri ne verrebbe turbamento e confusione agli occhi nostri, che sono a vederli diritti. Indi si è immaginato il telescopio terrestre (*fig. 76*) che è composto di un'oggettiva  $C$ , e di tre oculari  $L$ ,  $K$ ,  $D$ , lenti tutte di convergenza. E però la lunghezza di un sì fatto telescopio è molto più di quella dell'astronomico. L'oggettiva è distante dalla terza oculare  $D$  per la somma delle loro distanze focali,  $D$  da  $K$  è del pari distante per la somma delle loro distanze focali, e per la somma delle loro distanze focali è lontana la prima oculare  $L$  dalla seconda  $K$ . Per lo che dipinta la prima immagine  $ab$  rovesciata, i raggi de' pennelli lucidi cadendo divergenti sull'oculare  $D$  diventano paralleli, e dopo di essersi frastagliati in  $E$  cadono paralleli sopra  $K$ ; d'onde si muovon convergenti, e unendosi ne' rispettivi fuochi descrivon di nuovo l'immagine  $ba$ , la quale sarà diritta, perchè si sono incrocicchiati in  $E$ . Finalmente partendosi da  $ba$  divergenti divengono paralleli per la rifrazione in  $L$ , e paralleli vengono all'occhio in  $M$ , dove i pennelli lucidi, che convergono, formano un angolo ottico assai più grande di quello che ha luogo quando l'oggetto  $BA$  vedesi ad occhio nudo. E però  $BA$  vedesi diritto ed aggrandito.

233. Dalla descrizione di questi tre telescopj egli è manifesto che niuna immagine fisica e reale dipingesi

nel telescopio di Galileo, nè si vede dall'occhio precisamente l'oggetto, ma un'immagine virtuale dell'oggetto, ch'è simile, ma più grande dell'oggetto. Poichè i raggi de' pennelli lucidi, che paralleli giungono all'occhio, fan sembianza di venire da un'immagine assai lontana, e situata in un luogo dove di fatto non è (n. 148). Ma nel telescopio astronomico si dipinge un'immagine reale, e due nel terrestre; dimodochè in ambidue questi telescopj non si vede, dirò così, l'oggetto, ma l'immagine dell'oggetto. Di fatto l'oggetto ci comparisce rovesciato quando l'immagine si guarda rovesciata, come avviene nell'astronomico, e si vede dritto quando l'immagine, che si guarda per mezzo dell'oculare, è dritta, come ha luogo nel terrestre. E in generale si può dire che quando il numero delle immagini è impari 1, 3, ec., l'oggetto si vede rovesciato, e quando è pari 2, 4, ec., si vede dritto.

234. Si suole adattare a' telescopj, nel piano in cui si forma l'immagine reale, un telajo che porta de' fili dilitissimi situati paralleli tra loro, che si chiama *micrometro*. Perciocchè coll'aiuto de' fili (de' quali qualcheduno è anche mobile per mezzo di una vite) si può misurare il diametro dell'immagine, contando quanti fili occupa un sì fatto diametro. E come si sa a quale misura corrisponde l'intervallo tra l'uno e l'altro filo; così facilmente si estima la grandezza del diametro dell'immagine reale che si forma nel telescopio. Donde è chiaro che di micrometro non si può guarnire il telescopio di Galileo, in cui non formasi immagine reale.

Ma le qualità da riguardarsi in questi telescopj sono

più d'ogni altro la *forza amplificativa*, il *campo*, la *chiarrezza* e la *nettezza*. Intendesi per forza amplificativa la proprietà che hanno i telescopj di mostrarci aggrandito il diametro apparente degli oggetti, e i fisici solleciti sono stati a insegnare il metodo con che si possa valutare. Siccome l'aggrandimento nasce dall'angolo ottico, con cui si vede in *E* (*fig. 75*) e in *M* (*fig. 76*) l'immagine *ab*; così quanto più cresce un sì fatto angolo rispetto a quello con che si vede l'oggetto ad occhio nudo, tanto più cresce la forza amplificativa. E però questa dal rapporto dipende di quei due angoli ottici. Ora non vi ha dubbio che un occhio situato nel centro della lente oggettiva vedrebbe l'oggetto *BA* (*fig. 75*), e l'immagine *ab* di egual grandezza; perciocchè frastagliandosi i pennelli lucidi nel centro di quella lente, l'occhio vedrebbe sotto un angolo eguale l'oggetto *BA* fuori del telescopio, e l'immagine *ab* che dentro vi si dipinge. All'angolo quindi sotto cui si vede l'oggetto ad occhio nudo sostituir si può quello che formasi da' pennelli lucidi, che s'incrocicchiano nel centro dell'oggettiva. E parimente all'angolo ottico *E* o *M* si può sostituire quello che formano nel centro dell'oculare gli assi de' pennelli lucidi, che si partono dall'estremità dell'immagine *ab*; perchè l'occhio guardando per mezzo del telescopio si colloca vicinissimo all'oculare. I due angoli ottici adunque da compararsi sono, uno che formasi al centro dell'oggettiva e l'altro al centro dell'oculare, giacchè sotto entrambi si riguarda la stessa immagine *ab*, che comparisce eguale all'oggetto veduto ad occhio nudo col primo, ed aggran-

dita col secondo. E siccome gli angoli ottici sono in ragione inversa delle distanze (num. 53); così egli è chiaro che quei due angoli formati a' centri dell'oggettiva e dell'oculare sono in ragione inversa delle distanze focali di queste due lenti (num. 131). Per lo che chiamando  $F$  la distanza focale dell'oggettiva,  $f$  quella dell'oculare, e facendo  $l$  la grandezza apparente dell'oggetto veduto ad occhio nudo, si avrà  $f:F :: 1:x$ , o sia la forza amplificativa  $= \frac{F}{f}$ , e si valuta dal rapporto delle due distanze focali, ch'esprimono quello de' due angoli ottici. Indi è che crescendo  $F$  e decrescendo  $f$ , tanto più cresce la forza amplificativa; e volendosi questa aumentare in un telescopio, si sogliono adattare delle oculari di fuoco più corto, affinchè si diminuisca  $f$ .

235. Nè questa maniera di estimare la forza dei telescopj viene meno nel terrestre (*fig. 76*) che abbonda di più lenti. Poichè non si tien conto delle due oculari  $D$ ,  $K$ , che son destinate a raddrizzare solamente l'immagine che si era dipinta rovesciata nel fuoco dell'oggettiva, e non ad aggrandirla; ma unicamente si mettono in calcolo le distanze focali dell'oggettiva  $C$  e della prima oculare  $L$ . Sicchè nel telescopio ed astronomico e di Galileo e terrestre sempre si apprezza la forza amplificativa da  $\frac{F}{f}$ .

236. Ramsden al rapporto delle distanze focali sostituì quello de' diametri dell'obbiettiva e della sua imma-



gine. Poichè considerò l'oggettiva come un oggetto in riguardo all'oculare. E come una lente convessa dipinge l'immagine di un oggetto (num. 147), così l'oculare descrive nel suo fuoco l'immagine dell'oggettiva. Dimostrò quindi che i due diametri dell'oggettiva e della sua immagine sono come le distanze focali dell'oggettiva e dell'oculare, e somministrò un metodo facile e spedito per apprezzare la forza amplificativa. Di fatto notò sopra una laminetta sottilissima di corno una divisione in centesimi di linea, ed attaccò questa laminetta ad un tubo che si può aggiungere al telescopio dalla parte dell'oculare. In questo modo si guarda a traverso il tubo l'immagine dell'oggettiva, o circoletto lucido che si descrive sul disco trasparente di corno, e se ne misura con quella divisione in centesimi esattamente il diametro. E come è già conosciuto o almeno facile è a conoscersi l'apertura del telescopio, o sia il diametro dell'oggettiva; così si viene tosto a calcolare la forza di un telescopio. Suppongasi adunque il diametro dell'apertura pollici 2,1, e quello della sua immagine 0,03; la forza amplificativa sarà  $\frac{210}{3} = 70$ ; o sia per mezzo di questo telescopio si veggono gli oggetti di una grandezza apparente 70 volte maggiore di quella sotto cui veggonsi ad occhio nudo. Questo strumento immaginato dal Ramsden si chiama *dinometro*, e, secondo altri *auxometro*.

237. Guardando per mezzo del telescopio si osserva uno spazio di forma circolare, dentro cui debbono essere

situati gli obbietti per potersi vedere. Questo spazio circolare porta il nome di *campo* di visione o del telescopio. La misura di questo campo si trae dall'angolo sotto cui ad occhio nudo si vedrebbe, e questo angolo si suole stimare per via del diametro della luna, che è di 30'. Perchè se la luna occupa tutto o metà del campo, si argomenta che questo sia di 30' o 15'. Se ne può ancora ritrarre la misura facendo passare pel mezzo del campo una stella situata nell'equatore. Poichè dal numero de' secondi che la stella impiega si può argomentare quell'angolo, sapendosi che a 4" di tempo corrisponde un angolo di 1'.

Si comprende di leggieri che sia qualità non che utile, ma necessaria, quella che un telescopio abbia un largo campo per abbracciare colla vista o tutto intero e ben contornato un oggetto, o pure più, e poter questi tra loro comparare. Però il telescopio di Galileo, il cui campo è circoscritto dal diametro della pupilla, a cagione che i pennelli lucidi (num. 230) escono dall'oculare concava divergenti, non si rivolge più agli usi del cielo, ed è stato riservato a' teatri. E in verità avendo un campo costante ed assai piccolo, non è capace di molta forza amplificativa; giacchè quanto più si accrescerebbe la grandezza apparente dell'obbietto, tanto meno si potrebbe abbracciar coll'occhio, e la visione riuscirebbe incomoda e confusa. Indi oggi coll'obbiettivo convessa e l'oculare concava si formano gli *spioncini di teatro*, che non ricercano una gran forza amplificativa, e sono (num. 231) di piccola lunghezza.

Non così avviene de' telescopj astronomico e terrestre. Siccome questi forniti sono dell'oculare convessa, da cui escono i pennelli lucidi convergenti (num. 231), che come tali entrano tutti nella pupilla; così hanno un campo, il quale è definito non già dal diametro della pupilla, ma da quello dell'oculare. Di fatto tanti sono i punti dell'aria visibile quanti quelli dell'oculare, a traverso de' quali passano i raggi che procedono dall'immagine che è stata descritta dall'obbiettiva. Essendo dunque atti questi telescopj ad avere un largo campo, sono anche capaci di sortire una gran forza amplificativa.

238. S'intende per *chiarezza* la forza della luce con cui si vedono gli oggetti per mezzo del telescopio, e si piglia di ordinario per campione quel grado o forza di luce con che sogliamo vedere gli obbietti ad occhio nudo. E definito un sì fatto grado dal diametro della pupilla, che suol valutarsi per 0,1 di poll.<sup>11</sup>; giacchè per veder chiaramente gli obbietti è di necessità che l'apertura della pupilla sia piena di raggi che si partono da ciascun punto di quelli. E però un telescopio si reputa dotato di chiarezza quando i raggi ch'escono dall'oculare vengono ad empire l'apertura della pupilla. Ma per meglio comprendere la chiarezza de' telescopj, è da ricordare che paralleli cadendo sull'obbiettiva i raggi (num. 130 e

11 Il minimo diametro della pupilla è stato valutato da parecchi fisici di millimetri 2,55, ed il massimo di mill. 6,99. Il diametro ordinario dalla medesima adottato nei calcoli dell'ottica è di mill. 2,70, o appunto di  $\frac{1}{10}$  di poll. parigino. — *Gli Editori.*

131) de' pennelli lucidi che si partono da un obbietto lontano, vengono a formare un cilindro lucido, il cui diametro è eguale a quello dell'apertura del telescopio. E parimente un pennello cilindrico vengono a formare i raggi che paralleli escono dall'oculare ed entrano nell'occhio. Per lo che se il diametro di questo ultimo pennello è di 0,1 di poll., allora il telescopio si reputa fornito di una conveniente chiarezza. E sebbene gli artefici d'ordinario lo pongano tra  $\frac{1}{20}$  e  $\frac{1}{10}$ , pure l'avvicinano più a  $\frac{1}{10}$  che a  $\frac{1}{20}$ . Ma il diametro di questo secondo pennello cilindrico dipende dal diametro del primo; giacchè questi due diametri sono tra loro come i diametri dell'obbiettivo e dell'oculare; e però se piccola è l'apertura del telescopio, assai più piccolo viene a farsi il diametro dell'ultimo cilindretto lucido ch'entra nell'occhio. Da tutto ciò egli è chiaro che non è in nostro arbitrio di accrescere la forza amplificativa del telescopio. Perchè quanto più questa si accresce, tanto più stretto viene a farsi il diametro dell'oculare (n. 238), o sia dell'ultimo cilindretto ch'entra nell'occhio, e si viene in questa guisa a perdere in chiarezza ciò che si guadagna in forza. Per altro chiunque capisce che l'intensità della luce decresce come cresce lo spazio che illumina (num. 50). E però costante restando la quantità della luce che entra nel telescopio, quanto più si amplifica la grandezza apparente dell'immagine, ossia dell'oggetto, tanto

meno questo o quella viene ad essere illuminata. Altro mezzo non vi ha per accrescere la forza amplificativa del telescopio, che aumentare la quantità della luce, aumentando il diametro dell'apertura, o sia dell'obbiettivo. Ma questo nè anco può avere luogo, come per lo innanzi si dirà, a nostro bell'agio. Indi gli ottici hanno stabilito quasi per una regola generale, che quel diametro dev'esser meno della metà della distanza focale dell'obbiettivo.

239. L'altra circostanza cui è principalmente da attendersi, è la *nettezza*, che sta nella precisione e distinzione con cui si vede e comparisce ciascun punto dell'obbietto per mezzo de' telescopj. Ad ottener una sì fatta qualità bisogna che ciascun punto dell'immagine descritta per via dell'obbiettivo dentro il telescopio fosse così terminato e distinto com'è ciascun punto dell'obbietto. Ma ciò non si può esattamente ridurre ad effetto per due cagioni principali. La prima è, che trovandosi l'obbiettivo sferica, questa produce (num. 140) l'aberrazione di sfericità. Però i raggi che passano pel centro della lente si uniscono in un fuoco ch'è diverso di quello in cui si uniscono i raggi che passano per gli orli della lente, e l'unione di questi raggi accade in un fuoco diverso di quello in cui ha luogo l'unione de' raggi che vengono da' punti vicini agli orli, e che sono al centro intermedj e agli orli. E come da ciascun punto dell'oggetto si partono de' raggi che cadono sulla superficie tutta dell'obbiettivo; così tutti questi raggi hanno un fuoco o punto d'unione diverso. Di che nasce una serie di fuochi conti-

gui da destra a sinistra e d'alto in basso, che tutti fra loro si frastagliano. Ora ciascuno di questi fuochi è l'immagine (num. 146 e 147) di un unico punto, e tutte queste immagini tra loro contigue e intersecate ci danno a vedere mal contornata e terminata l'immagine del punto corrispondente dell'obbietto. E perchè ciò avviene principalmente pei raggi che passano vicino agli orli dell'obbiettivo; così l'immagine tutta dell'oggetto è mal terminata, e la visione di essa non è mai netta. Questo difetto, che in sè pare piccolo perchè la sfericità dell'obbiettivo è di pochi gradi, cresce notabilmente per la forza amplificativa del telescopio, che moltiplica quell'aberrazione come moltiplica la grandezza apparente dell'oggetto.

240. A correggere un sì fatto errore gli ottici appongono dietro l'obbiettivo un anello opaco, che si chiama *diaframma*, il quale fa solamente passare i raggi che cadono al centro e nel mezzo della lente, e quelli ne impedisce che passano vicino agli orli. Ma in questo modo si acquista in nettezza e si perde in chiarezza, perchè restringendosi per via del diaframma l'apertura, minore viene a farsi la quantità della luce che descrive l'immagine, e la chiarezza che ne risulta. Per lo che grande è lo studio da porsi nello stabilire l'apertura dell'obbiettivo. Se questa è grande, si ottiene chiarezza, ma si reca ingiuria alla nettezza; e se è piccola, si ha nettezza, ma si offende la chiarezza. E però è da costruirsi in modo che si abbia insieme e quanto si può la conveniente chiarezza e la debita nettezza.

Altri a correggere l'aberrazione di sfericità pensarono di comporre l'obbiettivo di due lenti, una convessa e l'altra concava, affinché per mezzo di questa i fuochi de' raggi che passano per gli orli, dispergendosi di più, si avvicinasero, o pur si soprapponessero a quelli de' raggi che passano pel mezzo. Ma sebbene il calcolo sia pronto a dettare le misure con che debbono essere formate le due lenti, pure nel fatto difficile ne riesce l'esecuzione, e la mano dell'artefice non sa con esattezza mandare ad effetto le misure somministrate dal matematico.

241. La seconda causa che turba la nettezza più che non fa la prima, è la dispersione de' colori della luce.

Siccome ciascun raggio passando per l'obbiettivo si scompone in sette colori prismatici (n°. 153); così una serie si forma di sette fuochi diversi corrispondenti a sette diversi colori. Più vicino si uniscono i raggi violetti, e più lontano i rossi, e tra i fuochi di questi e di quelli vanno gli altri intermedj, secondo l'ordine loro, a collocarsi. Per lo che ne risulta una quantità prodigiosa d'immagini soprapposte e diversamente colorate del medesimo punto dell'oggetto, che comparirà confuso e indeterminato. Questo difetto poi va crescendo dal centro agli orli dell'immagine; perciocchè il rosso oltrepasserà tutti gli altri colori, e quindi succederà l'aranciato, il giallo, ec., e l'immagine tutta comparirà orlata di colori simili all'iride. E come una sì fatta confusione nasce dalla diversa rifrangibilità de' raggi che formano la luce bianca, chiamasi *aberrazione di rifrangibilità*. Sicchè le due

aberrazioni, l'una di sfericità e l'altra di rifrangibilità, sono le due cagioni che turbano la nettezza de' telescopj. Gli artefici a diminuire gli effetti di queste due aberrazioni sogliono adoperare grande studio nel dare a' telescopj l'apertura e la distanza focale conveniente. Poichè aumentandosi quella si aumenta l'aberrazione di sfericità, ed accrescendosi questa si accresce l'aberrazione di rifrangibilità, o sia lo spazio di diffusione, dentro cui si formano i fuochi dei sette colori, che suol valutarsi  $1/28$  della distanza focale. Debbono quindi restringere l'apertura senza offendere alla chiarezza, e per ottenere nettezza diminuir la distanza focale, ma senza gran pregiudizio recare alla forza amplificativa. Indi non di rado avviene che più della teorica molto influisce alla bontà di un telescopio la pratica e l'industria dell'artefice.

242. Ma per correggere l'errore di rifrangibilità si sono immaginati i *telescopj acromatici*, o sia senza colori. Suole formarsi l'obbiettivo di questi telescopj di due lenti, l'una convesso-convessa *AB* (fig. 73) di *crown-glass*, che s'incasta nell'altra doppiamente concava *DF* di *flint*, o pure di tre, aggiungendo alle prime due la terza doppiamente convessa *EC* di *crown-glass*, dimodochè da queste tre lenti una sola ne venga a risultare doppiamente convessa *AECB*. Ma sia che l'obbiettivo fosse formata di due o di tre lenti, deve sempre produrre l'effetto, che i raggi rossi e violetti emergendo dall'obbiettivo si vadano a riunire in un solo fuoco. Così il raggio *CDM* (fig. 72), come quello che cade perpendicola-



re, non si rifrange; ma  $AB$ , ch'è parallelo al primo, si disperge in modo che  $BH$  sia la direzione de' raggi violetti, e  $BI$  quella de' rossi. Passando poi questi due colori nella lente concava  $PR$  di *flint*, la loro dispersione sarà più forte, e si allontaneranno dall'asse  $CM$  assai più, che non gli si erano avvicinati per la prima rifrazione nel *crown*. Il violetto quindi  $BH$  prenderà la direzione  $HL$ , e 'l rosso  $BI$  la direzione  $IK$ , e così il violetto si troverà al di fuori del rosso dopo averlo tagliato. Finalmente entrando il violetto e 'l rosso da  $L$  e  $K$  nella lente convessa di *crown*, avverrà che quello sarà più di questo rifratto, ed ambidue si andranno ad unire nell'unico punto  $M$  dell'asse, e l'immagine sarà descritta senza colori. In verità il punto  $M$  è il fuoco comune de' raggi rosso e violetto, e anche del verde ch'è il medio. E però restano le aberrazioni de' colori intermedj, ma come queste sono piccole e trovansi quasi nascoste sotto la coincidenza esatta del rosso e del violetto, diventano insensibili.

243. Si vede da ciò che la lente acromatica è stata formata colle stesse regole del prisma acromatico. In questo i prismi debbono collocarsi in senso contrario (n. 164), ed in quella alla lente convessa si unisce la concava, perchè l'una fa convergere e l'altra divergere i raggi, e la dispersione risulta in senso contrario. Nel prisma acromatico inoltre gli angoli rifrangenti debbono essere nella ragione inversa delle forze dispersive del *crown* e del *flint glass*, e nella lente acromatica le lunghezze focali debbono prendersi in ragione inversa delle forze dispersive de' due vetri, perciocchè in questo modo angoli

si formano di dispersione eguali, o sia eguali dispersioni; le quali facendosi in direzione contraria, l'aberrazione correggono di rifrangibilità.

I matematici dimostrano che posta la rifrazione media nel *crown* ::  $n:1$ , e nel *flint* ::  $m:1$ , e posto il rapporto della rifrazione de' raggi violetti nel primo vetro ::  $N:1$ , e nel secondo ::  $M:1$ , le distanze focali delle due lenti di

*crown* devono essere ::  $\frac{N-n}{n-1} : -\frac{M-m}{m-1}$  a quella della

lente di *flint*. E siccome la rifrazione del raggio medio nel *crown* è  $1,55:1$ , e nel *flint*  $1,58:1$ ; così  $n-1 = 0,55$ , e  $m-1 = 0,58$ . La quantità poi  $N-n = 19$ , e  $M-1 = 30$  (num. 166). E però Dollond fabbricò la sua lente acromatica in modo che la lunghezza focale della convessa

di *crown* era ::  $\frac{19}{0,55} : -\frac{30}{0,58} :: 1 : -1,497$  a quella della

concava di *flint*. Ma questa legge non si trova sempre esatta nella pratica, perchè non sempre le forze dispersive sono precisamente ::  $19:30$ .

244. Nel costruire sì fatte obbiettive con due o con tre lenti i geometri hanno cercato di stabilire col favore del calcolo la proporzione tra i diametri delle lenti, onde non solo si emendi l'errore di rifrangibilità, ma di sfericità. Ma di ordinario le leggi teoriche non si possono ridurre in pratica, e gli artefici mettono in opera l'industria e la diligenza maggiore che si può per correggere quei due errori. Qualunque poi sieno le curve che si danno alle lenti, non suole mai avvenire che le convessi-

tà delle lenti di *crown* corrispondano esattamente alla concavità di quella di *flint*. E quindi tra lente e lente si lascia dell'aria, o pure vi s'introduce un poco di mastice in lagrime trasparentissime, che dotato essendo di una densità pressochè eguale a quella del vetro, s'insinua ne' pori delle superficie interne di quelle lenti, e corregge l'imperfezione del loro pulimento.

245. Corrette adunque col favore dell'obbiettiva acromatica i due errori di rifrangibilità e sfericità, l'immagine si dipinge nettissima. Distrutto oltre di che l'errore di sfericità, si può dare una grande apertura al telescopio, e ottenere l'altra qualità che è la chiarezza. E però dipinta l'immagine netta e chiarissima, si può dare al telescopio una forza amplificativa assai maggiore di quella che può darsi a' telescopj non acromatici. Ma di ordinario suol farsi acromatica l'obbiettiva, e non l'oculare; perchè l'aberrazione di rifrangibilità, che in questa ha luogo, è così piccola, che l'occhio la può tollerare. Del resto si può leggere, a meglio conoscere la costruzione de' telescopj acromatici, il capitolo dell'*acromatismo* nel tomo III del *Trattato di Fisica* del Biot, la *Storia dell'Ottica* del Priestley, e 'l Brewster sui *nuovi strumenti filosofici*.

246. Prima che Dollond avesse riconosciuto che certe sostanze fornite di un potere rifrangente ineguale poteano egualmente dispergere la luce, la più parte, seguendo Newton, si faceva a credere che costruir non si poteano de' vetri acromatici. E però i fisici si rivolsero a' *telescopj catadiottrici*, che sono formati da specchi e da vetri. Il primo è quello di Newton, che risulta dallo spec-

chio concavo  $HG$  (*fig. 77*) collocato nel fondo  $PS$  di un tubo, in modo che l'asse del tubo e dello specchio si confondano. Porta inoltre uno specchietto piano  $KI$  posto prima di  $F$  fuoco dello specchio concavo, e inclinato all'asse sotto un angolo di  $45^\circ$ . Ha finalmente l'oculare  $LT$  di fianco.

È facile a comprendersi la costruzione di sì fatto telescopio. I raggi che partendosi da un oggetto lontano entrano paralleli, si riflettono convergenti dallo specchio concavo. Per lo che andrebbero inversa a formare l'immagine  $ab$  in  $F$ ; ma come sono impediti dallo specchio piano, così torcendo di cammino senza perdere la loro convergenza vanno a descrivere l'immagine in luogo di  $ab$  in  $dc$ , dove l'occhio situato in  $O$  guarda a traverso l'oculare l'immagine  $dc$  descritta capovolta riguardo all'obbietto, e la vede aggrandita. Ma la forza amplificativa di questo telescopio si estima al par di quella de' telescopj diottrici dividendo la lunghezza focale dello specchio concavo, che fa le veci di obbiettiva, per la distanza focale dell'oculare. Poichè i due angoli ottici, uno al centro dello specchio concavo, con cui si vedrebbe l'oggetto ad occhio nudo, e l'altro nel centro dell'oculare, sotto cui si vede l'immagine, sono nella ragione inversa delle distanze focali.

Il secondo telescopio è quello di Gregory, il quale è composto di due specchi concavi, l'uno grande  $GL$  (*fig. 78*) che è forato nel mezzo, e l'altro piccolo in  $I$  che sta a rincontro del forame del primo, in maniera che gli assi de' due specchi si confondano tra loro e con quello del

tubo, e che l'uno specchio sia dall'altro distante un poco più della somma delle loro distanze focali. Al fondo poi del tubo vi si appone un altro piccolo tubo di rame, che porta un vetro raccoglitore  $rn$ , e l'oculare  $Mm$ .

In questo telescopio i raggi, che si rimbalzano dal grande specchio, vanno descrivendo l'immagine rovesciata  $ba$ . E da questo fuoco portandosi nel piccolo specchio  $I$  sono riflessi un poco convergenti. Per lo che atti sono a passare nel forame dello specchio grande  $GL$ , dove traversando il vetro raccoglitore  $rn$  sono resi più convergenti. Però dipingono l'immagine  $ab$  raddirizzata, che l'occhio applicato all'oculare vede più grande sotto l'angolo  $O$ .

Ora l'immagine  $ba$  guardata da' vertici de' due specchi è nella ragione inversa delle due distanze focali. Sicchè dividendo la distanza focale del grande specchio per quella del piccolo si ha un primo aggrandimento. Si descrive poi la seconda volta l'immagine tra i due vetri, e si ha un secondo aggrandimento nella ragione inversa delle distanze focali delle due lenti. Per aversi quindi la forza amplificativa è da attendersi alla ragion composta delle due distanze focali del piccolo specchio e dell'oculare, e l'altra della distanza focale del grande specchio e del vetro raccoglitore. Essendo 1:6 il rapporto delle distanze focali degli specchi, e 10:36 quello delle distanze focali delle lenti, sarà la forza amplificativa  $10 \times 1:6 \times 36 :: 10:216 :: 1:22$ . Un sì fatto telescopio suole adoperarsi per gli oggetti terrestri, perchè raddirizzando l'immagine mostra quelli diritti.

Finalmente il telescopio di Herschel risulta da uno specchio concavo  $HG$  (fig. 79), e dall'oculare  $mn$ . Quello è alquanto inclinato sul fondo del tubo, e questa incastrata nella grossezza dell'orlo dell'apertura del tubo è situata lontano dallo specchio per la somma delle due distanze focali della lente e dello specchio. Per lo che i raggi che cadendo paralleli sullo specchio sono riflessi convergenti, dipingono l'immagine rovesciata in  $ba$ ; e questa guardata sotto l'angolo  $O$  comparisce aggrandita nel rapporto che passa tra la distanza focale dello specchio e quella della lente. E come assai è la quantità di luce ch'entra per l'apertura di questo telescopio; così non solo si ottiene chiarezza, ma grande la forza amplificativa. Herschel ha formato de' telescopj che hanno 7, 10, 20, 25 e sino a 40 piedi di fuoco, a' quali è giunto a dare una forza amplificativa di 2, 4, 6 e 10 mila; ma egli avverte che l'occhio si deve prima, dirò così, educare ed esercitare a guardare gli astri con sì fatti telescopj. Questo telescopio ha l'inconveniente, che si deve osservare colle spalle all'astro, e in generale all'oggetto.

247. Come i telescopj ci sono utili per vedere gli oggetti che spariscono al nostro occhio per la loro lontananza; così i *microscopj* ci servono per gli oggetti assai piccoli. Una lente di convergenza di fuoco minore di 6 linee è un microscopio che chiamasi *semplice*. Poichè collocandosi l'oggetto nel fuoco di questa lente, i raggi che quello manda, passando per la lente diventano paralleli, e l'oggetto che per la sua vicinanza e la gran divergenza dei raggi non potea vedersi, riesce col favore del-

la lente visibile. Ma come l'occhio sano non può veder chiaro e distinto un oggetto piccolo, se questo non è alla distanza di otto pollici; così l'occhio riguardando l'oggetto a traverso della lente, per vederlo chiaramente ne trasporta l'immagine alla distanza di 8 pollici. Di fatto l'oggetto  $bc$  (*fig.* 80) situato nel fuoco della lente  $FG$  si vede dall'occhio sotto l'angolo  $A$ , e se ne trasporta l'immagine in  $ECBM$ , che si vede aggrandita nel rapporto dalla distanza focale della lente a quella di 8 poll.; giacchè il diametro dell'oggetto e quello dell'immagine sono le basi parallele di due triangoli simili, il cui vertice comune è nell'occhio in  $A$ . Però un microscopio la cui distanza focale è 0,1 di poll., aggrandisce il diametro dell'oggetto 80 volte, la superficie 6400, e l'oggetto tutto 512000. Poichè d'ordinario si esprime l'aggrandimento del microscopio per via del cubo, o sia per quello del corpo, e non già del diametro, per cui si cade in una specie di esagerazione.

Il microscopio si può formare di più lenti, e dicesi *composto*, come si vede nella *fig.* 81, in cui  $cd$  è l'obiettiva, presso al cui fuoco è collocato l'oggetto  $AB$ . Le piramidi lucide  $cBd$ ,  $cAd$  passando a traverso la lente andrebbero descrivendo rovesciata l'immagine di  $AB$  in  $EF$ . Ma come si frappone la lente di convergenza  $DR$ , verrà a diminuirsi la divergenza delle piramidi lucide, e ad accrescersi la convergenza de' raggi che le compongono. Laonde l'immagine in luogo di dipingersi in  $EF$ , si farà in  $ba$ , che guardata per l'oculare  $KL$  si vedrà aggrandita sotto l'angolo  $O$ .

In luogo di tre si può formare il microscopio di due o di cinque lenti, potendosi a parte dell'obbiettivo apporre una o quattro oculari. Ma per lo più si preferisce quello a due oculari, perchè la prima serve a raccogliere quanto più si può la luce per descriversi chiara l'immagine, e l'altra per veder questa aggrandita. È di necessità di porre fuori del microscopio uno o più specchi, perchè riflettano luce sopra l'oggetto situato dinanzi l'obbiettivo, e meglio sia illuminata l'immagine che nel campo del microscopio si descrive.

248. L'aggrandimento in sì fatto microscopio viene in prima dall'obbiettivo che descrive più grande l'immagine, e in secondo dall'oculare per cui si può riguardare l'immagine sotto un angolo ottico più grande. Per la prima causa si ha: il diametro dell'oggetto sta a quello dell'immagine, come la distanza dell'oggetto dalla lente obbiettivo sta alla distanza dell'immagine da questa medesima lente. Per la seconda causa poi si valuta come ne' microscopj semplici, cioè a dire dividendo 8 poll. per la corta distanza focale dell'oculare. Sia dunque 1 il diametro dell'oggetto, 4 lin. la sua distanza dall'obbiettivo, 1 poll. la distanza focale dell'oculare, e 4 poll. la distanza in cui si descrive l'immagine. Allora per la prima l'aggrandimento sarà  $\frac{4^p}{4^l}$ , e per la seconda  $\frac{8^p}{1^l}$ , ossia pigliando la ragion composta  $4^p \times 8^p = \frac{32^p}{4^l} = 98$ . Di

che è chiaro che pel microscopio basta l'obbiettivo e



l'oculare, e che l'altra lente non fa che raccogliere luce ed ampliare il campo della vista; giacchè camminando divergenti le piramidi lucide senza l'ajuto di questa lente, non si potrebbe vedere intera, ma parte dell'immagine che si descrive dall'obbiettivo.

Corre dopo ciò alla mente di tutti che i telescopj descrivono l'immagine degli oggetti lontani, e i microscopj quella degli oggetti piccoli, e gli uni e gli altri mostrano quest'immagine aggrandita per mezzo delle oculari.

249. Lieberkun infine immaginò il *microscopio solare*. Si accoglie da uno specchio piano  $AB$  (*fig. 82*) situato fuori della finestra di una camera oscura la luce del sole, ed i raggi che da questo specchio si riflettono paralleli entrano in un tubo che porta due lenti di convergenza, l'una grande  $CD$ , e l'altra piccola  $GH$ . E però i raggi raccolti dalla prima lente vanno a cadere nella seconda. Ma, prima che in questa passino incrocicchiandosi, s'introduce per un'apertura del tubo una laminetta di vetro, che si chiama *porta-oggetti*, perchè vi si posa un capello, una pulce o altro insetto  $a$ . Allora i raggi investendo la pulce o il capello col loro camminare, sono atti a descriverne l'immagine. Di fatto dopo di essersi i pennelli lucidi frastagliati nel centro della lente  $GH$  camminano divergenti, e vanno sul cartone o sulla muraglia a descrivere inversa l'immagine di  $a$ . La quale tanto più grande si descrive quanto più camminano divergenti le piramidi di luce che si partono dagli estremi dell'insetto, o sia quanto più lontano s'incontra la muraglia ov'è situato il

cartone. È assai meraviglioso l'effetto di tale microscopio: una pulce giunge a comparire un montone, e un capello una ben grossa trave. Ma quel ch'è più, conservano gli oggetti nella immagine il lor colore naturale, e se veggonsi degl'insetti, se ne osservano tutte le parti, e anche i liquidi ch'entro i loro vasellini scorrono, e se ne ravvisano il corso e i movimenti. È solamente da avvertire che conviene far descrivere le immagini ad una distanza media, perchè si dipingano più nette e meglio contornate.

250. Altri strumenti a parte de' telescopj e dei microscopj si sono immaginati o per divertimento o per utilità, de' quali è giusto di ricordare alcuni, come sono la *lanterna magica*, la *fantasmagoria*, la *camera oscura*, ed altri simili.

La *lanterna magica* fu inventata dal P. Kircher, ed è del tutto simile al microscopio solare, non in altro differendone che nell'adoprarne in luogo della luce del sole quella di una lampada, come si vede nella *fig.* 83. La luce da *C* è raccolta da uno specchio concavo ch'è situato nel fondo della cassa, ed è riflettuta a traverso il tubo *MM'NN'* che porta le due lenti convesse *L*, *Z*. In *G* poi è situata una laminetta di vetro, su cui è dipinta rovesciata un'immagine qualunque *vt*, e per cui passano i raggi lucidi. E questi incrocicchandosi in *Z* vanno diritta e più grande a dipingere l'immagine *TV* in *O* sopra un cartone.

251. La *fantasmagoria* è un'illusione che si fa per mezzo d'immagini, quali si dipingono sopra un piano

trasparente, e compariscono sotto la forma di ombre e di spettri. L'apparecchio è lo stesso presso a poco della lanterna magica. Solamente dopo il porta-oggetti hanvi due lenti convesse e non una; l'ultima delle quali, come sarebbe  $Z$  (*fig.* 83), si può avvicinare o allontanare. Quest'apparecchio si colloca in una camera oscura dietro un mussolino fatto più diafano per mezzo di gomma, in cui si dipingono le immagini. Lo spettatore adunque altro non vede che l'immagine la quale si dipinge dietro il mussolino, e questa immagine, che comparisce da prima una larva piccolissima, tutto ad un tratto cresce, e fa sembianza di avanzarsi verso gli spettatori in guisa che talvolta giunge eziandio a cagionar terrore.

È facile dopo ciò di comprenderne l'artificio. Si avvicina da prima per mezzo di carrucole l'apparecchio alla tela, ed allora l'immagine si descrive piccola in  $O$ , perchè piccola è la distanza da cui si son partite le piramidi lucide  $ZV ZT$  divergendo. Che se questa immaginetta si descrive alquanto confusa, si porta avanti o dietro la lente mobile  $Z$ , perchè i fuochi de' raggi cadano precisamente su la tela. Quando poi si vuole ingrandire, si allontana ad un tratto l'apparecchio, e la lente  $Z$  si dispone più o meno distante dall'altra  $MN$  in modo che distinta si dipinga l'immagine. Tutto l'artificio dunque consiste nell'allontanare o avvicinare l'apparecchio, per cui si viene ad aggrandire l'immagine che prima si descrivea piccola sulla tela. Quest'apparecchio illude tanto più quanto l'immagine da un piccolo punto, dirò così, si porta ad un tratto ad una grandezza notevole. Giacchè da

questo repentino aumento argomentano gli spettatori che l'immagine siesi avvicinata per la ragione che sogliamo vedere piccoli gli oggetti quando sono lontani, e più grandi ci compariscono a misura che più si avvicinano. Gli spettatori adunque che non sanno nè vedono l'artificio dell'operatore che sta dietro la tela, e trovansi allo scuro, restano illusi da quel repentino aggrandimento dell'immagine, o sia da quel falso giudizio.

252. Ciascun sa, per le cose da noi dichiarate trattando delle lenti convesse, che per mezzo di una lente di convergenza si descrive l'immagine d'un oggetto. Si è quindi costruita una cassa a forma d'una capanna piramidale, nella cui sommità s'incasta un tubo che porta una lente convessa, il cui fuoco si trova nel fondo della cassa, ch'è coperto di una carta bianca. Nella sommità e dalla parte di fuori si mette uno specchio piano inclinato a  $45^\circ$  in tal modo che rifletta sulla lente i raggi che si muovono dagli oggetti esteriori. Per lo che i raggi riflessi dallo specchio e poi rifratti dalla lente vanno a descrivere sulla carta l'immagine degli oggetti. Questa cassa colla lente e collo specchio si chiama *camera oscura*, perchè nell'interno è priva di luce, affinchè si vegga chiara e netta l'immagine che vi si descrive. Solamente nella parte anteriore la camera oscura è coperta di una tendina, che si solleva per introdurvi la testa colui che vuol vedere l'immagine degli oggetti esteriori, che vi si dipingono ben contornati e con tutti i colori. Di questa camera si servono alcuni per disegnare la veduta d'un giardino, d'un paesaggio, o d'un oggetto qualunque.

Giacchè dipingendosi con esattezza l'immagine di quelli in piccolo, se ne può facilmente di poi tracciare il loro disegno in grande.

253. Simile alla camera oscura è quella inventata dal Wollaston, che si chiama *camera lucida*. In questa l'immagine degli oggetti si reca da un vetro prismatico. Ma dee disporsi in modo che la metà della pupilla dell'occhio riceva solamente l'immagine, affinchè coll'altra metà si vegga nel medesimo tempo dipinta ben chiara sopra un cartone posto al di sotto della direzione della vista, dove si potrà di leggieri copiare.

Tanti altri strumenti comunemente si fabbricano per divertimento o pure a comodo de' dipintori, che noi lasciamo di rapportare, perchè facilmente si possono intendere, ove si sono compresi quei che sono i principali, e già da noi sono stati accennati.

## DEL CALORICO

254. Alla luce solare va sempre unito il calorico; e 'l prisma, che disperge i raggi lucidi, separa del pari i raggi invisibili del calorico. Per l'esperienze in fatti prima dell'Herschel e poi del Berard, egli è certo che il calore nello spettro solare va gradatamente crescendo da' raggi violetti sino ai rossi; giunge al *maximum* sul finire, e al di là dei raggi rossi; e poi di mano in mano decresce. Indi nello spettro prismatico veggonsi notati nella *fig.* 58 sotto i raggi colorati gli altri che sono oscuri e diconsi *calorifici*. Nè il calorico si disperge solamente, ma al par della luce si riflette, si concentra nel fuoco degli specchi concavi e delle lenti convesse, ed eziandio, secondo gli ultimi esperimenti del Berard, al par della luce doppiamente si rifrange e si polarizza. Per lo che dalla medesimezza di queste ed altre simili proprietà hanno i fisici argomentato l'identità de' due principj luce e calorico. E come oggi è in voce per la luce il sistema delle vibrazioni; così molti sono nell'opinione venuti, non altro essere il calorico che vibrazioni dell'etere, altra differenza non ponendo tra luce e calorico se non quella che nasce dalla diversa lunghezza e durata delle ondulazioni; perciocchè le vibrazioni de' raggi lucidi si comprendono tra le lunghezze di 4 e 6 in 7 diecimillesimi di millimetro, e quelle de' raggi invisibili e calorifici vanno al di là di 7 diecimillesimi di millimetro. Luce dunque e

calorico altro non è, a creder di molti, che movimento di etere, e l'una dall'altro si differisce per le vibrazioni di un ordine diverso.

Questa opinione, ch'è fondata sull'analogia che corre tra luce e calorico, viene oggi rafforzata da nuovi argomenti. Poichè vanno alcuni mostrando non potersi bene e diritto spiegare la gran copia di calorico che si svolge da' corpi per via di compressione, e più d'ogni altro per mezzo dello strofinio senza l'ajuto delle vibrazioni dell'etere. Soggiungon di più non esser certo, il calorico che si osserva nell'atto della combustione, provenire da combinazione; anzi forte si dubita che non abbia luogo per via d'ignizione senza combinazione, o sia per azione elettrica particolare. E finalmente a prova incontrastabile recano innanzi le ultime esperienze di Arago, colle quali venne distruggendo calorico, o sia generando freddo colla doppia riunione del calorico nel medesimo luogo. Il che fa certo argomento che il calorico palesa i medesimi fenomeni d'interferenza, come fa la luce, e questa e quello altro non essere che movimento e ondulazioni<sup>12</sup>.

Ciò non pertanto i chimici sono ancora tenaci a ri-

---

12 Le sperienze di cui qui fa cenno l'Autore, e che sono dirette ad indagare se il principio delle interferenze è applicabile anche ai raggi calorifici, sono state istituite e comunicate all'Arago dal Matteucci con una lettera, la quale venne presentata dal primo all'Accademia delle Scienze di Parigi nel dicembre 1831. Il Matteucci pubblicò poscia nel fascicolo di marzo e d'aprile 1832 degli *Annali delle Scienze* del R. Lombardo-Veneto la lettera in discorso e le sue ulteriori osservazioni intorno a questo intricato soggetto, di cui si parlò anche nella *Bibliothèque universelle*, mai 1832. — *Gli Editori*.

guardare il calorico per un fluido particolare che va e viene, si accumula ne' corpi, o gli abbandona, si svolge in somma e si combina; e con questo fluido si sono sforzati di chiarire e ridurre in sistema gran parte de' fenomeni chimici. Per altro l'idea di un fluido che si sparge e circola tra i corpi materializza più i fenomeni, ne facilita più l'intelligenza, e soddisfa assai più allo spirito della più parte degli uomini, che non fa quella di movimento e di ondulazione. E però dopo di aver fatto menzione del sistema delle vibrazioni andremo riferendo i fatti e i fenomeni, e questi dichiarando colla teorica de' chimici, e secondo il loro linguaggio. Ma non lasceremo di avvertire, dove che sarà opportuno, quando e come le loro spiegazioni paiono incerte e del tutto falliscono, affinché l'animo si disponga a nuovi pensamenti, o ad ulteriore riforma.

255. Ma prima di muovere il nostro ragionamento è giusto che alquanto si conosca lo strumento che hanno immaginato i fisici per misurare alcuni gradi di calore ed è chiamato *termometro*, la cui invenzione si attribuisce da alcuni a Santorio, da altri a Galileo e da molti a Drebbel. Questo strumento, ch'è rappresentato nella *fig.* 84, risulta da un sottile tubo di vetro di egual diametro in tutta la sua lunghezza, che finisce al di sotto con una palla ed è chiuso ermeticamente al di sopra. Racchiude entro una piccola quantità di mercurio, che secondo i varj gradi di calore si dilata e s'innalza, o pur si restringe e si abbassa nell'intervallo di una scala che va da 0° sino a 80°. E questo spazio della scala, che è diviso in



80°, si può dividere in 100°, o pure in 180°; ma di tale strumento se ne farà per lo innanzi più ampia parola.

## CAPO PRIMO — DEL CALORICO CHE DILATA I CORPI E DEL CALORICO SPECIFICO.

256. È oramai da tutti conosciuto che una palla di ferro che fredda passa giusto giusto a traverso di un buco rotondo, quando è riscaldata più non vi passa. Ed è parimente a tutti noto che l'acqua riscaldata in un tubo si amplia di volume innalzandosi, e una vescica che è sgonfia ed ha il suo collo legato, come si va riscaldando si gonfia, perchè l'aria in essa racchiusa col calore si dilata. Non vi ha quindi dubbio che il calorico introducendosi ne' corpi, sia che questi fossero solidi, liquidi o pure aeriformi, li dilata e ne altera le dimensioni. Per lo che i fisici intenti sono stati a ricercare in che modo e giusta quali leggi venga il calorico tali effetti ad operare.

257. E parlando in prima de' solidi, si è immaginato col nome di *pirometro* uno strumento che misura i gradi di un calore assai alto per mezzo della dilatazione de' solidi, e sopra di ogni altro dei metalli. Il più semplice si osserva nella *fig. 85*, e risulta da una sbarra di metallo, contro cui si appoggia il braccio di una leva, che termina in un ago e gira sopra un cerchio graduato. Ma sebbene in più modi se ne sia variata la costruzione, pure è da confessare che i pirometri sieno riusciti inesatti ed imperfetti. Poichè dilatandosi assai poco i metalli, si è

cercato di renderne sensibile la dilatazione per vie di ruote e di leve, le quali stando in contatto partecipano talvolta del calore, e si dilatano ancor essi, e divengono cagione d'imperfezione e d'inesattezza.

258. Ciò non pertanto, come gli strumenti di cui comunemente si usa nelle arti e nelle scienze, sono formati di metalli, e di sostanze che si alterano per caldo o per freddo, e per le vicende in generale de' climi e delle stagioni; così La Place e Lavoisier impresero un travaglio lungo, diligente e scrupoloso per conoscere in quale proporzione si dilatavano più verghe di metalli diversi, come si può leggere nel cap. 8 del tomo I del *Trattato di Fisica* del Biot. La lunghezza della verga era di una tesa, e ne osservarono la dilatazione tra lo zero e 100° del termometro centigrado, o sia tra la temperatura del ghiaccio che si fonde, e quella dell'acqua bollente. Trovarono così che per ciascun grado si dilatava

il rame	0,001717
l'argento di coppella	0,001909
lo stagno delle Indie	0,001937
il piombo	0,002848
l'oro di partimento	0,001466
il ferro dolce lavorato	0,001220, ec.

Donde è a ciascuno manifesto che eguali quantità di calorico producono ne' metalli e in generale ne' solidi dilatazioni ineguali.

259. Di questa proprietà tirano vantaggio gli orologiai per formare i *pendoli a compensazione*; giacchè congegnano delle verghe metalliche che, dilatandosi inegual-

mente in senso opposto, conservano al centro di oscillazione, siccome abbiamo dichiarato nella *Fisica generale*, la stessa posizione e distanza dal centro di sospensione, ossia conservano l'isocronismo de' pendoli. Sonosi ancora costrutti de' termometri metallici unendo insieme de' metalli che diversamente si dilatano, come si fa in Germania per via di molle a spira composte di ottone e di acciaio. Ma i migliori sono quelli del Breguet, che riescono sensibili e più esatti. Costui curva in ispira una laminetta formata di tre metalli platino, oro ed argento, in cui l'argento, come quello che più si dilata, è collocato nell'esterno. Ne ferma poi ad un punto fisso una estremità, mentre l'altra porta una lancetta orizzontale, che gira sopra un cerchio graduato in un senso o in un altro, secondo che la spira si accorcia o si allunga. Questo termometro si può osservare nella *fig. 86*; e riducesi ancora ad una scala così piccola, che si può portare in una scatola o in un anello. Egli in verità riesce molto utile quando si vogliono all'istante le più piccole mutazioni di calore; ma non si reputa esattissimo, perchè non va esente di qualche piccola irregolarità nel suo cammino.

260. La dilatazione de' solidi per mezzo del calorico pare che non sia sottoposta ad alcuna legge generale. Poichè non solo ciascun corpo solido si dilata inegualmente col medesimo grado di calore, ma lo stesso corpo con la stessa quantità di calorico si dilata di più quanto più è riscaldato. Dall'esperienze in fatti esattissime del Petit e Dulong si è ricavato che le dilatazioni del ferro,

del rame e del platino vanno crescendo a misura che il grado del calore oltrepassa quello dell'acqua bollente. Di modo che tra  $200^{\circ}$  e  $300^{\circ}$  la dilatazione è più di quella che ha luogo tra  $100^{\circ}$  e  $200^{\circ}$ ; e tra questo intervallo cresce di più, che non fa tra  $0^{\circ}$  e  $100^{\circ}$ : e in generale si può affermare che la dilatazione aumenta co' gradi di calore, e soprattutto quanto più se il corpo è fusibile, che questo si avvicina alla fusione. E però all'inverso il corpo quanto è più duro, tanto men si dilata.

261. Sebbene i solidi coll'azione del calorico si dilatano; pure l'argilla, per una modificazione particolare della sua natura, all'inverso si restringe. Indi venne in mente al Wedgewood di formare un pirometro per mezzo dell'argilla, che indica col raccorciarsi i più alti gradi del calore, riguardando l'energia del calorico come proporzionale a questo raccorciamento. Lo zero della scala di questo pirometro corrisponde al calore rosso del ferro, che equivale a  $580^{\circ}$  del termometro centigrado. Ma sebbene fosse stato un sì fatto pirometro corretto giusta gli avvertimenti del De Luc e del Guyton; pure non si reputano le sue indicazioni per certe ed esatte.

262. I liquidi al par de' solidi non solo si dilatano tutti inegualmente, ma ciascuno si dilata più quanto è più riscaldato. E in generale i liquidi coll'aggiunta di un grado di calore tanto più si dilatano quanto più si avvicinano al termine dell'ebullizione, e tanto meno al contrario quanto più da sì fatto termine sono lontani. Sicchè i solidi come si approssimano alla liquidità, e i liquidi come si approssimano all'ebullizione, vanno facendo sempre

maggiori le loro dilatazioni. Donde si è conchiuso che per un eguale aumento di calorico più si dilatano quei liquidi che più presto si riducono allo stato aeriforme. Molte infine sono state l'esperienze che si sono instituite sulla dilatazione dei fluidi aeriformi dal Volta, Dalton e Gay-Lussac, e da queste si è ricavato che tutti i gas permanenti ed eziandio i vapori esposti ad eguali gradi di calore sotto eguali pressioni tra i due limiti del termometro, neve o ghiaccio che si fonde ed acqua che bolle, o sia tra  $0^{\circ}$  e  $100^{\circ}$ , hanno una dilatazione esattamente eguale. Di fatto secondo Gay-Lussac venne stabilito che tutti dentro a questi limiti si dilatano 0,375 del loro volume a  $0^{\circ}$ , o sia 0,00375 per ogni grado del termometro centigrado. Ma i fluidi aeriformi oltrepassati quei due limiti perdono la loro uniformità nel dilatarsi, sebbene le loro dilatazioni eziandio sopra i  $200^{\circ}$  sieno molto meno discordi di quelle che altri corpi provano. Poichè dall'esperienze del Petit e Dulong egli è certo che il vetro, il rame, il platino e 'l ferro al di sopra di  $200^{\circ}$  si dilatano assai più che non fa il mercurio, e questo più che non fanno tutti i fluidi aeriformi<sup>13</sup>.

263. Dalla proprietà che hanno i corpi di dilatarsi per mezzo del calore e di ridursi alle stesse misure riducendosi alle primiere circostanze, è nata l'idea del *thermo-*

---

13 Tutte le sostanze solide e liquide si dilatano irregolarmente fra loro e in confronto ai fluidi aeriformi: cosicchè se un termometro ad aria segnasse, p. e.,  $300^{\circ}$ , quelli formati di altre sostanze indicherebbero un numero differente; e il termometro di vetro segnerà  $353^{\circ}$ , quello di rame  $329^{\circ}$ , quello di platino  $312^{\circ}$ , e quello di ferro  $373^{\circ}$ . Segnando il termometro a mercurio  $200^{\circ}$ , quello ad aria indica  $197^{\circ},09$ . — *Gli Editori*.

*metro* o sia *misuratore del calore*. In verità l'aria, esclusi i pirometri che riescono, come abbiamo veduto, imperfetti, sarebbe il corpo più adatto ad indicare i gradi del calore colle sue dilatazioni e contrazioni; giacchè è oramai conosciuto che i fluidi aeriformi (num. 264) si dilatano egualmente dentro a certi limiti. Ma un termometro ad aria ricerca un tubo assai lungo, e un apparato che non lo rende comodo all'uso; e perciò si è riservato alle sperienze più delicate. Si è quindi scelto a corpo termoscopico un liquido, e tra i liquidi si è data la preferenza al mercurio. Poichè avendo comparato Gay-Lussac le dilatazioni del mercurio alle espansioni dell'aria fra 0° e 100°, ha trovato che quelle erano a queste proporzionali, e però al par di queste uniformi. Qualità che lo rende superiore all'acqua e allo spirito di vino, che dentro a quei limiti bollendo, non possono secondo la legge generale (num. 262) egualmente dilatarsi. Il mercurio inoltre è più sensitivo d'ogni altro liquido all'azione del calorico, e in virtù di tal sensibilità è presto a segnare ogni cangiamento di calore; e ciò quantunque tra 0° e 100° l'acqua si dilati di 1/21 del suo volume, l'alcool più di 1/10, e 'l mercurio, secondo l'esperienze di Petit e Dulong, intorno a 1/55. Finalmente la sua liquidità è tale, che può abbracciare, più che altro liquido, una scala più lunga, come meglio si vedrà indicando la scala di divisione de' termometri.

264. La graduazione del termometro riposa, come si è detto, su due punti fissi e fondamentali, neve che si fonde, ed acqua che bolle. Per lo che si immerge da prima il

tubo termometrico nella neve e si segna il punto in cui il mercurio si abbassa, e poi si espone a' vapori dell'acqua che bolle, e si nota l'altezza in cui si ferma il mercurio. Posti questi due punti, se ne divide l'intervallo in parti eguali che diconsi gradi. Ma questi gradi sono maggiori o minori secondo le diverse scale che al termometro si applicano. Alcuni dividono l'intervallo tra i due termini fondamentali in 80, e altri in 100 gradi, segnando zero al punto della neve che si fonde. I primi si dicono gradi del termometro di Réaumur o meglio ottantigrado, e i secondi del centigrado, e quelli sono a questi come 4 a 5<sup>14</sup>. In Inghilterra sogliono servirsi della scala di Fahrenheit, in cui il medesimo spazio è diviso in 180 parti; ma in questo è notato per 32° il termine della neve che si fonde, e però 212° quello dell'acqua bollente; di modo che questi gradi sono a quelli di Réaumur come 9 a 4, e a' centesimali come 9 a 5<sup>15</sup>. Conosciuti quindi i rapporti 4, 5 e 9 che hanno le tre scale, e dati i gradi di un termo-

---

14 Il termometro ottantigrado viene impropriamente denominato di Réaumur: perciocchè il vero termometro di questo Fisico ha per termini fissi della scala il ghiaccio deliquescente, e la temperatura dell'alcoole innacquato in modo che si dilati di 80 parti sopra 1000, passando dallo zero al maggior grado di calore che può sopportare senza bollire. – *Gli Editori*.

15 La scala del termometro di Fahrenheit è divisa propriamente in 600 parti eguali o gradi, ed ha per limite inferiore la temperatura della mescolanza a parti eguali di neve e sal ammoniaco, e per termine superiore l'ebullizione del mercurio. Confrontando questo termometro coll'ottantigrado, si trovò che il suo 32.° grado corrisponde al ghiaccio deliquescente, ed il 212.° all'acqua bollente. Perlochè oggidì si suol costruire il termometro di Fahrenheit con questi due punti fissi, ponendo al primo il numero 32, ed al secondo il 212, e dividendone l'intervallo in 180 parti eguali o gradi. – *Gli Editori*.

metro, si possono questi coll'ajuto di quei rapporti convertire in gradi di un altro termometro. Finalmente posta la scala in un termometro tra i due limiti fondamentali, si continuano a segnare delle divisioni eguali al di sopra o al di sotto di questi due limiti, per estendere il campo delle osservazioni. Solamente si ha cura di notare col segno + più o – meno i gradi sopra o sotto lo zero, che è il punto della neve che si fonde.

265. Ora il mercurio, di alcuni olj in fuori, sostiene prima di bollire più di calore che qualunque altro liquido; e lo spirito di vino, eccetto l'etere o altro liquore spiritoso, sostiene prima di gelare, più che altro liquido, il freddo. Di fatto gela il primo liquido a  $40^{\circ}$  sotto lo zero del termometro centesimale, e bolle a  $350^{\circ}$  al di sopra del medesimo termine, e la sua scala di liquidità si estende da  $-40^{\circ}$  sino a  $+350^{\circ}$ . È quindi più acconcio dell'olio di lino, che non può servire per i gradi di gran freddo, e dello spirito di vino, che riuscendo assai adatto per li gradi del freddo, non può servire, per quanta industria si ponga, per gli alti gradi di calore.

Si vede dalle cose sin qui narrate, che scelto a corpo termoscopico il mercurio, molte sono le precauzioni e diligenze da mettersi in opera per costruire de' termometri che sieno esatti e comparabili. Il mercurio dev'essere purificato, il tubo ben calibrato, e quindi disseccato; i punti della neve che si fonde, e principalmente quello del vapore dell'acqua che bolle, son da pigliarsi con esattezza; nella neve e nel vapore è da immergersi non che la palla del termometro, ma anche quella parte del



tubo in cui avvi il mercurio; la divisione de' gradi è da segnarsi uniforme ed eguale, e tante altre cose son da praticarsi che si possono leggere nel cap. 2 del tomo II del *Trattato di Fisica* del Biot.

266. Tra gli effetti adunque apparenti e sensibili del calorico sono da annoverarsi non solo le sensazioni di calore che cagiona sopra i nostri organi, ma anche lo scaldare, dilatare, fondere e ridurre i corpi in vapori. E come questi effetti sensibili del calorico sopra i nostri organi e su i corpi sono più o meno grandi ed energici; così l'abbiamo chiamato *temperatura*, e distinto in più gradi che corrisponder possono all'energia di quegli effetti. Per lo che il mercurio, che si dilata e contrae nel termometro, indica colle sue dilatazioni e contrazioni uniformi i gradi eguali di temperatura, o sia degli effetti sensibili ed apparenti del calorico sopra i nostri organi e su gli altri corpi; e 'l termometro, che si alza e si abbassa, altro non esprime che le differenze in più o in meno degli effetti sensibili del calorico. Di fatto tornando le medesime circostanze, o sia l'effetto medesimo del calorico, torna il termometro a segnare costantemente il grado medesimo di temperatura: così la neve che si fonde, l'acqua che bolle, lo spirito di vino che si riduce in vapore, ec., hanno costantemente nel termometro lo stesso grado di temperatura che l'indica.

267. È inoltre da notare che crescendo coi gradi di temperatura le dilatazioni o i volumi dei corpi senza crescere il loro peso, viene del pari a cangiare la loro densità. E però volendo conoscere i rapporti delle densità de'

corpi, questi si debbono prima ridurre alla stessa temperatura, che per lo più suole scegliersi a  $0^{\circ}$  del termometro. Si vede del pari che il *maximum* di densità di un corpo dovrebbe esser quello che risulta dal medesimo corpo ridotto al *maximum* di freddo che possiamo produrre; perciocchè in sì fatto stato ha il *maximum* di contrazione, o il *minimum* di volume. Nè questa legge viene meno, perchè alcuni corpi nel gelarsi in luogo di restringersi si ampliano di volume; perciocchè questa anomalia nasce da una disposizione che sono costrette a pigliare le molecole di sì fatti corpi nel passare dallo stato di liquidi a quello di solidità. Ciò avviene al ferro fuso, allo zolfo, al bismuto, e in particolare all'acqua. Questa non piglia l'addensamento maggiore che può allo zero del termometro, ma secondo alcuni a  $4^{\circ},4$  sopra lo zero, e secondo le ultime e delicate esperienze dell'inglese Chrichton a  $5^{\circ},6$ ; anzi a misura che la sua temperatura da quello o da questo punto si va avvicinando allo zero e va più oltre, gela, si amplia di volume, e giunge a galleggiare sopra l'acqua. Ma egli è così vero che un sì fatto accrescimento di volume deriva dalla disposizione che vogliono le molecole dell'acqua per cristallizzare, che talora resta essa liquida a una temperatura eziandio inferiore al termine di congelazione. Quando trovasi in sì fatto stato, basta comunicarle un movimento, onde le molecole possano disporsi nel debito ordine per congelare, o pure basta immergervi entro un corpo solido, e più d'ogni altro un pezzo di ghiaccio, affinchè all'istante tutta la massa si geli; perchè in sì fatto modo si determi-

na l'ordine e la disposizione necessaria alle molecole per pigliare lo stato solido.

268. Conosciuta coll'ajuto del termometro la temperatura de' corpi, si accorsero i fisici che il medesimo grado di temperatura ne' corpi non viene da un'eguale quantità di calorico. Supposero quindi in essi una capacità pel calorico, ch'era varia in tutti, in virtù della quale avea ciascuno bisogno di una quantità ineguale di calorico per pigliare gradi eguali di temperatura. Però lo svedese Wilk introdusse l'espressione *calorico specifico* per indicare la quantità di calorico ch'è necessaria ad operare ne' corpi uno o più gradi eguali di temperatura. Dopo di che può a ciascuno essere manifesto che il calorico specifico de' corpi è proporzionale alla loro capacità. E come non si può conoscere di una maniera assoluta la quantità totale del calorico che si contiene ne' corpi, perchè niuno se ne può del tutto spogliare; così sonosi i chimici e fisici rivolti ad investigare il loro calore specifico. Di fatto han preso per termine di comparazione il calorico specifico dell'acqua, ed a questa come unità han riferito tutti gli altri corpi<sup>16</sup>.

---

16 Nei corpi formati di sostanze della stessa natura, il calorico necessario ond'essi sieno innalzati alla stessa temperatura sarà proporzionale alla quantità di materia che contiene ciascuno; o sia sarà proporzionale alla loro massa. Perciò se per riscaldare di tanto  $m$  unità in peso d'acqua abbisognerà una tale quantità  $q$  di calorico, vi si vorrà una quantità doppia  $2q$  per riscaldarne  $2m$  unità, ec. Dunque in generale *la quantità di calorico libero e sensibile sarà in ogni corpo espressa dal prodotto della sua temperatura per la massa*, ed inversamente *la temperatura d'un tal corpo sarà eguale alla quantità di calorico libero e sensibile divisa per la massa*. Chiamando quindi con  $m$ ,  $m'$ ,  $m''$ , ec., le masse di varie sostanze della stessa natura, e

269. Varj sono stati i metodi che essi han posto in opera per una sì fatta investigazione, che in verità è di molto rilievo. Il primo metodo, ch'è quello de' mescu- gli, fu immaginato dal Crawford, che riunendo due corpi a temperature ineguali ed a pesi eguali, notava la quanti- tà del calore che ciascuno assorbe o ne perde. In que- sto modo si riconobbe che ne' corpi omogenei il calore si distribuisce equabilmente. Giacchè mescolando una libbra di acqua a 0°, e un'altra a 60° C, ne risultano due libbre a 30°. Ma non così avviene quando corpi si me- scolano che sono di natura diversa. Corre allora agli oc- chi di tutti che ciascun corpo ha una capacità sua pro- pria, o sia vuole quantità di calore diverse per variare di un medesimo numero di gradi nella temperatura. Me- scolando di fatti una libbra di acqua a 34° C con un'altra di mercurio a 0°, si trova nel mescolio la temperatura di 33°. La quale cosa dimostra che la quantità del calore necessaria per elevare l'acqua di un grado vale ad innal- zare il mercurio a 33°, o sia che il calorico specifico del mercurio è 1/33 di quello dell'acqua. Ma questo metodo sebbene sia facile a praticarsi, pure è sottoposto a più in- convenienti. Non si possono in prima mescolare coll'ac-

---

con  $t, t', t''$ , ec., il loro calorico libero e sensibile, o la temperatura rispetti- va; sarà  $mt+m't'+m''t''+ec.$ , la quantità totale di calorico libero del loro ag- gregato, e quindi sarà  $\frac{mt+m't'+m''t''+ec.}{m+m'+m''+ec.}$  il calorico sensibile o la temperatura dell'aggregato medesimo. Da un tal canone si viene a conosce- re a priori quale sarà la temperatura d'una mistione fatta di masse della stessa natura, le cui temperature rispettive sieno note. Se le masse sono eguali, la temperatura della mistione è dunque la media aritmetica delle sin- gole temperature. — *Gli Editori.*

qua le sostanze che questa può, se non in tutto, almeno in parte disciogliere. E in generale non si possono mescolare coll'acqua e tra loro delle sostanze che con quella o tra loro si combinano. I gas inoltre si possono mescolare in sì piccola quantità, che non si può fondare sulla temperatura del loro mescolgio. Molto poi è il calorico che le sostanze nell'atto del mescolgio comunicano, non che a' vasi, ma all'aria ed a' corpi circostanti, e con difficoltà se ne può apprezzare e calcolare una sì fatta quantità<sup>17</sup>. Per queste adunque ed altre simili cause

---

17 Il *metodo di mescolanza* adoprato con senno presenta dei risultamenti soddisfacentissimi nell'indagine della capacità o del calorico specifico delle sostanze. Per sperimentare con masse di differente peso, ecco in qual maniera si opera: sia  $m$  la massa del corpo che si cimenta,  $t$  la sua temperatura ed  $x$  la capacità di lui. Siano  $m'$ ,  $t'$ , 1 le corrispondenti quantità per rapporto all'acqua, cui si paragonano i calorici specifici degli altri corpi. In fine chiamasi  $T$  la temperatura della mescolanza. L'acqua che serve all'esperimento deve avere una temperatura minore di quella del corpo di cui si esplora la capacità. La quantità totale di calorico, perduta dal corpo nella mistione, sarà espressa da  $(t-T)m.x$ ; sapendosi che essa si ottiene dal prodotto della temperatura per la massa e per la capacità; e quella guadagnata dall'acqua verrà rappresentata da  $(T-t')m'.1$ . E siccome la perdita di calorico che nella mescolanza subisce il corpo, deve eguagliare il guadagno che fa l'acqua; così si avrà l'equazione:  $(t-T)m.x = (T-t')m'$ ; da cui si ricava

$$x = \frac{(T-t')m'}{(t-T)m}$$

Volendo tener conto del calorico che viene assorbito dalla materia del recipiente in cui viene fatta la mescolanza, bisognerà primieramente determinare la massa di lui, che diremo  $M$ , e trovare con altro metodo la capacità della medesima, che noteremo con  $C$ ; cosicchè, in quanto alla capacità pel calorico, la materia stessa equivalerà ad una massa d'acqua espressa da  $MC$ , e la massa totale d'acqua ch'entra nell'esperimento si dovrà ritenere eguale ad  $m'+MC$ . Il calorico assorbito pertanto diventerà  $(T-t')(m'+MC)$ ; e l'equazione per avere la capacità  $x$  si risolverà in quest'altra:

$$x = \frac{(T-t')(m'+MC)}{(t-T)m}$$

di errore, lasciato il metodo de' mesugli, vennero La Place e Lavoisier immaginando il *calorimetro*.

270. Questo strumento, che si osserva nella *fig.* 87, è composto di tre capacità. L'interiore, che si vede in *M*, è cinta di una rete di fil di ferro, ed è destinata a contenere il corpo di cui si vuole esplorare il calore specifico. La media *FF* è piena di neve alla temperatura  $0^{\circ}$ , e di neve parimente si riempie la capacità esterna. Ma questo ghiaccio o neve serve ad impedire che l'aria esteriore non operi sulla liquefazione del ghiaccio della media capacità, giacchè questo si deve sciogliere dal calore che va perdendo il corpo racchiuso nell'interiore capacità. Però il ghiaccio dell'esterna capacità, come si scioglie, scorre per la chiave *P* in un vaso sottoposto; e 'l ghiaccio, ch'è sciolto dal calore che perde il corpo, abbassandosi alla temperatura  $0^{\circ}$ , scende pel condotto *Z* nel vaso *R*. Ora la quantità d'acqua in *R* indica la quantità della neve o ghiaccio fuso, e perciò la quantità del calorico perduto dal corpo nell'abbassarsi alla temperatura zero. Poste adunque eguali le masse de' corpi, ed eguali i gradi della loro temperatura, si argomenta il rapporto de' loro calori specifici da quello del ghiaccio fuso, e dalla quantità dell'acqua resa liquida da' corpi che si van raffreddando dentro la cavità di quella sfera di ghiaccio<sup>18</sup>.

---

tamenti attendibili bisogna tenere a calcolo il calorico che si disperde per irradiazione durante lo sperimento. – *Gli Editori*.

18 Col calorimetro si può ritrovare il calorico specifico operando con masse di differente peso. Primieramente osserveremo che per ottenere con un tal apparato delle risultanze costanti e paragonabili, è d'uopo che gli sperimenti partano da un termine fisso. Si sa che per fondere una libbra o qualunque

Ingegnoso in verità è un sì fatto strumento, e 'l metodo che si tiene; ma ciò non pertanto non è esente d'imperfezioni e d'inesattezze. Poichè il ghiaccio non conserva sempre la medesima temperatura di  $0^{\circ}$ , e perchè talvolta una porzione dell'acqua fusa resta assorbita dal ghiaccio medesimo, ed alcuna volta eziandio gela. Riesce oltre a ciò difficile il determinare il calorico specifico delle sostanze aeriformi, perchè dovendosi operare sopra un grandissimo volume, e prolungar per molto tempo l'operazione, ne nasce che nel corso dell'esperienza non sempre il gas e lo strumento si trova nelle circostanze medesime, e ne risultano varietà e scorrezioni. Finalmente ha questo metodo un difetto comune a quello de' miscugli, cioè a dire, d'instituire il confronto tra masse e non già tra volumi eguali. Per lo che si viene ad attribuire a' corpi, che si mettono in esame, il calorico che non è proprio di loro, ma dello spazio maggiore che occupa quello che ha il volume più grande: difetto che rie-

---

altra unità di ghiaccio a zero ottantigrado, vi si vuole altrettant'acqua a  $60^{\circ}$  dello stesso termometro. Ora chiamando  $m$  il numero di quelle unità che dà il peso del corpo cimentato, la di cui temperatura è  $t$ , e supponendo che esso corpo abbia fuso la quantità  $g$  di ghiaccio; s'istituirà la proporzione: se il calorico sensibile totale  $mt$  ha fuso la quantità  $g$  di ghiaccio, il calorico sensibile totale  $1 \times 60$  (ch'è quello d'una sola unità del medesimo corpo a  $60^{\circ}$ ), quanto ghiaccio  $x$  fonderà? e si avrà  $x = \frac{60 \cdot g}{mt}$ . E siccome le quantità di ghiaccio fuso esprimono quelle del calorico specifico o le capacità che hanno i corpi per contenere il calorico; così, essendo 1 il ghiaccio fuso da un'unità d'acqua, sarà la capacità richiesta  $x = \frac{60 \cdot g}{mt}$ . Nel far uso del calorimetro farà d'uopo praticare alcune cautele che si possono riscontrare in Biot. – *Gli Editori*.

sce molto sensibile in particolare per i corpi aeriformi che sono forniti di un gran volume. Ma sebbene i calorigi specifici de' gas ricavati dal calorimetro si reputino per sì fatte ragioni alquanto inesatti; pure si tengono da' chimici per più vicini a' veri, che quelli ritratti coll'ajuto de' mesugli.

271. Altri metodi, oltre di quelli de' mesugli e del calorimetro, si sono recati innanzi per i calorigi specifici de' corpi, e in particolare per quelli dei gas, come si può leggere nella memoria del Laroche e del Berard premiata dall' Instituto, e registrata nel tomo LXXXV degli *Annali di Chimica*. Ma noi faremo solamente cenno del metodo che ricava i calorigi specifici dalle celerità, con che i corpi posti nelle medesime circostanze si van raffreddando per un dato numero di gradi, e che si chiama quindi *metodo di raffreddamento*; perciocchè questo metodo, immaginato da prima da Mayer, Leslie, Desprez, è stato poi condotto al grado maggiore di esattezza che si può dai due diligenti e sagaci sperimentatori Petit e Dulong. Conoscendo essi che i calorigi specifici de' corpi a circostanze pari sono proporzionali a' tempi del raffreddamento divisi per le densità, non trascurarono travaglio per condurre i corpi ch' esploravano a circostanze eguali, tenendo conto di ogni elemento che influir potea, ed eliminando con ogni diligenza le cause ancorchè piccole di errori. E come era loro intendimento di applicare a' fenomeni del calore le considerazioni che suggerisce la teorica delle proporzioni chimiche in riguardo alla costituzione de' corpi; così cominciarono in prima a cerca-



re le capacità de' corpi semplici. Tredici furono sì fatti corpi, de' quali determinarono la capacità, avendo preso per unità quella dell'acqua; e da sì fatta determinazione ritrassero, che valutati i pesi degli atomi de' corpi semplici rispetto all'ossigeno, questi atomi hanno esattamente la stessa capacità pel calore, o sia lo stesso calorico specifico. Eccone la tavola.

	Calorici specifici.	Pesi relativi de- gli atomi.	Prodotti del peso di ogni ato- mo per la capa- cità corrispon- dente.
Zolfo	0,1880	2,011	3780
Cobalto	0,1498	2,46	3685
Ferro	0,1100	3,392	3731
Nickel	0,1035	3,69	3819
Rame	0,0949	3,957	3755
Telluro	0,0912	4,03	3675
Zinco	0,0927	4,03	3736
Argento	0,0557	6,75	3759
Stagno	0,0514	7,35	3779
Platino	0,0335	11,16	3740
Oro	0,0298	12,43	3704
Piombo	0,0293	12,95	3794
Bismuto	0,0288	13,30	3830

272. Or questi prodotti, che indicano la capacità degli atomi di natura differente, avvicinano tanto all'eguaglianza, che le loro differenze piccolissime si possono reputare errori inevitabili sia nelle misure delle capacità, sia nelle analisi chimiche che han servito di base al calcolo. E però Petit e Dulong conchiusero che *gli atomi di tutti i corpi semplici hanno esattamente la medesima capacità pel calorico*, di modo che una sì fatta capacità venga a variare ne' corpi, perchè in masse eguali racchiudono un numero più o meno di atomi. Si volsero poi alle capacità degli atomi composti, e non le seppero determinare per la molteplicità delle supposizioni tutte verisimili, in cui si trovarono imbarazzati. Solamente colle loro osservazioni, posta da parte quale che si fosse supposizione particolare, poterono stabilire ch'esiste sempre un rapporto semplice tra la capacità degli atomi composti, e quella degli atomi semplici (Vedi la memoria di Petit e Dulong, *Ricerche sopra alcuni punti importanti della teoria del calore*, vol. VIII e IX del *Giorn. di Fis. e Chim.*).

273. Molte altre esperienze sono state instituite da diversi autori sul calorico specifico; ma spesso sono inesatte. Ci contenteremo di qui riferire alcune osservazioni: e in prima che il rapporto de' calorici specifici ne' diversi corpi si mantiene costante, parlando in generale, finchè costante si mantiene il loro stato, la loro coesione o compressione, se sono compressibili, e la natura de' loro componenti; ma quando una di sì fatte circostanze varia, varia del pari la capacità, e però quel rapporto.

Una notevole variazione inoltre di temperatura, che ha luogo ne' corpi, produce ancora una variazione ne' loro calorici specifici. Ma ne' solidi l'aumenta, e questo aumento di loro capacità, secondo l'esperienze del Petit e Dulong, è indipendente dall'aumento del volume. Ed al contrario la diminuisce nell'aria e in altri fluidi elastici, giacchè questi, giusta l'esperienze di Desormes e Clement, acquistando una temperatura assai alta, perdono capacità. Di più, sebbene Irwine e Crawford avessero stabilito che al variare della capacità varia nella ragione reciproca la temperatura de' corpi, ed all'inverso; pure questa legge non sempre si avvera, e talora l'aumento della temperatura non dipende nè deriva dalla diminuzione di capacità. Non lasceremo infine di accennare che Desormes e Clement intesero a investigare il rapporto tra il calorico specifico dello spazio vòto e quello dell'aria, e dalle loro esperienze lo ritrassero :: 30,24:80 :: 377:1000. Dopo di che procedendo più oltre, tentarono di determinare lo zero assoluto di temperatura, o sia di calcolare l'assoluta quantità di calorico, che sottratta da un corpo a data temperatura ne lo spoglierebbe del tutto. Di fatto inoltrandosi per più vie, ci recarono come a quantità media  $266^{\circ},66$ , stabilendo cioè nel termometro centigrado lo zero assoluto di temperatura a  $266^{\circ},66$  sotto la fusione del ghiaccio. E sebbene si fatte ricerche e determinazioni fossero state contrastate; pure sono state vigorosamente difese, ed è giusto che si cono-

scano dagli studiosi delle cose fisiche<sup>19</sup>.

274. Esposti i fatti e gli esperimenti, egli è facile di comprendere che questi si possono ben dichiarare, così tenendo il calorico per un fluido sottilissimo, come riducendolo a semplici vibrazioni. Il calorico nella prima ipotesi frammettendosi tra le molecole de' corpi le allontana, ed allontanandole amplia il volume de' corpi, e li dilata. E come tanto più vale ad allontanarle, quanto meno è contrastato dalla forza di coesione, o sia dall'attrazione molecolare; però ne viene che il calorico tanto più dilata i corpi, siccome ci han mostrato gli esperimenti, quanto più si accresce la temperatura, o sia quanto più la distanza s'accresce delle loro molecole. Indi eguali quantità di calorico non producono eguali dilatazioni nel medesimo corpo, e credesi che i fluidi aeriformi si dilatino egualmente ne' limiti della scala del termometro centigrado, perchè lontani si trovano dagli stati estremi di molta dilatazione o di molto restringimento, che sono i casi in che cade del tutto o del tutto si rafforza l'energia dell'attrazione molecolare. La temperatura quindi de' corpi non in altro è riposta in sì fatta ipotesi, che nella tensione o sforzo ch'esercita il calorico, il quale stassi dentro o intorno alla superficie de' corpi per uscirne. E però quando la forza del calorico di un corpo

---

19 Giusta il parere di Dalton l'intervallo dallo zero a 100° del term. centig. non è che la tredicesima parte circa dell'intervallo dallo zero all'assoluta esclusione di calorico; cosicchè secondo quel Fisico il freddo assoluto corrisponderebbe a -1300 gradi del centigrado. Tale minima temperatura verrebbe poi ridotta a -750 gradi centig. prendendo la media delle speculazioni dei signori Irwine e Crawford. — *Gli Editori*.

vince quella che esercita il calorico de' corpi circostanti, quel calorico esce da quel corpo, e si dice che la sua temperatura si abbassa, ed al contrario quando n'è vinta s'introduce in quel corpo nuovo calorico, e si dice che la temperatura s'innalza. Ma perchè i corpi eguali in massa pigliano eguali gradi di temperatura, è necessaria una quantità di calorico ineguale, perchè ineguale è la loro capacità a contenere il calorico, secondo la diversa loro natura. E però diverso è il calorico specifico de' corpi diversi.

275. Con eguale felicità spiegano altri i fenomeni medesimi col favore delle vibrazioni calorifiche. Queste han luogo nell'etere, nelle molecole de' corpi, e nell'etere in sì fatte molecole interposto. Per lo che ove l'intensità della vibrazione nelle molecole di un corpo si aumenta, si dice che il corpo si riscalda, e quando viene meno, che si raffredda. Aumentandosi quindi l'intensità di vibrazione si aumenta la distanza che han le molecole tra loro, e ne segue la dilatazione de' corpi. La quantità poi del movimento di vibrazione che bisogna comunicare alle molecole di un corpo, perchè questo da un grado di calore ad un altro s'innalzi, che sia più elevato, forma in questa ipotesi ciò che dicesi calorico specifico. E come la natura e la massa delle molecole, il modo con che queste si connettono, e forse lo stato dell'etere che ne occupa i pori, sono diversi ne' corpi diversi; così ancora diversa viene ad essere la quantità di quel movimento di vibrazione da comunicarsi a ciascun corpo, o sia diverso è il calorico specifico de' corpi, o, come

chiamasi, la loro *capacità*. Di modo che sostituendo al calorico il movimento di vibrazione, e alla quantità di quello l'intensità di questo, vengono a spiegarsi le dilatazioni, le temperature de' corpi, la capacità di questi, e 'l loro calorico specifico.

## CAPO II. — DEL CALORICO CHE CANGIA LO STATO DE' CORPI, E DEL CALORICO LATENTE.

276. Chiunque sa che l'acqua raffreddandosi gela, e per mezzo del calore bolle e riducesi in vapori. Chiunque del pari, mescolando alla neve de' sali, può pel raffreddamento congelare o sia render solido il mercurio. Ed al contrario può ridurre in forma elastica un globetto di mercurio, tenendolo sopra un cucchiaino di platino, che sia riscaldato dalla fiamma di una lampana. Ed in generale tutti i corpi che si possono fondere, possono diventar liquidi, e con un grado maggiore di calore passare allo stato di fluidi elastici. Tutti questi fatti, ed altri simili che moltiplicar si potrebbero in tutti i corpi della natura, han sospinto i fisici ad affermare che ciascun corpo perdendo ed acquistando calorico può passare da uno in un altro stato, e che il calorico sia quella forza di ripulsione la quale con la varia sua energia genera i tre stati principali che pigliar possono i corpi; di solidi, di liquidi, o pur di fluidi elastici. Ma nel passare dallo stato solido al liquido, o pure da questo a quello aeriforme, ciascun corpo vuole un grado di temperatura diverso. Il

mercurio si fonde a  $32^\circ$  sotto lo zero ottantigrado, e si mette in ebullizione a  $280^\circ$ , e l'acqua, che si fonde a  $0^\circ$ , bolle a  $80^\circ$  ottant., e così degli altri. È solo da notarsi che il medesimo corpo vuole sempre lo stesso grado di temperatura per passare da uno stato ad un altro. Posta la pressione ordinaria dell'atmosfera, il termine dell'ebullizione dell'etere è a  $39^\circ$  centigrado, per l'alcool a  $79^\circ$ , e per l'acqua a  $100^\circ$ , quello dello zolfo a  $200^\circ$ , l'altro degli olii grassi circa a  $300^\circ$ , e l'altro del mercurio a  $350^\circ$  C. Di modo che egli è chiaro che non tutti i liquidi pigliano e conservano la loro liquidità allo stesso grado o ne' medesimi intervalli di temperatura. La scala infatti della liquidità dell'acqua è  $100^\circ$  C, e quella del Mercurio è  $350^\circ$ ; e mentre l'acqua ha preso lo stato solido, o pure quello di vapore, il mercurio mantiene lo stato liquido.

277. Considerando sì fatti stati in cui può passare ciascun corpo, si comprende che tra la solidità e liquidità ci abbiano tanti punti intermedj che si percorrono da' corpi coll'aiuto del calorico, giacchè questo va vincendo a poco a poco la forza di coesione sino che quelli giungono al termine della liquidità. Ma quei che divenuti sono liquidi, pare che non possano perdurare in mezzo a tante vicende di temperatura nello stato di liquidità, anzi dovrebbero ad ogni aumento di calore passare subito allo stato aeriforme. Poichè nello stato di liquidità, siccome abbiamo detto in principio, l'attrazione molecolare è esattamente bilanciata dalla forza di ripulsione o sia dell'energia del calorico. E però cresciuta alquanto l'azione

del calorico, viene immantinente a mancare l'equilibrio, e i liquidi, superando la forza del calorico, dovrebbero passare allo stato elastico. Si è quindi ricercata da' fisici la ragione che prolungar possa lo stato di liquidità, o sia dell'equilibrio; e questa pare che ritrovar si possa nella pressione dell'atmosfera, e in quella del liquido sopra sè stesso. Ed in verità è a chiunque conosciuto che quanto più cresce o manca la pressione dell'atmosfera, tanto più si difficalta o facilita l'ebullizione de' liquidi. È una esperienza volgare che i liquidi bollono sulla cima dei monti ad un grado di calore minore di quello che han bisogno per mettersi in ebullizione a livello del mare, perchè colà è men forte la pressione dell'atmosfera. Finalmente nel vòto, giusta l'esperienza di John Robison d'Edimburgo, i liquidi giungono a pigliare lo stato di ebullizione ad una temperatura minore di  $74^{\circ}$ , o di quella ch'è loro necessaria sotto la pressione ordinaria dell'atmosfera. E comechè il Gay-Lussac sia disposto a credere che la temperatura dell'ebullizione varia indipendentemente dalla pressione atmosferica (vedi *Giornale di Fisica*, tomo LXXXVIII, pag. 55); pure la più parte de' fisici se ne discosta, perchè i fatti dimostrano aperto l'influenza ch'essa esercita sopra i liquidi.

A parte dell'atmosfera oppongono del pari un'azione meccanica le colonne del liquido che premono. Di fatto la medesima quantità di acqua più presto bolle se ha minore altezza e più larghezza, perchè minore è la pressione ch'esercitano le colonne soprastanti. Questo si può meglio osservare nella pentola di Papino, da cui i vapori



non possono scappare, perchè il coverchio ha fermato con una forte vite di pressione. Si elevano dentro i vapori dapprima; e questi premono con tanta gagliardia la massa dell'acqua, che per quanto fuoco si aggiunga sotto la pentola, non può quella mettersi in ebullizione. Si accumula quindi tanta copia di calorico nell'acqua, che questa è capace di sciogliere le ossa ed estrarne la gelatina. Ma se spiraglio intanto si aprisse, uscirebbe con violenza il vapore, e l'acqua comincerebbe a bollire. Tanto è vero che le colonne soprastanti di acqua, di vapore e dell'aria atmosferica difficultano il passaggio de' liquidi allo stato elastico. Ciò non pertanto vi hanno de' corpi sì dilatabili, che si riducono in gas, non ostante l'ordinaria pressione, per la sola elevazione di temperatura, cagionata dal calorico dell'atmosfera. Tali sono l'acido muriatico, l'ammoniaca, l'acido carbonico, l'acido solforoso, ec.

278. Sebbene la pressione dell'atmosfera conferisca a prolungare lo stato di liquidità ne' corpi; pure i liquidi, come giungono a siffatto stato, manifestano la loro tendenza a ridursi in vapori, e cominciano ad evaporare. Ciò chiaramente si osserva ove i liquidi si racchiudono in vasi aperti ed esposti all'aria, perciocchè vanno successivamente mancando a cagione che a poco a poco e lentamente evaporano. Pare che ogni quantità ancorchè minima di calorico, che penetra il liquido, ne investe alcune molecole, e vincendo in queste la forza di coesione, le sciolga in modo, che strette sono a spiccarsi dalla massa liquida, ed entrando così ne' vani dell'aria si ele-

vino in alto e ne ampliino il volume. Per lo che tanto più cresce la quantità dell'evaporazione, quanto più cresce la temperatura, giacchè cresce l'energia del calorico ch'è la causa dell'evaporazione. Solamente è da notare che la quantità dell'evaporazione non cresce nella stessa ragione, ma in una più notabile della temperatura; perciocchè l'evaporazione che ha luogo tra  $10^{\circ}$  e  $20^{\circ}$  è molto più grande di quella che fassi tra  $0^{\circ}$  e  $10^{\circ}$ . Il che pare conveniente alla legge generale che osservato abbiamo, per la dilatazione de' corpi, nel num. 260.

279. Dipendendo l'evaporazione dalla temperatura, egli è chiaro che poste eguali le temperature, eguale venga a formarsi la quantità di evaporazione, sia che questa succeda nell'aria o pure nel vòto. La differenza è solamente riposta in ciò, che la formazione de' vapori nel vòto succede quasi istantanea, laddove nell'aria fassi tanto più lentamente, quanto questa è più densa. Sicchè l'atmosfera in sostanza è un ostacolo meccanico che impaccia e ritarda, ma non impedisce la formazione de' vapori.

280. Non ostante però la pressione dell'atmosfera, l'azione del calorico col crescer della temperatura giunge a tal segno, che del tutto la vince. Allora si svolgono i vapori così prontamente, come fassi nel vòto; perchè la forza espansiva, o sia la tensione ed elasticità del vapore è eguale a quella dell'aria circostante. Delle grosse bolle di aria dilatata dal calorico si elevano nella massa liquida, le quali vengono a crepare alla superficie, e si produce quel moto violento che dicesi *ebullizione*. La trasfor-

mazione quindi de' liquidi in vapori elastici, o sia il passaggio dallo stato liquido a quello aeriforme, è tutta opera del calorico.

281. Formandosi, da quanto abbiamo detto, dei vapori a diverse temperature più o meno elevate, egli è certo che non tutti debbono essere forniti di un'eguale forza. Indi i fisici sonosi applicati a conoscere la tensione del vapore a diverse temperature, e principalmente quella de' vapori dell'acqua, che sono stati impiegati a forza in tante macchine utilissime, ed oggi eziandio per mettere in movimento le navi. Questa forza elastica dei vapori si esprime in millimetri di mercurio, perchè si misura dalla energia con che essi innalzano, oppure deprimono una colonna di mercurio. Il primo che fece intorno a' vapori dell'acqua dell'esperienze diligenti, fu Robison; ma delle altre più esatte ne pubblicò Dalton nel 1802. Costui restrinse le sue esperienze tra  $0^{\circ}$  e  $100^{\circ}$  C, e poi da queste ricavò con formole empiriche la forza elastica de' vapori a temperature più alte. Però sì fatte determinazioni non si reputano esatte nelle alte temperature, e quelle si preferiscono del dottor Ure da Glasgow, che nel 1818 estese i suoi esperimenti da  $0^{\circ}$  sino a  $155^{\circ}$  C. Ma in verità è stato il Southern che ha ricercato la tensione de' vapori nelle temperature le più elevate. Si può quindi leggere la tavola della forza elastica de' vapori dell'acqua secondo l'esperienze del Robison, dell'Ure e del Southern alla pag. 144 del tomo di *Supplem. alla Chimica* del Thomson per Riffault, e alla pag. 147 la tavola giusta gli esperimenti del Dalton. In qualunque modo,

egli è certo che i vapori i quali si formano a diverse temperature, differiscono tra loro per la diversa forza elastica di che sono dotati. Il vapore dell'acqua che giusta il Dalton a  $0^{\circ}$  è fornito di una tensione di  $5^{\text{mm}},08$  di mercurio, alla temperatura media di  $10^{\circ}$  ha una tensione di  $9^{\text{mm}},47$ .

Dalton fece di più. Riferì la tensione de' vapori di più liquidi a quelli dell'acqua, e giunse a cavarne per approssimazione una legge generale. Prese per punto di confronto quello in cui le loro forze elastiche sono eguali, o sia quello in cui bollendo equilibrano la pressione dell'atmosfera. E sebbene questo punto in diversi liquidi sia a temperature diverse; pure si accorse il Dalton che per tutti i liquidi la forza elastica del vapore sia la medesima a distanze eguali sul punto dell'ebullizione, in cui le loro forze elastiche sono eguali. Bollendo l'acqua a  $100^{\circ}$  e l'etere a  $39^{\circ}$ , i vapori di questo e di quella hanno in tal punto una forza eguale. Se dunque ci allontaniamo da sì fatto punto per  $20^{\circ}$  la tensione de' vapori dell'acqua a  $80^{\circ}$  e dell'etere a  $19^{\circ}$  sarà eguale. Nella stessa guisa la forza de' vapori dell'acqua a  $100^{\circ}$  è eguale a quella de' vapori del mercurio a  $350^{\circ}$  (n. 276). E però la tensione dei vapori del mercurio a  $250^{\circ}$  è eguale a quella de' vapori aquei a  $0^{\circ}$ , che vale  $5^{\text{mm}},08$ . Se dunque il mercurio si riduce al suo zero, l'acqua a  $250^{\circ}$  sotto lo zero del termometro, le tensioni sarebbero eguali, e da non doversi calcolare; perciocchè se l'acqua a zero ha  $5^{\text{mm}},08$ , a  $250^{\circ}$  sotto lo zero avrà una forza da non potersi apprezzare per la picciolezza. Dalle quali cose egli è manifesto

che alla temperatura ordinaria i liquidi i quali si mettono in ebullizione a temperature assai alte, come il mercurio, l'acido solforico concentrato, ec., hanno una tendenza assai debole ad evaporare.

282. Si è ricercato se i solidi forniscano de' vapori, e si è trovato che l'acqua ridotta in ghiaccio ne somministra. Anzi Biot col calcolo e Gay-Lussac coll'esperienza han dimostrato che l'acqua a  $20^{\circ} C$  sotto il punto della congelazione evapora, e i suoi vapori hanno la tensione di  $1^{\text{mm}}$ ,<sup>3</sup>. Ma in generale è da affermarsi che quei corpi i quali diventano liquidi ad alte temperature, non debbono somministrare alcun vapore sensibile alla temperatura ordinaria. Poichè se que' corpi che sono liquidi ad una temperatura ordinaria, per cagione che bollono ad un'alta, sono forniti di una debolissima tendenza ad evaporare, quanto più deve esser tenue ed insensibile questa tendenza in quelli che han bisogno di un'altissima temperatura, non già per pigliare lo stato aeriforme, ma quello di liquidità? Che se alcuni mettono innanzi l'odore che mandano il rame ed il piombo, come particelle volatili di sì fatti metalli, egli è certo che queste non manifestano alcuna tensione.

283. Ma nel cangiare che fanno i corpi di stato, è soprattutto da osservarsi che un termometro collocato nel ghiaccio che si fonde, durante la fusione totale del ghiaccio, resta stazionario a zero. E in generale durante il passaggio che fa un corpo dallo stato solido al liquido, la sua temperatura si mantiene costante. E parimente se immergesi la palla del termometro ne' vapori dell'acqua

che bolle, il termometro, finchè dura il passaggio dell'acqua in vapori, si mantiene costantemente a  $80^{\circ} O$ . Ed è un'osservazione generale che durante l'ebullizione de' corpi, la loro temperatura è stazionaria. I corpi adunque nel cangiare di stato hanno una temperatura che è differente per ciascuno, ma che non si può in alcun modo accrescere, finchè tutta intera la loro massa non abbia cangiato di stato. Per lo che per quanto si accresca la quantità del calorico o nella fusione de' corpi, o nella loro conversione in istato aeriforme, si potrà affrettare la liquidità o lo stato aeriforme, ma non mai accrescere la loro temperatura, se prima tutta la loro massa non abbia cangiato stato. Il calorico quindi che si aggiunge è assorbito da' corpi, e tutto s'impiega a renderli liquidi o pure aeriformi. E però fu chiamato da quei che ammettono la combinazione del calorico colle molecole de' corpi, *calorico combinato*. Ma oggi un sì fatto calorico, ch'è assorbito da' corpi quando mutano stato, senza aumentare la temperatura, si chiama, giusta il nome impostogli dal Black, *calorico latente*, perchè non è sensibile nè al termometro nè agli animali. Ciò non pertanto ci han di quei che già cominciano a chiamare *calorico di liquidità* quello assorbito da' liquidi nell'evaporarsi.

284. Si è ricercato dopo ciò la quantità del calorico che si assorbe da molti solidi nell'atto di liquefarsi. Si è trovato che la neve per fondersi ha di bisogno di quel calorico ch'è capace di alzare la temperatura dell'acqua a  $75^{\circ} C$ . Di fatto una libbra di acqua a  $75^{\circ}$  mescolata ad una libbra di neve a zero, fonde questa, e ne risultano

due libbre di acqua a 0°. Giusta l'esperienze istituite a' 16 febbraio 1795 nella Scuola politecnica a Parigi, il mercurio nel liquefarsi assorbisce, nel senso che abbiamo detto parlando della neve, 67°,8 *O* di calorico, e 'l piombo giusta Irwine padre e figlio 214°

lo zinco	219°,14
lo stagno	222°,23
il bismuto	244°,44
la cera	77°,77
lo zolfo	7°,86
il bianco di balena	64°,44 ec.;

sebbene l'esperienze de' due Irwine non si tengano per molto esatte.

285. Più diligenti sono l'esperienze fatte in più tempi da più fisici, per conoscere il calorico latente de' vapori dell'acqua; e pigliando la media tra le determinazioni del Watt, Southern, Lavoisier, Rumford, Ure, si tiene 526°,94 del termometro centigrado, che è presso a poco cinque volte e mezzo del calorico necessario per elevare l'acqua da 0° a 100. Anzi dall'esperienza del Southern pare si debba conchiudere che il calorico latente del vapore dell'acqua sia una quantità costante, quale che fosse la sua temperatura ed elasticità. Ure, oltre il calorico latente de' vapori aquei, ricercò quello di altri fluidi elastici. Ebbe quello de' vapori

dell'aceto per	468°,33 <i>C</i>
dell'ammoniaca liquida	447°,33
dell'acido nitrico	277°,72
dell'alcool	227°,77

del petrolio	81°,04
dell'olio di terebentina	81°,04

Per lo che egli è certo che i liquidi abbondano più de' solidi di calorico latente, e molto più de' liquidi i fluidi elastici.

286. Si comprende ora come la fusione de' corpi o la loro evaporazione produrre possa un abbassamento di temperatura ne' corpi circostanti. Un sale che si scioglie nell'acqua, assorbe calorico dalle acque, e ne abbassa la temperatura, e più freddo produce ne' corpi vicini la neve col sale; perchè dovendosi liquefare questo e quella, maggiore è la quantità di calorico che nel liquefarsi da quelli ritraggono. Per la stessa ragione unguendo la palla di un termometro di un liquido facile ad evaporarsi, com'è l'etere, si osserva che il mercurio scende con prontezza verso zero. E perciò gli abitatori de' climi caldi sogliono raffreddare notabilmente l'acqua e altri liquori da beversi o tenendosi in vasi pieni di pori e che trasudano, o bagnando le bottiglie con liquidi che prontamente evaporano. È oggi conosciuto che Leslie d'Edimburgo facendo evaporare l'acqua nel vòto, e facendone assorbire i vapori dall'acido solforico concentrato, la gelava all'istante. Anzi giunse dopo a sciogliere in vapori il ghiaccio, che è capace di mandar de' vapori eziandio a  $-40^{\circ}C$ . Nè è da passar sotto silenzio che De-Bussy coll'ajuto dell'acido solforoso è giunto a produrre un freddo così forte da render liquidi più gas.

287. Il calorico latente ch'è assorbito da' corpi nel cangiar di stato, riappare e diviene sensibile allorchè i



corpi ripigliano lo stato primitivo. Così il vapore dell'acqua passando allo stato liquido senza cangiar di temperatura manda fuori il calorico latente. Se una libbra di vapori a  $100^{\circ} C$  si fa passare in cinque libbre e mezzo di acqua a  $0^{\circ}$ , ne risultano, giusta il num. 285, sei libbre e mezzo di acqua a  $100^{\circ}$ . In questo modo si può riscaldare facilmente l'acqua di un bagno; e condensando i vapori dell'acqua si giunge in Inghilterra ed altrove a riscaldare i vestiboli e le sale delle case. Si è calcolato che un piede cubico di acqua condensata può riscaldare a  $20^{\circ}$  una casa di 2000 piedi cubici. Nella stessa guisa grande è la quantità del calorico che tramandano sensibile i metalli che da liquidi passano allo stato solido; ed è un fatto certo che l'acqua gelando (num. 267), senza cangiar di temperatura, tramanda calorico. Si può dunque stabilire a legge generale: Nel passaggio de' corpi dallo stato solido a liquido, o da questo allo stato aeriforme, una certa quantità di calorico disparaice ai sensi ed al termometro, e diviene latente; ed all'inverso nel ritorno che fanno i corpi dallo stato elastico al liquido, e da questo al solido, torna a comparire e diventa libero.

288. Ora si fatta legge si spiega non solo, come si è sinora fatto, colla dottrina del calorico latente, ma altresì per mezzo delle vibrazioni. Poichè l'intensità del moto di vibrazione dipende sopra di ogni altro dal modo con che si legano le molecole tra loro. Quel movimento sarà tanto più intenso, quanto più sono energiche le forze che riconducono le molecole alla loro posizione naturale di riposo. Una molecola al contrario che fosse libera, non

potrebbe vibrare; perchè non ha, nè riconoscer può una causa che la riconduce alla posizione che avea prima di muoversi. Quando adunque un corpo passa dallo stato solido al liquido, le sue molecole sono legate per via di forze che minori sono di quelle che le legavano nello stato solido. Dee quindi risultarne una diminuzione nel movimento di vibrazione, ch'è quanto a dire, una perdita di calore. Nel passaggio poi allo stato di gas, in cui le molecole sono più attenuate e slegate, la perdita del moto dee essere più di quella che ha luogo nello stato liquido, siccome di fatto avviene. Nel ritorno in fine allo stato liquido o pure solido, le molecole si accostano o legano vie più, e le loro vibrazioni si fanno più intense; e però tornano a produrre un eccesso di calore eguale a quello che si era perduto negli stati opposti.

289. I corpi svolgono ed assorbono calorico e mutano temperatura non che col cangiare di stato, ma altresì colla dilatazione e colla compressione. L'aria condensata nelle trombe delle miniere di Schemnitz, all'uscire nell'aria, di repente si dilata, e pigliando calorico dai vapori che in essa stansi a galleggiare, li congela. Ed all'inverso l'aria compressa in un cilindretto di metallo o di vetro produce calore ed accende l'esca. E in verità la dilatazione e la compressione mutano la disposizione delle molecole de' corpi, e sono da considerarsi come forze che conducono alla mutazione del loro stato. È già conosciuto che Faraday e Duvy coll'ajuto della pressione e del freddo hanno reso liquide molte sostanze aeri-formi, tra le quali l'idrogeno solforato, l'ammoniaca e

l'acido carbonico. Di fatto alzando la temperatura dell'acido carbonico già liquefatto da  $-11^{\circ}$  a  $0^{\circ}$  C, han prodotto una forza ch'equivale a 13 atmosfere, che sarebbe un'energia molto più grande di quella dei vapori.

290. Cogli stessi principj si vanno ordinariamente dichiarando altri fenomeni del calore, che provengono da mezzi meccanici. Notabile è il calore che si ritrae dal battere a freddo i metalli, e tra questi eziandio il piombo. Un ago con alcuni colpi di martello si può arroventare, e grande è il calore che si svolge da' fili di ferro che passano per la trafilata. Le sale in fine delle carrozze giungono ad infiammarsi, e maravigliosa è la copia del calore che Rumford co' suoi esperimenti svolse a' metalli col trapano e in generale collo strofinio. Or tutti questi fatti, da quei che suppongono fluido il calorico, si spiegano per via della compressione, che ravvicina forte e subitamente le molecole de' corpi e le modifica in tal modo, che più non possono contenere in mezzo a loro interposto il calorico. Per lo che questo si mette in libertà, e non avendo il tempo di propagarsi nell'aria e ne' corpi circostanti, si accumula sopra quegli stessi che sono battuti, percossi e strofinati, ne aumenta la temperatura, e quando è in gran copia l'infiamma. Ma in verità questa spiegazione, per quanto pare, non soddisfa; perchè talora non si vede alcun segno di compressione, che per altro dovrebbe essere forte, e intanto si ottiene molto calore. Giusta l'esperienza di Rumford un pezzo di ferro può essere tenuto caldo per lungo tempo con un moderato sfregamento. Arbitraria poi è la quantità pro-

digiosa di calorico che immaginano essere ne' solidi, e particolarmente ne' metalli, nè si sa comprendere come tutta questa meravigliosa copia di calorico non si possa in altro modo manifestare che collo strofinio. Facile al contrario e naturalmente si viene a spiegare un sì fatto calore, per mezzo delle vibrazioni, che si eccitano, s'accrescono e continuano colla percossa e collo strofinio. Sicchè la dottrina del calorico latente, che prese le mosse da' cangiamenti di stato che avvengono ne' corpi e loro bene si adatta, si può a stento applicare al calore che proviene dallo strofinio.

291. Molti in fine sono i fatti che ci attestano prodursi e caldo e freddo, e coi mescolgi e colle combinazioni chimiche. Mescolando quattro parti di acido solforico ed una di ghiaccio, che separatamente sono a  $0^{\circ} C$ , si ha un liquido che prende la temperatura di  $100^{\circ}$ . Ed all'inverso se mescolansi quattro parti di ghiaccio ed una di acido solforico, la temperatura del mescolgio da  $0^{\circ}$  scende a  $20^{\circ}$  sotto lo zero. Ma questi ed altri simili fenomeni, che han luogo nelle fermentazioni e in tante combinazioni, non si possono nè bene nè con chiarezza spiegare supponendo materiale il calorico. Poichè sogliono recare innanzi i partigiani di questa ipotesi, che cresce o pure scema la capacità del mescolgio pel calorico rispetto a quella che aveano prima i liquidi presi separatamente, e da ciò credono che lo svolgimento o pure l'assorbimento del calorico ne risulti. Ma così dicendo esprimono con altre parole, non ispiegano il fatto. E parimente non giova di rifuggire a un cangiamento di moto di vi-

brazione cagionato dalla mutazione dello stato intimo e delle relazioni interne delle molecole de' corpi; perchè una sì fatta spiegazione così generale non può soddisfare, nè giunge a far palese perchè, mutate le proporzioni del ghiaccio e dell'acido solforico, ne venga caldo o freddo notabile. Per altro, a parte delle forze che formano l'aggregazione delle molecole, e mettono i corpi nello stato solido, liquido o pur di gas, è da porsi mente a quelle che determinano l'azione chimica delle molecole, e queste possono, come da molti oggi si pensa, ridursi a forze elettriche. Sicchè oltre il calorico potrà aver parte in simili fenomeni di caldo e di freddo l'elettricità, la quale certo si svolge, come per lo innanzi diremo, nelle combinazioni chimiche, e in gran copia si manifesta collo stesso mezzo con che si ottiene gran quantità di calore, cioè a dire collo strofinio.

### CAPO III. — DEL CALORICO RAGGIANTE.

292. Se pongasi in una stanza un vaso pieno di acqua bollente, si può da chiunque osservare che da questo vaso si muovono in ogni senso delle correnti di calorico, e che, non altrimenti che fa un punto lucido, tramanda de' raggi, ma invisibili, rapidissimi e calorifici. E però il calorico in tale stato, che liberamente si slancia nello spazio a guisa di raggi, dicesi *raggiante*.

Scheele fu il primo che prese con frutto a considerare il calorico raggiante. Si accorse egli che il calorico

uscendo fuori dall'apertura di una stufa, si lanciava nell'aria circostante in linea retta, non altrimenti che fa la luce. E sebbene avesse egli agitato l'aria ch'era dinanzi la porta della stufa; pure la direzione de' raggi calorifici in linea retta non fu in alcun modo alterata. Dirizzò inoltre il calorico mandato fuori dalla stufa sulla superficie di uno specchio concavo di metallo, nel cui fuoco era collocato un pezzetto di zolfo, ed osservò accendersi lo zolfo, e la superficie dello specchio non riscaldarsi. Di che ritrasse lo Scheele, ed oggi è fuor di ogni dubbio, che il calorico si muove in linea retta, si riflette, gli angoli formando d'incidenza eguali a quelli di riflessione, e che gli specchi ben puliti non ne sono riscaldati, perchè lo riflettono.

293. Ma gli esperimenti più esatti, co' quali dimostrasi che i raggi calorifici sono concentrati per mezzo degli specchi concavi, sono stati istituiti da Pictet e Saussure in Ginevra. Posti a rincontro due specchi concavi alla distanza di 12 piedi, collocarono nel fuoco di uno dei medesimi un termometro sensibile, e nel fuoco dell'altro una palla di ferro di 2 poll. di diametro, che sebbene fosse stata prima arroventata, pure non era più luminosa anche nell'oscurità. Videro quindi, prese tutte le precauzioni necessarie all'esattezza dell'esperimento, che subito il termometro si alzò da  $4^{\circ}$  a  $14^{\circ}\frac{1}{2}$ , mentre un altro termometro, ch'era fuori del fuoco dello specchio e men lontano dalla palla, appena crebbe da  $4^{\circ}$  a  $6^{\circ}$ . Sostituirono poi a quella palla un vaso pieno di acqua bollente, e videro del pari che il termometro collocato in uno de'

fuochi sempre alzavasi di temperatura, e più presto che quello non faceva situato fuori del fuoco. Per lo che replicati in più modi e con più corpi si fatte sperienze venne fuor di ogni dubbio che i raggi calorifici ed oscuri si riflettono nella stessa guisa che fanno i raggi della luce.

294. Essendosi già dichiarato che il calorico raggiante al par della luce si rifrange dal prisma, ci giova soltanto di qui notare alcune osservazioni ed esperienze del Delaroche. E primieramente che il calorico fornito da un fuoco molto intenso al par di quello che accompagna la luce, penetra e trapassa come fa la luce i corpi diafani; ma che il calorico la cui temperatura è inferiore a quella dell'acqua bollente, viene arrestato da quei corpi e non li traversa. Riconobbe in secondo luogo che l'attitudine del calorico a traversare i corpi aumenta a misura ch'egli si avvicina al termine in cui il corpo caldo diventa luminoso<sup>20</sup>.

---

20 Il calorico oscuro attraversa difficilmente il vetro, e pare che quello emesso da un matraccio ripieno d'acqua bollente non lo attraversi interamente. In generale il passaggio del calorico a traverso le sostanze diafane è tanto più grande, quanto più la temperatura dei corpi che lo emettono è elevata. Così, p. e., del calorico irradiato da un corpo a  $182^{\circ} C$ , soltanto  $1/18$  passa a traverso ad una lastra di vetro; mentre quando lo stesso corpo è portato a  $960^{\circ} C$ , il calorico che transita pel vetro medesimo aumenta sino ad  $1/3$  di quello che viene emanato. Inoltre si è trovato che il calorico, il quale ha attraversato una lamina di vetro, prova nel passaggio per una seconda lamina una perdita proporzionalmente molto minore.

Ultimamente il sig. Melloni ha istituite alcune sperienze relative alla trasmissione del calorico raggiante per differenti liquidi. I risultamenti di queste sperienze danno che i raggi calorifici provenienti dal ferro riscaldato al *rosso-bruno* ed al *rosso-ciliegia* sono intercettati completamente da uno strato d'acqua di due o tre millimetri di grossezza: lo stesso avviene del calorico emanato dalla fiamma dell'alcoole e dello zolfo. Quando il ferro viene por-

Non si è giunto sinora ad estimare la velocità de' raggi calorifici, sebbene si conosca che sia molta. Nè si conosce in qual modo varia l'intensità del calorico raggiate; giacchè il Leslie pose che varia nella ragione inversa delle distanze, e gli altri fisici, seguendo l'analogia, la vogliono nella ragione inversa de' quadrati delle distanze. Ma ciò non pertanto si sa che doppiamente si rifrange, e che Matteucci aggiungendo calorico a calorico ha prodotto, giusta il principio delle interferenze, del freddo. Le quali cose tutte ci danno a vedere, siccome abbiamo annunziato sin da principio, che il calorico raggiate non sia altro che movimento di vibrazioni dell'etere, il quale differisce da quello della luce nella lunghezza e rapidità delle ondulazioni. Ma checchè sia di ciò, egli è certo, per l'esperienze dello Scheele e del Piccet e di tanti altri fisici, che il calorico raggiate esiste, e conviene indagarne le proprietà.

295. A ciò fare si sono immaginati due strumenti, l'uno dal Leslie e l'altro dal Rumford. Il primo, che si vede nella *fig* 89, risulta da un lungo tubo di vetro *ACB* cur-

---

tato ad un grado maggiore d'incandescenza, alcuni raggi calorifici incominciano a passare per quello strato liquido, e crescono di numero a misura che l'incandescenza si avvicina al *rosso-bianco*. Il calorico sviluppato da alcune altre sostanze in combustione transita pure in quantità più o meno grande per le sostanze diafane. La permeabilità calorifica però dei diversi mezzi non è proporzionale al loro grado di trasparenza. Il sig. Melloni fra le altre particolarità ritrovate con quelle sue sperienze sulla trasmissione del calorico pei corpi diafani, crede di poter affermare con certezza che una sostanza è tanto più permeabile all'irradiazione calorifica, quanto più il suo indice di rifrazione è grande (Vedi *Bibliothèque universelle, avril 1832*). — *Gli Editori.*



vato presso a poco nella forma della lettera *U*, che ha un diametro alquanto più grande de' termometri ordinarj. Questo tubo riesce nelle sue estremità in due globetti pieni d'aria, di cui quello in *A* si chiama il *globo* o *palla focale*. Nel braccio, che porta il globetto *B*, vi ha una piccola scala d'avorio divisa in  $100^\circ$ , che ha lo zero là dove si alza il livello di una quantità di acido solforico tinto di rosso col carminio, di che è piena la parte orizzontale del tubo. Ma questa scala è così fatta, che a  $10^\circ$  corrisponde  $1^\circ$  del termometro centigrado, e a tutti i  $100^\circ$  corrispondono solo  $10^\circ$  C. Finalmente hanvi in questa scala anche de' gradi segnati sotto lo zero.

È facile dopo ciò di comprendere l'andamento di questo strumento. Quando il liquido trovasi a  $0^\circ$  della scala, è segno che l'aria de' due globi *A* e *B* ha la stessa temperatura. Ma quando il liquido si eleva o si abbassa sotto lo zero, indica che l'aria della palla focale *A* è più o meno calda di quella racchiusa in *B*; e di tanto è più calda l'aria di *A* sopra quella di *B*, di quanto il liquido si alza sopra lo zero, ed all'inverso di tanto è meno calda, di quanto il liquido si deprime sotto lo zero. Di modo che questo strumento indica la differenza che corre tra le temperature delle parti dello spazio che sono occupate dai due globi *A* e *B*, e però è stato distinto col nome di *termometro differenziale*.

296. L'altro strumento che, come il primo, è atto a segnare le quantità ancorchè piccolissime di calorico raggianti, si chiama il *termoscopio*, ed è rappresentato nella *fig.* 88. Risulta egualmente da un tubo di vetro del

diametro di quasi 1 linea, curvato ad angoli retti nelle due braccia *C* e *D* lunghe di 6 in 5 poll., che finiscono in due palle *a*, *b*, il cui diametro è di un poll. e mezzo. La parte poi *AB*, ch'è orizzontale, suol essere lunga 15 in 16 poll., e porta dentro una goccia di alcool tinta in rosso, che si chiama l'*indice*. La scala di questo strumento è applicata alla parte orizzontale del tubo, e segna lo zero giusto nel mezzo, e i gradi dall'una e dall'altra parte dello zero.

Quando si mette in opera il termoscopio, è da porsi prima l'indice nel mezzo, o sia a zero, e avvicinasì poi ad una delle palle il corpo di cui si vuole esplorare il calore. E come quando il corpo è più caldo l'aria della palla si dilata, e quando è più freddo si addensa; così l'indice si allontana o pur si avvicina, e dal cammino che fa la goccia si argomenta e ricava l'intensità del riscaldamento o del raffreddamento.

E perchè talvolta l'azione de' raggi calorifici di un corpo si potrebbe estendere da una palla all'altra; o pure quando si appressano due corpi l'uno ad una palla e l'altro all'altra, si verrebbero a mescolare le loro rispettive irradiazioni calorifiche; così è di necessità che si ponga in mezzo alle due palle un piano divisorio, ch'è formato di un cartone dorato, e si chiama il *paracalorico*, come si vede in *V*. Ora la sensibilità del termoscopio giunge a tale segno, che la sola palma della mano presentata ad una delle due palle alla distanza di 8 o 9 piedi mette in movimento l'indice per uno spazio notabile.

## Esperimento I.

Se presentate ad una palla del termoscopio un corpo che ne abbia più alta la temperatura, ancorchè questo corpo sia il ghiaccio, osserverete che l'indice dello strumento sempre si avvanzerà, e tanto più quanto è maggiore la differenza che passa tra la temperatura del corpo e quella della palla.

Questo sperimento fa a chiunque palese che qual si fosse corpo, ed eziandio il ghiaccio, manda calorico raggianti che dilata l'aria, da cui l'indice è stretto a camminare; e tanto più ne manda quanto è maggiore la sua temperatura, perchè tanto più l'indice del termoscopio si avvanza. Per lo che tutti i corpi, sieno da noi chiamati caldi o freddi, raggiano calorico, e tanto più quanto è maggiore la differenza di temperatura tra quelli che lo mandano, e gli altri che lo ricevono.

## Esperimento II.

Posti due specchi concavi a rincontro e alla distanza di 12 piedi, collocarono Pictet e Saussure nel fuoco di uno dei medesimi un termometro sensibile, e nel fuoco dell'altro un vaso pieno di neve. E così facendo osservarono che il termometro notabilmente venne ad abbassarsi, e più sotto discese, ove alla neve aggiunsero del sale. Ma tolta la neve, videro che il termometro tornossi ad innalzare.

Questo esperimento riceve luce ed illustrazione dal primo. Il termometro mandava raggi calorifici direttamente e indirettamente per mezzo degli specchi sulla

neve, e in tanta più copia quanto maggiore era la differenza tra la sua temperatura e quella della neve. E però lanciando raggi calorifici veniva ad abbassarsi. Non sono dunque i raggi frigorifici, come una volta credeasi, che fanno scendere il termometro, ma i calorifici, che stretti a portarsi sulla neve, ne producono coll'andar loro l'abbassamento.

297. Oltre la differenza di temperatura, conferisce alla facoltà che hanno i corpi di mandare calorico raggiante, siccome è naturale, la diversa loro natura. Di fatto tutte l'esperienze eseguite col termoscopio e col termometro differenziale hanno attestato quella facoltà esser diversa in corpi diversi. E sebbene Rumford abbia ricavato col termoscopio che i metalli forniti sieno in egual grado della facoltà di lanciare calorico; pure Leslie coll'ajuto del termometro differenziale ritrasse che posti tempi e circostanze eguali, la piombaggine riscaldava la palla focale di  $41^{\circ},66$ , il mercurio di  $11^{\circ},11$ , il ferro lucido di  $8^{\circ},33$ ; e trovò che solamente l'oro, l'argento e 'l rame riscaldavan la palla della medesima quantità  $6^{\circ},66$ . Nè solo i corpi, secondo la differenza di loro natura, son dotati di una facoltà più o meno energica di raggiare calorico, ma di assorbirlo o pure di rifletterlo, siccome concordemente ci hanno attestato le esperienze.

298. Ma soprattutto influisce nel mandare, assorbire o pure nel riflettere calorico raggiante lo stato, la tinta e gl'inviluppi della superficie de' corpi. Rumford prese due cilindri eguali di ottone ben puliti e lucidi, e lascian-done uno a nudo, e vestendo l'altro d'inviluppi diversi,

li riempì d'acqua ad una temperatura ora maggiore ed ora minore del termoscopio e dell'aria ambiente. Osservò in questo modo che perdettero  $10^{\circ} F$  il vaso nudo in 55', e l'altro coperto di tela d'Irlanda in  $36\frac{1}{2}$ '. Nella stessa maniera quando la temperatura de' vasi era più bassa, osservò che il primo si riscaldava assai più tardi del secondo. D'onde si ricava che il pulimento e la lucidezza è d'impedimento all'assorbire ed al mandare calorico raggiante. Di fatto, secondo l'esperienze dello stesso Rumford, mentre un tubo metallico perdeva  $10^{\circ}$  in  $55\frac{1}{2}$ ', un altro egual tubo coperto di una mano di vernice li perdeva in 42', e si iva diminuendo il tempo, come si accrescevano le mani di vernice. Venne in fine di assai facilitato il raffreddamento del tubo col coprirsi di una pelle di animale, massime se questa era tinta di nero. E in generale il color nero alla superficie e specialmente sulla pelle degli animali facilita il raffreddarsi e 'l riscaldarsi de' corpi; o, in altri termini, aumenta la facoltà di lanciare e di assorbire calorico raggiante. Per lo che i corpi più politi son quelli che assorbono meno calore, ed anche il meno ne raggiano, e si può dire che si fatte proprietà son correlative. Ed all'inverso le superficie non polite e grezze o pure nere assorbono maggior copia di calorico, e più in corrispondenza ne mandano in guisa che prontamente si scaldano e raffreddano. E in verità, per le esperienze tutte così del Rumford, come del Leslie, egli è certo che ne' corpi la facoltà di assorbire il calorico corrisponde e va del pari a quella di lanciarlo.

Diversa del pari è ne' corpi la facoltà di riflettere non solo secondo la loro natura, ma secondo lo stato della loro superficie. Di fatto se i raggi calorifici cadono prima sopra uno specchio di vetro e poi sopra uno di metallo, si osserva che il primo ne ritiene una gran parte, e poca ne riflette, e 'l secondo all'inverso li riflette quasi tutti, e poco o niente ne ritiene. Se poi uno specchio metallico si unge di grasso o di un sottile strato di una materia qualunque, questo poco o niente riflette i raggi del calorico, che prima a nudo in gran copia riflettea. Di che segue che il pulimento della superficie facilita la riflessione, e che al contrario le asprezze, la tinta nera, le incrostazioni di qualche materia, ec., la difficultano. Di modo che la facoltà di riflettere il calorico raggiante è nei corpi nella ragione inversa della facoltà di assorbirlo e di scagliarlo<sup>21</sup>.

299. Da un'esperienza del Leslie, in cui fece egli riflettere i raggi calorifici da uno specchio di vetro, si raccoglie che la riflessione del calorico succede solamente dalla superficie anteriore de' corpi; perchè, sia che la su-

---

21 Landriani, per mostrare come il diverso stato delle superficie dei corpi influisca sulla facoltà di emettere o di riflettere il calorico, come pure di assorbirlo, copriva o tingeva il bulbo di alcuni termometri con diverse sostanze, oppure ne coloriva il liquido, e dal più celere abbassamento o innalzamento dei termometri medesimi sottoposti a cause costanti deduceva la facoltà più o meno grande che quelle sostanze possedevano di emettere o di riflettere il calorico e di assorbirlo. Egli inoltre fece diverse indagini per iscoprire se la scala dei colori nell'assorbire il calorico irradiante corrispondeva coll'ordine dei colori prismatici, ed ha trovato che una tale corrispondenza non ha luogo; dipendendo invece dalla tinta più o meno scura dei colori, tra i quali l'azzurro-carico occupa il primo posto, e l'ultimo il giallo di paglia. — *Gli Editori*.

perficie posteriore di uno specchio di vetro fosse stata stagnata o no, o pure sfregiata con sabbia o con smeriglio, sempre venne a riflettere la medesima quantità di calorico. Anzi si crede, come è ragionevole, che la superficie rifletta non solo i raggi che le si tramandano di fuori, ma ancora gli altri che vengono dall'interno del corpo per uscirne. Ma non così avviene pel calorico che da' corpi si lancia; giacchè La Place ha dimostrato che questo non si parte solo dalla superficie, ma altresì dagli strati che stansi al di sotto e sono vicini alla superficie.

300. Sono dopo queste considerazioni da riguardarsi i corpi, e ciascun punto dello spazio non altrimenti che un centro in cui continuamente vanno e da cui si partono de' raggi calorifici. La quantità di questi varia secondo la diversa natura dei corpi, la differenza di loro temperatura, e lo stato, colore e qualità della loro superficie; perchè per sì fatte circostanze viene a crescere o a diminuire la facoltà di lanciare ed assorbire calorico raggianti, e quella di rifletterlo. E come tutti i corpi sono sottoposti di continuo a variazioni di temperatura, ed a cambiamenti nello stato di loro superficie; così di continuo lanciano, assorbono o pure riflettono in quantità diverse de' raggi calorifici, i quali passando liberamente a traverso i corpi e l'aria, o pure da' medesimi liberamente riflettendosi, non riscaldano. In questo senso la costanza della temperatura di un corpo è riposta nella eguale quantità di calorico raggianti ch'egli manda e riceve in tempi eguali. L'eguaglianza poi di temperatura tra più corpi, che gli uni sopra gli altri influiscono per

via d'irradiazione, proviene da continui ed istantanei baratti, per mezzo de' quali in ogni momento tutti e ciascun di loro tanto perdono quanto guadagnano. È questo il principio che chiamasi dell'*equilibrio mobile*, immaginato dal Ginevrino Prevost, con che ben si dichiarano i fenomeni della distribuzione del calorico raggiante.

301. Si comprende dopo ciò che basta cangiare lo stato della superficie de' corpi per cangiare interamente l'irradiazione che fassi da loro. Così annerendosi la superficie di un corpo si aumenta all'istante la sua facoltà di assorbire e lanciare calorico. Credesi quindi per sì fatta ragione che la natura abbia fornito di nero colore gli abitanti delle regioni sotto i tropici, giacchè questo colore, o molto scuro o del tutto nero, facilita l'uscita a quell'eccesso di calore che porta ne' loro corpi quell'aria brugiante. È facile in egual modo il comprendere perchè non si possa mettere in ebullizione l'acqua in una caffettiera d'argento ben pulita senza che tocchi il fuoco, ancorchè gli stesse vicinissima. Poichè il bianco e la politura dell'argento opera in gran copia la riflessione, e impedisce l'assorbimento dei raggi calorifici. Bastano in somma questi cenni per mostrare quanto tali dottrine si possano con vantaggio porre in opera per le arti economiche e per gli usi della vita.

302. Non è in fine da passare sotto silenzio che dalle esperienze del Leslie siamo stati avvertiti, l'intensità del calorico non essere eguale in tutti i raggi che si partono da un punto della superficie raggiante. Poichè egli si avvide che una sì fatta intensità era massima nel raggio *AS*



(fig. 2) normale all'elemento  $AT$  della superficie, e decrescere ne' raggi, che vanno come  $AV$  nelle direzioni oblique, in proporzione al coseno dell'angolo  $SAV$ , che i raggi obliqui fanno col normale, o sia al seno dell'angolo  $TAV$ , che dicesi di *emissione*. Questo decremento d'intensità che provano i raggi calorifici, come va crescendo la loro obblività, fu poi elevato a principio e dimostrato dal Fourier nella sua *Teoria del calore*, e coll'ajuto di questo principio potè calcolare la quantità del calorico, o diretto o riflesso, che una superficie manda ad un corpo di cui sia data la posizione. Ma non potendo inoltrarci in queste ed altre simili ricerche, che un argomento sono di fisico-matematica, ci facciamo ad esaminare giusta qual legge si van raffreddando i corpi che raggiano calorico, giacchè lanciandone ne perdono e si raffreddano.

303. Petit e Dulong sono stati i fisici che colle più squisite esperienze seppero nell'anno 1818 ritrarre la legge con che si vanno i corpi raffreddando. Eseguiroero essi i loro esperimenti da prima nel vòto, onde osservare in che modo s'ivano i corpi raffreddando col mandar calorico, senza che in contatto fossero dell'aria. Ma soprattutto posero mente alla celerità del raffreddamento, o sia al numero de' gradi di temperatura che un corpo perderebbe in un tempo infinitesimo e costante. Si accorsero in questo modo che tutti i corpi nel vòto colla stessa legge si raffreddano, ma che questa varia secondo che il recinto, da cui si limita il vòto, si va accrescendo di eguali gradi di temperatura, o pure resta ad una tem-

peratura costante nel tempo che il corpo raggiando si raffredda. Stabilirono in fatti in prima per via di sode e certe esperienze, che quando la temperatura del recinto cresce in una progressione aritmetica  $0^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $40^\circ$ , ec., la celerità del raffreddamento per uno stesso eccesso di temperatura, sia che fosse di  $240^\circ$ , di  $220^\circ$ , di  $200^\circ$ , ec., cresce in progressione geometrica, il cui rapporto espresso da 1,0077 è sempre lo stesso, qualunque sia l'eccesso della temperatura che si considera. Stabilita una sì fatta legge, vennero l'altra raccogliendo, cioè a dire: che quando un corpo si raffredda nel vòto in un recinto mantenuto ad una temperatura costante, la celerità del raffreddamento, per eccessi di temperatura in progressione aritmetica, cresce come i termini di una progressione geometrica diminuiti di un numero costante. Una sì fatta diminuzione in verità non avrebbe avuto luogo, se il recinto non avesse mandato al corpo del calorico raggiante. Ma come il recinto è fornito di una temperatura costante, deve mandare al corpo una quantità costante di calorico. Per lo che una sì fatta quantità deve da quella sottrarsi, che il corpo perde colla sua irradiazione, e per questa sottrazione viene a diminuirsi la celerità del raffreddamento. Donde è chiaro che quel numero costante, di che debbono diminuirsi i termini della progressione, dipende dalla temperatura del recinto, e deve variamente determinarsi secondo le circostanze diverse. Ma se la temperatura del recinto cangiasse giusta una progressione aritmetica, quel numero non potrebbe essere costante, anzi dovrebbe variare in virtù della pri-

ma legge in progressione geometrica (Vedi la Memoria del Petit e Dulong intitolata *Ricerche sulla misura delle temperature*, ec., nel tomo XI del *Giornale della Scuola Politecnica*).

#### CAPO IV. — DELLA PROPAGAZIONE DEL CALORICO.

304. È un fatto volgare che un corpo più caldo vicino ad un altro ch'è meno, lo riscalda, mentre esso nello stesso tempo si abbassa di temperatura. E in generale, come si mette in contatto il termometro a qualunque corpo, sia liquido, solido o pure aeriforme, egli si cangia di temperatura, dilatandosi o restringendosi. Oltre il termometro, le nostre sensazioni ci avvertono che il contatto de' corpi ora ci riscalda ed ora ci raffredda.

Ora da questi fatti egli è certo che col contatto si comunica e trasfonde il calorico, o, secondo che piace a quei che si attengono alle vibrazioni, una quantità di moto si perde e si comunica. Il termometro in fatti col contatto riceve e somministra calorico, e però si alza e si abbassa, e gli animali ricevendo e comunicando calorico provano la sensazione di caldo e di freddo. Il che senza alcun dubbio si dimostra da un fatto che si può da chiunque mettere alla prova, com'è quello d'immergere la destra assai calda e la sinistra assai raffreddata in un vaso d'acqua alla temperatura ordinaria; perciocchè colla destra comunicando all'acqua calorico sentirà freddo, e colla sinistra pigliandone riceverà la sensazione di cal-

do.

Oltre dunque il calorico raggiante, avvi nei corpi una porzione di calorico che più o meno presto da essi diffondesi: chiamasi da alcuni *calorico trasportato* o *condotto*, e si comunica per contatto. Per lo che essendosi stabilite le leggi giusta le quali si propaga il calorico raggiante, è giusto che ora si faccia parola della trasmissione del calorico per contatto; affinché ci sia noto in che modo i corpi si raffreddano o si riscaldano per l'azione congiunta dell'una e l'altra maniera di calorico, e come questo giunga ne' corpi ad equilibrarsi.

#### Esperimento I.

Riscaldando colla fiamma di una candela tre cilindri sottili ed eguali di diametro e di lunghezza, uno di argento, l'altro di vetro e 'l terzo di carbone, può chiunque osservare che quello di argento prestamente si riscalda in tutta la massa, e così forte, che non si potrà toccare colla mano senza scottarsi. Ma non così avviene del vetro, che lentamente s'innalza di temperatura per tutta la lunghezza, e più d'ogni altro del carbone; giacchè in questo si sparge e comunica con tale stento il calorico, che giunge ad arroventire in quei punti che sono in contatto colla fiamma, e conserva la temperatura ordinaria negli altri che ne sono più lontani.

305. Si argomenta da ciò che i corpi son forniti di un'attitudine diversa a condurre il calorico. Poichè l'argento meglio lo conduce del vetro, e questo più che non fa il carbone. Indi si è recata innanzi la distinzione di

corpi buoni e non buoni *conduttori* del calorico, di più o meno *deferenti* del calorico.

306. I metalli hanno una speciale attitudine a ricevere o a dare il passaggio, a traverso di loro, e a rilasciare il calorico, e però ne sono reputati in generale buoni conduttori; ma non tutti ne sono in egual grado forniti. L'oro e l'argento sono i migliori, e i meno buoni conduttori sono il piombo ed il platino. Indi le monete che riposte abbiamo in sacca, ci compariscono più calde che non sono i nostri vestimenti. Ciò non pertanto anche pei metalli si conosce che la comunicazione del calorico succede lentissima. È ora mai palese che riuscirebbe impossibile di elevare di un grado la temperatura dell'estremità di una sbarra di ferro lunga una tesa coll'applicare all'altra estremità il fuoco più intenso, perchè questa si fonderebbe prima che quella si riscaldasse sensibilmente.

307. Si reputano del pari in generale buoni conduttori i corpi molto densi e le sostanze vegetabili ed animali non molto asciutte. Ed all'inverso hanno piccola e quasi nulla la lor deferenza i corpi secchi, vitrei e resinosi, la lana, il carbone, i peli degli animali; e tra queste sostanze, giusta l'esperimento del Rumford, sono assai meno deferenti la lana e 'l cotone greggi, che lavorati.

308. Quasi nulla del pari è la proprietà di condurre ne' liquidi e ne' fluidi aeriformi. Rumford giunse a negare non che all'aria, ma all'acqua l'attitudine di dar passaggio al calorico di particella in particella. Ma la di lui opinione è stata rigettata comunemente da' fisici. Reca-

no essi innanzi la rapidità con che i termometri ad aria indicano le variazioni di temperatura, e i gas si dilatano ne' globi aerostatici coll'azione del calore solare, per dimostrare che l'aria non sia del tutto priva di deferenza. Dalton e Thomson hanno poi con più esperienze dato a vedere che un liquido in combustione più leggiero dell'acqua, soprapposto dolcemente a una massa di acqua fredda, ha innalzato la temperatura de' termometri ch'erano inferiormente collocati nell'acqua. Sicchè sebbene le acque e i liquidi e l'aria e i gas mal conducano il calorico, non sono affatto privi dell'attitudine di condurre pel contatto di particella in particella. Anzi son tutti oggi di avviso che l'aria e i gas tanto più ne sieno deferenti, quanto sien più densi.

309. Ma come le molecole de' liquidi e de' fluidi sono slegate e mobili, così si può in essi diffondere il calorico in un modo diverso di quello che ha luogo ne' solidi. Subito che in una massa liquida alcune particelle, le quali stansi intorno ad un corpo caldo o freddo, si riscaldano o si raffreddano, vengono a dilatarsi o pure a contrarsi. Divenute quindi sì fatte particelle (num. 267) specificamente più leggieri o più pesanti, si muovono innalzandosi o discendendo, ed a queste particelle delle altre di mano in mano ne succedono, che si riscaldano o si raffreddano dal corpo immerso nel liquido o nell'aria, e si producono delle correnti che ascendono quando il corpo è caldo, e discendono quando è freddo. Per via dunque di sì fatte correnti o moti delle particelle de' liquidi o de' fluidi si comunica a tutta la massa la tempe-

ratura assai più rapidamente, che non si farebbe al contatto delle molecole, come avviene ne' solidi.

310. L'attitudine che hanno i corpi di assorbire e tramandare il calorico, può essere da più circostanze modificata. E prima di ogni altro dalla densità e dalla pulitura; perciocchè coll'una e coll'altra si moltiplica il numero de' contatti e la comunicazione del calorico. Per la stessa ragione molto influisce l'estensione della superficie. Di fatto più difficilmente tramandano ed assorbono calorico quei corpi che hanno men superficie rispetto alla loro massa. I medesimi corpi di più che sono diversamente tinti, diversamente si riscaldano o si raffreddano, perchè diversamente assorbono o tramandano calorico. È volgare tra i fisici l'esperienza di una massa di neve coperta di un panno tinto a lunghe strisce di colori diversi, che posta vicino a' corpi infiammati si fonde in quantità diverse sotto le strisce di colore diverso<sup>22</sup>. Ed in generale una giornaliera esperienza ci attesta che il nero assorbe più il calorico, che non fa ogni altro colore; e il bianco meno degli altri lo assorbe. Però un termometro tinto di nero segna ad eguali circostanze una temperatura più alta che un bianco, quando venga posto in

---

22 Questa esperienza si può disporre in modo da essere ripetuta in ogni stagione dell'anno. Si forma una *cerata* composta di cera ordinaria e di olio, la quale è fusibile a circa 24° C., e si distende sopra un piano. Si pongono sullo strato della *cerata* alcune laminette metalliche di eguali dimensioni, tinte a diversi colori: collocandole così disposte sotto l'influenza del calorico, si vede che si sprofondano diversamente e con più o meno celerità fondendone il composto, e mostrano per tal modo il colore che favorisce l'assorbimento o la riflessione del calorico. — *Gli Editori*.

vicinanza ad un corpo riscaldato. Finalmente tutti i corpi nell'atto che cangiano stato assorbono o tramandano con prontezza ed in copia il calorico. Ed in generale la diversa capacità che hanno i corpi conferisce ancora ad aumentare o diminuire la quantità di calorico che si assorbe, o tramanda.

311. Siamo ora in istato di comprendere l'equilibrio del calorico e molti altri fenomeni di caldo e di freddo, che han luogo nelle nostre sensazioni. Ne' corpi adunque che sono più caldi o più freddi e stansi in contatto, si comunica calorico; o sia se ne perde da alcuni, e da altri ricevesene, finchè tutti si mettono alla stessa temperatura. Ma questo equilibrio nasce, a creder di quei che hanno il calorico per fluido materiale, dalle forze o tensioni (num. 274) eguali e contrarie di che son forniti i corpi che sono alla medesima temperatura. Così due corpi sono alla medesima temperatura, perchè posti in contatto non levano nè pigliano l'uno all'altro alcuna quantità di calorico, per la ragione che il calorico sulla superficie loro ha una forza o tensione eguale e contraria; e da queste forze eguali e contrarie ne risulta l'equilibrio. Per gli altri poi che sono seguaci delle vibrazioni, l'equilibrio proviene da un semplice cambio di movimento di vibrazione che le molecole de' corpi si trasmettono, per cui si producono eguali quantità di calore. Ma nell'una e nell'altra ipotesi i corpi diversi non si equilibrano in temperatura, nè con eguale quantità di calorico, nè con eguale intensità di vibrazione, ma più o meno, secondo la loro diversa natura, e il modo diverso



giusta cui legansi le loro molecole (num. 275). E sopra di ogni altro il tempo necessario per riscaldare o raffreddare i corpi, e per ridursi all'equilibrio di temperatura, è in tutti diverso, poichè diversa è in tutti la facoltà di condurre il calorico. E però variando ne' corpi, o per la loro natura, o per le circostanze che ne modificano l'attitudine a trasmettere ed a pigliare calorico, ne dee seguire che in tempi ineguali debbono disporsi ad una temperatura eguale.

312. Chiaro, dopo sì fatte considerazioni, si manifesta il modo con che opera il termometro, e quale sia il suo pregio. Quando questo strumento si mette in comunicazione coi corpi, dà o riceve da essi calorico, finchè giunga a prendere una temperatura eguale a quella de' corpi con che comunica. Di modo che il termometro co' suoi innalzamenti ed abbassamenti indica per cagion dell'equilibrio la temperatura de' corpi, e colla propria è indice di quella degli altri. Il termometro in questo modo viene in verità a indicare la temperatura de' corpi, dopo che loro ha tolto o comunicato calorico, non già quella ch'essi aveano prima che con loro si fosse posto in comunicazione. Ma ciò non ostante è così piccola la quantità di calorico che loro comunica, o da loro riceve, che si può senza errore trascurare; quindi si ha per un indice della temperatura che i corpi aveano prima che con essi posto si fosse in contatto. Per altro tanto perchè è piccolissima la quantità del calorico che il termometro piglia o comunica, quanto per la sua facoltà di condurlo in picciol tempo, si viene ad equilibrare. Sono queste le ragio-

ni per le quali i termometri si fan piccioli e si vogliono sensibili.

313. Prima di passare più oltre dichiarando l'equilibrio del calorico, è giusto che si dia la ragione per la quale stando più corpi a temperatura eguale, l'uno talora ci desta una sensazione più viva di caldo o di freddo, che non fa un altro. Toccando due pezzi l'uno di legno e l'altro di ferro, che sono alla stessa temperatura, proviamo nel toccare il ferro una sensazione di freddo che non sentiamo nel toccare il legno. Questo fenomeno, che pare a prima vista maraviglioso, tutto dipende dalla facoltà diversa che hanno i corpi di condurre il calorico. Come il ferro meglio conduce il calorico, che non fa il legno; perciò avviene che nel medesimo tempo leva più calorico dalla nostra mano, che non ne piglia il legno; e dalla perdita maggiore di calorico che fa la nostra mano nell'istante che tocca il ferro, ne risulta la sensazione più viva del freddo; ed all'inverso se il ferro fosse più caldo della nostra mano, verrebbe nell'istante del tocco a comunicar più calorico, che non farebbe il legno egualmente caldo, perchè quello più di questo conduce il calorico, e così ne seguirebbe una sensazione più viva di caldo. Per la stessa ragione una tavola di marmo ci sembra più fredda di un'altra di legno; perchè il marmo essendo più conduttore leva assai più prestamente del calorico; ed anche forse perchè il marmo stesso, come più denso del legno, ci presenta più punti di contatto, co' quali si divide la temperatura del nostro corpo. L'acqua e i fluidi ci pajono freddi non solo pel contatto perfetto

che con loro si forma, ma anche perchè è assai grande la loro capacità pel calorico; e però ne vogliono di assai per riscaldarsi. E così si van dichiarando tanti altri fenomeni simili per mezzo della diversa facoltà che hanno i corpi di condurre il calorico, e delle circostanze (num. 310) che modificano diversamente una sì fatta facoltà. Ma in generale non è da tacere che noi giudichiamo i corpi al tatto caldi o freddi non in ragione della loro temperatura, ma per la quantità più o meno grande ch'essi ci somministrano o ci levano di calorico relativamente a quella che dovremmo perdere o acquistare per via del contatto dell'aria e de' corpi che di ordinario ci circondano. Ma in questo giudizio l'abito molto influisce e regola, dirò così, le nostre sensazioni. Poichè se la differenza tra la temperatura dell'aria che ci attornia, e quella de' nostri corpi non è notevole, noi siamo usi a credere che la temperatura dell'aria dopo qualche tempo sia eguale a quella del nostro corpo; e questo abito modifica i nostri giudizi quando sentiamo un calore differente. Di fatto i luoghi sotterranei, la cui temperatura è presso a poco costante, ci fan le viste di caldi in inverno, e di freddi nella state. Tutto è differenza; niente è per sè nelle nostre sensazioni di freddo e di caldo.

Queste dottrine drizzar ci possono a comprendere come l'aria interposta tra due vetrate, o il carbon tritato interposto tra due strati di calce, mal conducendo e questo e quella il calorico, ci difendono nelle stanze dal freddo; e perchè la paglia, che mal conduce il calorico, ove è sparsa sul fondo delle ghiacciaje, impedisce che la

neve sia liquefatta dall'azione del calorico interno della terra. Dalla facilità del pari che hanno i metalli di condurre il calorico, si trae la ragione per cui una stufa di ferro fuso riscalda più facilmente le stanze di un'altra di maiolica. Si comprende oltre a ciò che in tempo d'inverno si convengono meglio le vesti di lana e di seta, che mantengono il calore animale, più che non fanno il lino ed il cotone. E chiunque in fine si persuade che nella state sieno adatte al sole le vesti bianche che assai riflettono, ed all'ombra le nere che gran calore dispergono e tramandano. Tante altre applicazioni in somma far si possono utili alle arti ed agli usi della vita, riguardando alle facultà di che sono i corpi dotati di condurre e raggiungere in diversi modi il calorico.

314. Ma non basta che il calorico siesi posto per mezzo del contatto ad equilibrio ne' corpi per mantenersi costante la loro temperatura, giacchè tutti mandano di continuo e ricevono de' raggi calorifici. Un corpo più caldo degli altri ne lancia più che non ne riceve, ed uno più freddo ne riceve al contrario più che non ne tramanda, finchè si venga a stabilire l'equilibrio. Anzi, questo già stabilito, non si può mantenere costante la temperatura se non per continui ed istantanei baratti (num. 300) di calorico raggiante. Ora essendo diversa in ciascun corpo la facultà di raggiungere e condurre il calorico, e potendosi l'una e l'altra in ogni momento per più circostanze modificare (num. 298), egli è chiaro che ad ogni momento può variare la quantità del calorico che si lancia, si conduce, si riflette e si assorbe, e per continue vicende si

viene a mantenere tra i corpi l'equilibrio della loro temperatura. Per lo che il calorico raggianti è soprattutto quello che ristabilisce e mantiene tra i corpi uniforme la temperatura.

315. Ciò non pertanto una mediocre estensione di un corpo, o pure una distanza non molto notabile di diversi corpi può dar luogo ad una differenza sensibile di temperatura, o tra più corpi, o tra le parti di un solo. Ma questo difetto di equilibrio, che talora si osserva, proviene dalla maniera con cui si propaga il calorico. Biot avendo mantenuta per più ore l'estremità di una verga di ferro lunga 7 piedi e grossa poll. 1 ½ ora ad una temperatura costante ed ora ad un'altra, ed eziandio a quella del piombo e dello stagno fuso, si accorse che la temperatura della verga non si alterava che a piccole distanze dalla sorgente del calorico. Poichè collocando a piccole ed eguali distanze una serie di termometri situati in fori scavati e pieni di mercurio, vide che i soli termometri vicini alla sorgente del calore si alzavano più o meno giusta le distanze. Anzi osservò che questi termometri restavano dopo qualche tempo stazionarij; e pigliate le loro distanze in una progressione aritmetica, conobbe che gli eccessi di temperatura de' punti corrispondenti della verga sopra quella dell'ambiente decrescevano in una progressione geometrica<sup>23</sup>.

---

23 Questa legge del decrescimento di temperatura in progressione geometrica, mentre le distanze dalla sorgente calorifica crescono in progressione aritmetica, vale soltanto pei metalli buoni conduttori del calorico, come sono l'oro, l'argento e il rame. — *Gli Editori*.

Questo esperimento ci avverte che non è da reputarsi vera la legge immaginata dal Newton, che un corpo caldo esposto ad una costante cagione di raffreddamento perde a ogni istante una quantità di calorico proporzionale all'eccesso della sua temperatura su quella dell'ambiente. Poichè se fosse vera, tutti i punti successivi della verga in ogni istante dovrebbero aumentare di calore per una quantità eguale alla differenza tra l'aumento che ricevono da' punti antecedenti, e 'l decremento che soffrono da' punti conseguenti. Ora non solo giusta l'esperimento non ha luogo la proporzionalità esatta che vuole quella legge, ma la comunicazione del calore non giunge che ad una certa distanza dalla sorgente, e in questa distanza va, egli è vero, decrescendo la temperatura, ma si ferma e si mantiene stazionaria. Tutto ciò proviene dal calorico che, come successivamente va camminando, si lancia, e tanto più quanto è più grande la temperatura. Si viene così a perder di continuo calorico per mezzo della irradiazione; e quando la perdita successiva del calorico raggiante è tanto quanto dovrebbe essere in ciascun punto l'aumento di temperatura, questa per mezzo di eguali guadagni ed eguali perdite si mantiene stazionaria. Di che è chiaro che un corpo alquanto esteso può trovarsi nei varj suoi punti con temperature diverse.

Si comprende dall'esperimento del Biot, com'egli, seguendo un pensiero del Newton, abbia tentato di misurare in gradi del termometro a mercurio le temperature che sono molto elevate, e che non vi si possono col fatto misurare. Poichè conosciuta per l'esperienza la

temperatura stazionaria comunicata, a distanze determinate, alle parti di una verga metallica dall'oro, argento, o altro corpo che si fonde, e in generale da una sorgente qualunque di calore, si può subito calcolare, giusta la legge di una progressione geometrica, quale debba essere l'intensità di calore nella sorgente in gradi del termometro a mercurio (Vedi su di ciò il tomo IV del *Trattato di Fisica* del Biot alla pag. 666, sulla *propagazione del calore ne' corpi solidi*).

316. Alla maniera con che si propaga il calorico in un corpo, corrisponde quella con cui si raffredda. Di ordinario accostandosi al Newton tutti erano d'accordo che ove i tempi formavano una progressione aritmetica, i gradi del raffreddamento seguivano una progressione geometrica. Delaroche fu il primo a dimostrare che nelle temperature superiori a quella dell'acqua bollente si trovava inesatta quella legge, perchè il raffreddamento avea luogo in una proporzione più rapida. Ma quelli che provarono per via di esperienze essere la legge Newtoniana per lo più falsa, e trovarsi solamente vera in limiti ristrettissimi, furono Petit e Dulong. Costoro dopo avere stabilito la celerità del raffreddamento nel vòto (n.º 303), si rivolsero a determinarla ne' corpi immersi in un fluido; perchè allora si raffreddano, non solo per le perdite del calorico raggianti, ma anche per quelle che hanno luogo a cagion del contatto del fluido ambiente. Venne loro fatto coll'ajuto delle più delicate esperienze di conoscere in prima che la celerità di raffreddamento, che è cagionata dal solo contatto di un gas, non dipende

dalla natura e dallo stato della superficie. Ritrasero in secondo luogo che la celerità del raffreddamento, la quale nasce dal solo contatto di un gas, varia in progressione geometrica, variando l'eccesso della temperatura in progressione geometrica. Di modo che se il rapporto di questa seconda progressione è 2, quello della prima è 2,35, qualunque sia la forza elastica e la natura del gas. Ma il potere che ha un fluido elastico di raffreddare, diminuisce in progressione geometrica, se la sua tensione diminuisce ancora in progressione geometrica. Di modo che se il rapporto di questa progressione è 2, quello della prima è 1,366 per l'aria, 1,301 per l'idrogeno, 1,431 per l'acido carbonico, ec. Stabilirono in fine che il potere di raffreddare di un gas varia colla sua temperatura in tal modo, che se questo gas può dilatarsi, e intanto conserva sempre la sua forza elastica, il potere che raffredda si troverà tanto diminuito per la rarefazione del gas, quanto è aumentato pel riscaldamento; di modo che in sostanza non dipende che dalla sua tensione. Si vede da tutto ciò che la legge totale del raffreddamento si compone da tante leggi particolari, e che però riuscendo intricatissima, non fu annunziata da' due famosi sperimentatori che sotto una forma matematica, come si può leggere nella citata Memoria: *Ricerche sulle misure delle temperature*, ec.

Queste leggi novelle ricavate dalle ultime esperienze han mostrato che debbono in più luoghi modificarsi i travagli matematici del Fourier intorno alla *Teoria del calore*. Poichè costui suppose per costante e certa la leg-



ge del Newton, che si verifica soltanto in istrettissimi limiti. Ma più di ogni altro poste tali considerazioni intorno alla propagazione del calore, si potrebbero coll'ajuto dell'analisi algebraica determinare le leggi del moto, e della distribuzione del calorico ne' corpi. Ma queste ricerche sarebbero argomenti di Fisico-matematica, e come tali, aliene dal nostro istituto. Che se alcuno ne vorrà contezza, potrà leggere Fourier, e la Memoria del Poisson nel tomo XII del *Giornale della Scuola Politecnica*.

## DELL'ELETTRICITÀ PER ISTROFINIO

L'ambra gialla, che dai Greci chiamavasi *electron*, diede nome di *elettricità* a quella proprietà che manifestano i corpi, quando sono strofinati, di attrarre e respingere, come fa l'ambra stessa, le pagliuzze e i corpicciuoli leggeri, di muovere un venticello e tramandar scintille. Ignota in verità ci è la causa di questi fenomeni che *segni elettrici* si appellano; ma senza conoscerla la supponghiamo e la distinguiamo col nome di *fluido elettrico*. Il quale si può eccitare e mettere in azione non solo per istrofinio, ma eziandio per contatto, per compressione, per istracciamento, per via del calorico, per le azioni chimiche, per la capillarità e per tanti altri modi diversi. Di modo che ad ogni momento si manifesta ed opera il fluido elettrico nella terra e nell'atmosfera, sia che i corpi si toccano, premono e strofinano, o pure si sciolgono e compongono, o mutano stato, luogo e temperatura. Di che è chiaro che molto conferisce a bene interpretare i fenomeni naturali la conoscenza de' modi con che suole esercitare la sua azione un sì fatto fluido, ch'è presente ed accompagna ad ogni istante tutte le operazioni della natura. E come più prontamente ed in più copia si suole egli manifestare ed accumulare collo strofinio e col contatto; così dell'uno e dell'altro di tali

modi faremo parola, cominciando dalla elettricità che si eccita per istrofinio<sup>24</sup>.

## CAPO PRIMO — DELLA MACCHINA ELETTRICA, E DELLE IPOTESI CHE DICHIARANO I FENOMENI ELETTRICI.

317. I fisici per istudiare con più agio le proprietà del fluido elettrico immaginarono una macchina che con prontezza l'eccita, e in copia lo sottopone alle loro inda-

---

24 Gli antichi conobbero la proprietà elettrica solo ed imperfettamente nell'ambra, e forse in qualche pietra, secondo quanto si ricava da Plinio. Sul cadere del secolo XVI una tale proprietà si riconobbe anche nel vetro, nello zolfo ed in parecchie altre sostanze; ma non fu soggetto di scienza se non circa 100 anni dopo, allorquando Ottone Guerike ed Hauxbée immaginarono un apparato per eccitare l'elettrico; e vent'anni dopo Grey scoprì il modo di elettrizzare per comunicazione. Le scoperte di Galvani e di Volta sull'elettricità sviluppata pel mutuo contatto dei corpi, ed ultimamente i fatti importanti riguardanti l'elettro-magnetismo e il magneto-elettricismo, rendettero questo ramo delle fisiche discipline uno dei più estesi e dei più ameni.

Nell'infanzia della scienza elettrica si distinsero i corpi in *idioelettrici* e in *anelettrici*; cioè in corpi che immediatamente stropicciati con una sostanza acquistano il potere dell'elettricità, e in altri che trattati nello stesso modo non diventano elettrici. Questa distinzione si riconobbe in seguito fallace; mentre tutti i corpi stropicciati, secondo il metodo che richiede la loro natura, si elettrizzano. I metalli per essere elettrizzati collo stropicciamento, è d'uopo munirli d'un manico formato d'una sostanza idioelettrica, giacchè essi hanno la proprietà di diffondere o di condurre il fluido elettrico, appena che viene in loro eccitato. E però con molto accorgimento vennero i corpi distinti in *buoni conduttori* e in *cattivi conduttori* dell'elettrico, come fa notare in seguito l'autore.

Fra i differenti mezzi che vengono annoverati per eccitare l'elettricità, meritano menzione distinta la germinazione, la vegetazione e l'evaporazione, coi quali la natura sviluppa ed accumula nelle nubi l'elettrico, da cui nascono i portentosi fenomeni del lampo, del tuono e della folgore. — *Gli Editori.*

gini. Questa macchina è quale si vede nella *fig. 90*. *PP* è un disco di vetro pulito il quale è traforato nel mezzo, e pel cui foro passa un asse metallico che porta la manovella *M*. Due o quattro cuscini *C, C* stringono in mezzo e strofinano la superficie di quel disco; ed *A*, che chiamasi il *conduttore*, è un cilindro di metallo che porta due branche *O, O* rotonde di metallo, ed è sostenuto da due colonnette *R, R* di vetro. Ora girando la manovella *M* gira il disco, che viene strofinato da' cuscini; e con tale strofinio si eccita una gran copia di fluido elettrico, che passando per le branche *O, O*, si va ad accumulare nel corpo conduttore *A*. E come sull'estremità avvi piantata l'asta dell'*elettrometro* di Henley *E*, che porta il quadrante graduato; così dall'innalzamento maggiore o minore del globetto *x* si argomenta la forza della carica.

318. Per meglio comprendere l'uso e l'artificio di questa macchina, sono da considerarsi ad una ad una le sue parti, che sono il disco, i cuscini e 'l conduttore. E prima è da riflettere che il disco di vetro non è altro in sostanza che il corpo strofinato, il quale non è necessario che sia un disco; poichè Nairne l'ha formato a cilindro, che gira sopra un asse, e produce degli effetti gagliardi e costanti<sup>25</sup>. In luogo di vetro si è qualche volta posto in opera per corpo strofinato lo zolfo, o qualche

---

25 Il disco è coperto di taffetà gommato nei due quadranti che sono a canto ai cuscinetti, e posti dalla parte per cui si effettua il movimento di rotazione, onde l'elettrico che si sviluppa possa passare nei rami del conduttore senza disperdersi per l'aria circostante. Queste coperture di taffetà, mentre fanno in certo modo anche l'ufficio di strofinatori, rendono molto più energica la macchina. — *Gli Editori*.

resina; ma allora si ottengono gli stessi effetti del vetro, con un'elettricità contraria. Poichè due maniere diverse di elettricità, siccome vide il primo Dufay, si hanno dal vetro e dalle resine. Difatti se un globetto di midollo di sambuco appeso ad un fil di seta si avvicina al vetro strofinato, quel globetto è da prima attratto e poi respinto dal vetro; e se il globetto, nell'atto ch'è respinto dal vetro, si avvicina alla ceralacca strofinata, è subito attratto; ed all'inverso un globetto respinto dalla ceralacca è subito attratto dal vetro. La ceralacca adunque ed il vetro pigliano collo strofinio elettricità, ma l'una è all'altra opposta; perciocchè l'una attrae i corpiciuoli, che dall'altra sono respinti. Su questi fatti è fondata la distinzione di *fluido elettrico vitreo* o *fluido vitreo*, e di *fluido elettrico resinoso* o *fluido resinoso*.

I cuscini non sono che corpi strofinanti. Di ordinario son pieni di crine e coperti di pelle, cui si applica un amalgama che facilita lo svolgimento dell'elettricità. Sogliono anche i cuscini ricoprire al medesimo oggetto di un taffetà gommato. E in generale qualunque corpo può servire di strofinatore o di cuscino.

Il conduttore è sempre di metallo, o al meno coperto di carta di oro o di argento, la cui forma e grandezza suol farsi a piacere; ma è necessario che sia cilindrico, e rotondo alle estremità, affinché, come per lo innanzi si dirà, non si possa dissipare il fluido elettrico. E per la stessa ragione dev'esser sempre sostenuto da una o più colonnette di vetro, la cui superficie talora si copre di ceralacca.

319. Ora girandosi la macchina, questa si carica, perchè l'elettricità del vetro strofinato passa subito nel conduttore di metallo; e quando si avvicina la nocca del dito a qualunque punto del conduttore, all'istante il fluido elettrico si slancia, e la macchina si scarica. Il fluido adunque liberamente e senza alcun ritardo va, viene e, scorre sopra il conduttore, ch'è di metallo; nè si comunica a' corpi circostanti stando sul conduttore, ancorchè questo sia in contatto coll'aria e colle colonnette di vetro o di ceralacca, che fan di sostegno. Ma se queste o l'aria sono umide, il fluido elettrico non si mantiene accumulato sul conduttore, e par che la macchina non si carichi.

320. Da queste osservazioni si ricava che l'aria secca e 'l vetro asciutto e la ceralacca non ben conducono il fluido elettrico, anzi ne impediscono e ritardano il cammino. Ed al contrario il metallo e l'umido gli offrono pronto ed istantaneo il passaggio. È nata da tali osservazioni la distinzione di *corpi conduttori e non conduttori* del fluido elettrico. Non conduttori sono la gommalacca, le resine, lo zolfo, il vetro, la seta, ec. Male ancora lo conducono l'ambra, il cotone, la carta, lo zucchero, le legne disseccate dal fuoco, le terre, gli ossidi metallici, le pietre dure, la lana, i capelli, le piume, ec. Tra i conduttori sono i migliori i metalli, le acque, gli animali, i vegetabili, il carbone, ec.

I corpi non conduttori sono stati chiamati *elettrici per sè* o *coibenti*; i conduttori imperfetti, *semicoibenti*; e i conduttori, *elettrici per comunicazione* o *deferenti*. Ma

in verità non si danno corpi che impediscono del tutto il passaggio al fluido elettrico; giacchè la stessa gommalacca, che più di ogni altra sostanza gli è di ostacolo e lo ritiene quando è assottigliata, si lascia dal fluido elettrico penetrare. E però si osserva che l'elettricità a poco a poco va scorrendo dal conduttore della macchina lungo de' sostegni di vetro e a traverso dell'aria, e così va mancando e si dissipa. I corpi coibenti sono stati ancora chiamati *isolanti*, perchè mettono il fluido elettrico fuor di comunicazione, e il corpo elettrico attorniato di quei corpi si dice *isolato*. E in generale vien chiamato *isolatore* uno scabello con piedi di vetro o pur di resina, perchè una persona quivi collocata riceve elettricità senza comunicarla alla terra.

Ma quel che più d'ogni altro è degno di osservazione, egli è che i due corpi strofinante e strofinato pigliano ambidue elettricità, ma contraria. Se isolate in fatti i cuscini della macchina, un globetto di midollo di sambuco, ch'è respinto dal conduttore, sarà attratto da' cuscini, ed all'inverso. Tutti i corpi adunque ed eziandio i metalli collo strofinio pigliano lo stato elettrico, e gli strofinanti e gli strofinati danno segni di elettricità contrarie. Ma il medesimo corpo strofinato da sostanze diverse piglia ora l'una e ora l'altra elettricità, e la medesima sostanza che strofina corpi diversi manifesta ora l'uno ed ora l'altro stato di elettricità. Il vetro strofinato da un pannolana mostra elettricità vitrea, e da pelle di gatto elettricità resinosa. La seta strofinata colla carta piglia elettricità di resina, e colla gommalacca elettricità di vetro. Di più,

se strofinasi un vetro liscio con un altro non levigato, questo ha elettricità resinosa, e quello vitrea. Per molte circostanze in somma può variare la specie di elettricità che prende un corpo per mezzo dello strofinio<sup>26</sup>.

### Esperimento I.

Se isolate la macchina, e con questa la persona che la gira, in tempo che l'aria è secca, si vedrà che da prima il conduttore dà segni elettrici, e questi, come si va scariando la macchina, andranno a poco a poco menomando, finchè del tutto verranno a mancare.

321. Questo esperimento chiaro dimostra che il fluido elettrico che si aduna sul conduttore, non viene tutto dal vetro e dalla macchina, ma più di ogni altro dalla terra.

---

26 L'elevazione di temperatura predispone i corpi ad essere elettrizzati in meno; mentre il raffreddamento dà ai medesimi il contrario potere. Il pulimento in generale tende a dar al corpo l'elettricità positiva venendo strofinato, mentre le scabrosità lo rendono più atto a sviluppare lo stato elettrico negativo. Il coloramento, la disposizione delle molecole o delle fibre, il senso in cui vien fatto lo stropicciamento ed anche la forza con cui si preme lo strofinatore, producono de' risultamenti analoghi. Le seguenti sostanze stropicciate con alcune di quelle che vengono dopo di loro si elettrizzano in più, e con qualcheduna di quelle da cui sono precedute, in meno. — *Pelle di gatto, vetro liscio, panno-lana, piuma, legno, carta, seta, ceralacca, vetro scabro.* Le pelli fine, come la pelle di gatto, di lontra e simili, sono poste nel primo rango fra quelle che acquistano l'elettricità positiva collo stropicciamento; e fra i corpi così detti idioelettrici, le resine posseggono più d'ogni altra sostanza la proprietà di elettrizzarsi negativamente; cosicchè nella seguente serie: *Pelle di gatto* e tutte le pelli fine — *vetro — diamante — cristallo di rocca — pietre preziose* ..... *seta — ceralacca — succino — resine*, vi ha un numero indefinito di sostanze interposte a quegli estremi, le quali si elettrizzano positivamente o negativamente secondo che sono stropicciate colle ultime o colle prime delle sostanze componenti la serie stessa. — *Gli Editori.*



Impedita di fatto la comunicazione tra la macchina e la terra viene totalmente a mancare lo svolgimento del fluido elettrico. In questo modo lo strofinio eccita sul vetro il fluido elettrico, e come questo passa nel conduttore, lo stesso strofinio l'attira sul vetro da' corpi circostanti e dalla terra. È questa la ragione per cui si suole appendere a' cuscini una catena di rame, che comunica colla terra, per facilitare il corso al fluido elettrico dalla medesima, che si reputa il suo serbatoio, verso la macchina e i cuscini.

Si comprende parimente come la stessa macchina può servire per eccitare ed accumulare le due elettricità. Poichè basta isolare i cuscini per avere dai medesimi elettricità resinosa, e dal vetro la vitrea. E se il vetro o sia il conduttore è in comunicazione colla terra, i cuscini daranno solamente elettricità resinosa. Indi la nostra macchina, in cui isolar si possono i cuscini, è atta a mostrare l'una e l'altra maniera di elettricità.

322. Ma sebbene convengono i fisici che in sì fatta maniera si carica la macchina elettrica; pure quest'operazione da loro è oggi dichiarata con due ipotesi differenti. I fenomeni elettrici, giusta l'opinione del Franklin, derivano da un fluido sottilissimo, le cui particelle si respingono tra loro, ma sono più o meno attratte da tutti i corpi. Il globo terrestre è il serbatoio di questo fluido; ma ciascun corpo ne ha, a creder di quel Fisico, in proporzione alla propria capacità a contenerlo. Quando i corpi ne ritengono in proporzione a sì fatte capacità, si dicono nello *stato naturale*, e 'l fluido in *equilibrio*,

giacchè non si manifesta per alcun segno sensibile. Ma se il fluido elettrico è ne' corpi più o meno delle loro capacità, allora i corpi si dicono *elettrizzati*, ed egli si manifesta per gli sforzi che fa per ripigliare il perduto equilibrio. Quando soprabbonda alla capacità de' corpi, questi si dicono *elettrici in più*, o *positivamente*; e quando è men della capacità, si dicono *elettrici in meno*, o *negativamente*. Dall'eccesso quindi o dal difetto il fluido elettrico è chiamato *positivo* o *negativo*.

Secondo questa ipotesi il fluido elettrico per mezzo dello strofinio da' cuscini passa nel vetro, e da questo nel conduttore, dove trovandosi in più, si manifesta per i suoi sforzi a ripigliare l'equilibrio. La terra poi somministra il fluido alla macchina, e questa a' cuscini che lo comunicano al vetro. E così si forma un circolo continuo del fluido elettrico. Poichè restando per lo strofinio il fluido elettrico in più sul vetro, e in meno su i cuscini, è impaziente, e dal vetro corre al conduttore<sup>27</sup>, e dalla terra a' cuscini, per mantenere il suo equilibrio.

323. Un'altra ipotesi ha recato il Symmer dopo quella del Franklin. Suppone quegli due fluidi elettrici che tra loro si attirano, mentre le particelle di ciascuno tra loro si respingono. Ma vuole che l'unione di questi due fluidi, ch'ei chiama *elettricità combinata*, produca lo stato di equilibrio, e la loro separazione lo stato elettrico. Chiama l'uno di questi fluidi *vitreo* e l'altro *resinoso*, perchè il primo preso separatamente manifesta i segni

---

<sup>27</sup> Quest'ipotesi viene anche chiamata *sistema d'un sol fluido*, o *sistema degli unitarj*, o *sistema meccanico*. – *Gli Editori*.

dell'elettricità vitrea, e 'l secondo della resinosa. Di modo che conviene Symmer con Franklin, che la terra sia la stanza dell'elettricità, e che ciascun corpo ne ha la sua quantità naturale; ma Franklin vuole semplice ed unico questo fluido, e Symmer lo suppone composto di due altri fluidi combinati tra loro, come l'ossigeno e l'idrogeno nell'acqua. E però in questa seconda ipotesi il fluido elettrico non diviene sensibile quando eccede o manca in riguardo allo stato naturale, ma quando si scompone ne' due suoi elementi. Sempre poi egli è vero che per i segni e per gli effetti l'elettricità vitrea del Symmer corrisponde alla positiva del Franklin, e la resinosa di quello alla negativa di questo<sup>28</sup>.

Con tale ipotesi si spiega del pari la carica della macchina. L'elettricità combinata de' cuscini collo strofinio si scompone, e 'l vetro se ne attira la vitrea, che manda al conduttore. Ma il fluido resinoso che è restato su i cuscini attira a sè il fluido vitreo dell'elettricità combinata, la quale trovasi nelle parti della macchina, e di nuovo si combina. Succede quindi una nuova scomposizione ad ogn'istante, e la macchina si carica adunandosi il fluido vitreo sul conduttore. Il contrario avverrebbe se la macchina, in luogo di disco o globo di vetro, avesse per corpo strofinato un globo di zolfo; perciocchè questo piglierebbe da' cuscini e darebbe al conduttore fluido resinoso; ma sempre avrebbe luogo su i cuscini una scomposizione e ricomposizione di elettricità combinata.

---

28 La seconda ipotesi si appella anche *sistema dei due fluidi*, o *sistema dei dualisti*, o *sistema chimico*. – *Gli Editori*.

324. Ambedue queste ipotesi convengono nell'idea di *tensione elettrica*, che consiste nella forza con cui si respingono o tendono ad allontanarsi le particelle contigue dell'unico fluido del Franklin e del fluido vitreo o resinoso del Symmer; giacchè l'uno e l'altro attribuiscono alle particelle o dell'unico fluido o di ciascuno dei due fluidi la forza di respingersi tra loro. Questa forza poi è proporzionale alla densità o sia al numero delle particelle elettriche racchiuso in un dato spazio; perchè quanto più queste stansi ristrette, tanto più si sforzano di respingere e di allontanarsi. Di modo che la tensione non è misura della quantità, ma dell'angustia in cui si stanno le particelle del fluido elettrico, o vitreo o resinoso.

Si vede da ciò che una sì fatta idea di tensione non si può bene adattare all'elettricità negativa del Franklin. Poichè questa risultando da difetto di fluido, non si può concepire che particelle avesse, che si respingono, come farebbero quelle dell'elettricità positiva che ha eccesso di fluido. Indi i Frankliniani debbono in questo caso rifuggire allo sforzo ch'esercita l'elettricità negativa di ripigliare il suo stato naturale e di equilibrio. Ma in generale non ben si comprende come il medesimo fluido debba per difetto operare colla medesima energia e secondo le medesime leggi, come fa per eccesso. Per lo che sono venuti i fisici nel pensiero di dare ai due stati elettrici due cause perfettamente eguali nelle loro proprietà, ma differenti nella loro natura, come sono il fluido chiamato *vitreo* o *positivo*, o *elettricità positiva*, e 'l fluido appellato *resinoso* o *negativo*, o *elettricità ne-*

*gativa*. Spiegano così, perchè dato il medesimo corpo strofinato e strofinanti diversi, o pure dato lo stesso strofinante e corpi diversi strofinati, possa il medesimo corpo prendere ora l'una ed ora l'altra elettricità; giacchè ciascun corpo si piglia quella elettricità per cui ha maggior tendenza rispetto all'altro. E spiegano del pari con facilità perchè i due corpi per mezzo dello strofinio pigliano nel medesimo grado i due stati opposti, l'uno di elettricità positiva, e l'altro di elettricità negativa<sup>29</sup>.

---

29 La *tensione elettrica* va distinta dalla *carica elettrica*. Per carica s'intende, nel sistema degli unitarj, la quantità d'elettrico di cui un corpo eccede quello proprio al suo stato naturale e che lo rende *elettrizzato positivamente*, e in questo caso la *carica* è *positiva*; oppure per carica s'intende la quantità d'elettrico di cui un corpo è in difetto per trovarsi nel suo stato naturale e che lo rende *elettrizzato negativamente*, e in questo secondo caso la carica è *negativa*. La tensione in vece è lo sforzo che fa l'elettrico per ristabilirsi in equilibrio, sia in virtù d'un'elasticità propria a questo fluido, sia per l'attrazione dei corpi che hanno minor dose d'elettrico. La *tensione* è pure *positiva* e *negativa*, secondo che il corpo è elettrizzato in eccesso o in difetto. Nel primo caso dipende dallo sforzo che esercita l'elettrico eccessivo accumulato sul corpo per passare a mettersi in equilibrio sugli oggetti circostanti e nella terra. La tensione negativa dipende dallo sforzo esercitato dall'elettrico sparso sugli oggetti circostanti per passare a mettersi in equilibrio sul corpo che ne è in difetto.

In ogni corpo elettrizzato vi ha dunque la *carica* e la *tensione*, ma la stessa carica prodotta da un'egual quantità di fluido, di cui un corpo è capace, può generare una differente tensione. Più il corpo ha capacità per contenere l'elettrico, meno è la tensione per la stessa carica. In un conduttore di picciole dimensioni la stessa carica produce una tensione molto più grande di quella che si avrebbe sopra uno di maggiore estensione. Due corpi possono quindi essere egualmente caricati ed avere diversa tensione, oppure avere l'egual tensione e differente carica. La capacità, oltre dall'ampiezza del corpo, dipende anche da altre circostanze, come si vedrà in seguito; ma poste pari tutte queste circostanze, la tensione è in ragione inversa dell'ampiezza del corpo, mentre la carica segue la ragione diretta dell'ampiezza medesima. Nei corpi d'egual capacità la tensione segue lo stesso rapporto della carica.

325. Ma ciò non pertanto è da confessare che l'ipotesi del Franklin, la quale è ancora in voce in Inghilterra e in Italia, sia più semplice di quella che è oggi abbracciata da' Francesi e dai Tedeschi. Per altro l'ipotesi di due fluidi, ciascuno de' quali opera esattamente cogli stessi modi e produce precisamente gli stessi effetti, pare del tutto arbitraria; giacchè la loro esistenza non è dimostrata dai fatti. Più intricata in fine e del pari arbitraria è l'idea di una continua composizione e scomposizione di questi due fluidi, che è necessaria a porsi per ispiegare lo stato elettrico e naturale de' corpi. Altro recar non possono i Francesi in sostegno della loro ipotesi, che la spiegazione facile e pronta di tutti i fenomeni; ma ciò non basta a fondare una teorica, giacchè ricercasi, oltre la riduzione de' fenomeni, che i principj con che questi si spiegano, sien veri, cioè fatti. Ma oggi si comincia già ad abbandonare quella precauzione con cui procedeasi nella ricerca della verità, e facilmente si lasciano portare i fisici alle ipotesi. Noi quindi incerti ancora essendo sulle idee teoriche, andremo rapportando l'esperienza e i fenomeni elettrici, e notando di mano in mano come coll'ajuto dell'una e dell'altra ipotesi si dichiarano. Per ora le metteremo qui in confronto per ispiegare ciò che dicesi stato naturale de' corpi in riguardo all'elettricità.

326. Epino, riducendo ad esattezza e precisione i pen-

---

Chiamando quindi con  $E, C, T$  la carica o l'elettrico d'un corpo, la capacità e la tensione, e con  $e, c, t$  le corrispondenti quantità d'un altro corpo, si avrà:  $E:e :: CT:ct$ ; dalla quale proporzione si ricavano facilmente tutti i rapporti fra la carica, la capacità e la tensione. — *Gli Editori.*

samenti del Franklin, considerò due corpi *A*, *B* nello stato naturale, e cercò di svelare le forze con che si equilibrano. La materia di *A*, diss'egli, attira il fluido elettrico di *B*, ma questo fluido respinge quello di *A*. E come la prima azione è eguale e contraria alla seconda; così da queste due prime azioni risulta equilibrio. Progredì poi dicendo: la materia di *B* attira a sè il fluido elettrico di *A*; ma non trovò un'altr'azione che distruggesse questa terza, che è eguale a ciascuna delle prime due. Però fu stretto ad affermare che i due corpi *A*, *B* tra loro si respingono, o sia di ammettere, a riguardo del fluido elettrico, un'azione direttamente contraria alla gravitazione. Il che è fuor di ragione.

In questo errore non s'inciampa coll'ipotesi dei due fluidi. Poichè il fluido vitreo di *A* attira il resinoso di *B*, ma è respinto dal vitreo di *B*. Il fluido resinoso di *A* attira il vitreo di *B*, ma è respinto dal resinoso di *B*. E come avvi equilibrio; così queste quattro azioni son da reputarsi eguali e contrarie. È questa la prima considerazione che mettono avanti i partigiani de' due fluidi contro l'ipotesi del Franklin.

## CAPO II. — DELL'INFLUENZA ELETTRICA, DELL'ELETTROFORO E DEL CONDENSATORE.

Conosciuta la costruzione della macchina, ed eccitata l'elettricità sul conduttore, siamo ora in istato di esaminare le proprietà e l'energia del fluido elettrico. E per

procedere con metodo cominciamo in prima ad indagare se la sua forza opera in distanza.

### Esperimento I.

Avvicinando a poco a poco al conduttore elettrizzato (*fig. 92*) un tubo di legno dorato *A* sostenuto da una colonnetta di vetro che l'isola, si osserva che giunto a una certa distanza, i pendolini, che sono formati di midollo di sambuco, sospesi ad un filo di lino, e stansi situati in *t*, si discostano, o, come dicesi, si aprono. Ma se ritirasi il tubo, all'istante i pendolini si chiudono o si ravvicinano.

327. È chiaro da questo esperimento che il fluido elettrico opera in distanza sopra *A*, che trovasi allo stato naturale, perchè i pendolini respingendosi si aprono e si mostrano elettrici. E come all'allontanarsi di *A* questi si chiudono, egli è certo che non fu comunicata loro e al tubo elettricità, perchè ripigliano lo stato naturale.

Ora quest'azione che esercita il fluido elettrico su i corpi in distanza, e senza che loro si comunichi, si chiama *influenza elettrica*. E perchè quest'azione si esercita intorno al punto in cui è adunato il fluido elettrico, tutto questo spazio è stato detto *atmosfera elettrica*, o *sfera di attività*<sup>30</sup>.

---

30 Questo disequilibrio o decomposizione locale dell'elettrico naturale d'un corpo, sottoposto all'azione dell'atmosfera elettrica d'un altro caricato, vien chiamato dai Francesi col nome di *électricité par influence*; che gl'Italiani dicono *elettricità attuata* o *per attuazione*: cosicchè un corpo è elettrizzato per attuazione quando viene modificato il fluido che possiede naturalmente senza perderne o riceverne dagli altri corpi. Dal diverso stato elettrico che prende il corpo attuato secondo quello che si dà al corpo attuante,



## Esperimento II.

Se in luogo di un solo tubo si pongano tre eguali tubi, l'uno dopo l'altro, come nella *fig.* 91, nella sfera di attività del conduttore elettrizzato, e di questi tre tubi sien guarniti di pendolini in *t* e in *t* i due più lontani *B*, *C*, si osserverà che i pendolini di *B* divengono elettrici per elettricità negativa, e quelli di *C* per elettricità positiva analoga a quella del conduttore.

Si conosce di quale delle due elettricità sien forniti i pendolini avvicinando loro il vetro o la ceralacca strofinati. Se col vetro si apron di più, è segno che la loro elettricità è omologa, o sia positiva; e se chiudonsi, è indizio che è negativa. Se poi colla resina i pendolini divergon di più, la loro elettricità è resinosa o negativa, e se chiudonsi è positiva. Ora avvicinando a' pendolini di *B* il vetro strofinato, questi si chiudono, e appressando a' medesimi la ceralacca balzan di più. Il contrario avviene a' pendolini di *C*: si aprono di più col vetro, e si chiudono colla ceralacca. Il che ci dimostra che quelli di *B* divergono per elettricità negativa, e questi di *C* per elettricità positiva.

Se la macchina, in luogo di esser caricata per elettricità positiva, lo fosse per negativa, succederebbe il contrario. I pendolini di *B* sarebbero investiti di elettricità positiva, e quelli di *C* di elettricità negativa.

328. E però è da conchiudere a legge generale che i corpi immersi nell'atmosfera elettrica pigliano, nell'e-

---

si deduce tutta la dottrina delle atmosfere elettriche. — *Gli Editori.*

stremità più vicine al corpo elettrico, elettricità contraria, e nelle più lontane l'omologa.

### Esperimento III.

Se i tre tubi *A*, *B*, *C* (*fig. 91*) si guerniscono di pendolini a varie distanze, e s'immergono, nella posizione in cui sono, nell'atmosfera del conduttore elettrizzato, si osserva che i pendolini delle due estremità di *A* e di *C* divergono più di tutti gli altri. Questi dall'estremità di *A* per andare a quella di *C* vanno da prima aprendosi gradatamente di meno, e poi successivamente di più. Dimodochè formasi prima una serie decrescente nella divergenza de' pendolini, si giunge poi a zero, o sia ad un punto in cui i pendolini non si muovono, e da questo punto si forma una serie crescente di pendolini che si aprono sempre di più.

329. Egli è certo, dall'esperimento II, che i pendolini dell'estremità più vicina di *A* balzano per elettricità negativa, e quelli della più lontana di *C* per elettricità positiva. Come dunque i pendolini nella prima serie gradatamente si aprono di meno, è da dirsi che la tensione dell'elettricità negativa va successivamente decrescendo. Si giunge al punto zero, in cui avvi stato naturale, e da questo punto va crescendo nella seconda serie l'elettricità positiva, che giunge al *maximum* nell'estremità più lontana di *C*.

I corpi adunque immersi nelle atmosfere elettriche passan per gradi dall'elettricità contraria alla omologa, e dal *maximum* di quella al *maximum* di questa.

#### Esperimento IV.

Comunicata dal conduttore elettricità al tubo *A* della *fig.* 92, i pendolini si aprono. Ora se a questo tubo già elettrizzato avvicinate l'estremità del tubo *A* della *fig.* 91, che si trova nello stato naturale, osserverete che questo appressato al tubo elettrizzato in quella parte in cui stansi i pendolini, li farà balzare di più, ed appressato all'altra estremità ch'è nuda, farà diverger di meno e talvolta chiudere i pendolini.

330. Si ricava da questo esperimento, che non solo il tubo elettrizzato opera per influenza sopra l'altro allo stato naturale, ma anche questo sopra quello. Poichè il tubo allo stato naturale riguardando ora l'una e ora l'altra estremità del tubo elettrizzato, attira verso questa e verso quella l'elettricità. Quando l'attira sull'estremità nuda del tubo elettrizzato, i pendolini sentendo la diminuzione più o meno dell'elettricità balzan di meno, e si possono eziandio chiudere. Quando poi l'attira verso l'estremità guernita di pendolini, questi sentendo l'aumento dell'elettricità divergon di più. I corpi adunque immersi nell'atmosfera elettriche reagiscono sul corpo elettrizzato, di cui sentono l'influenza.

Dagli esperimenti sin qui rapportati egli è chiaro che l'influenza ha luogo nell'aria secca che non è conduttrice, e in questa il raggio della sfera di attività può esser notevole. Ma se il mezzo, il quale si frappone tra il corpo elettrizzato e quello nello stato naturale, è denso e compatto, come il vetro e la resina, quella in tal caso si sten-

de a piccola distanza. Indi il vetro o la resina, che talora s'interpone, dev'esser sottile, affinchè sensibilmente osservare si possano gli effetti dell'influenza elettrica.

#### Esperimento V.

Mentre i tre tubi *A*, *B*, *C* (*fig.* 91) sono immersi nella sfera di attività del conduttore ed a contatto fra loro, ritirate prima il tubo *B* di mezzo, e scaricate poi la macchina; vedrete allora, che sebbene sia mancata l'influenza elettrica, pure i pendolini di *B* e di *C* restano aperti.

331. Questo esperimento ci dimostra che un corpo può restare elettrico, ancorchè sia portato fuori dell'atmosfera elettrica, e sia mancata l'influenza. Poichè per la forza di questa perdono i tubi lo stato naturale, ed essa mancando lo ripigliano; ma se, venuta meno l'influenza, l'elettricità non si può spargere tra questi in modo che si mettano nello stato naturale, allora restano elettrici; e ciò precisamente avviene, quando, ritirato il tubo *B*, tutti i tre tubi restano isolati, e la loro elettricità non è più in istato di spargersi equabilmente tra loro e ripigliare l'equilibrio.

Ora questi e tutti gli altri fenomeni delle atmosfere elettriche si vanno ben dichiarando coll'una e l'altra ipotesi del Franklin, e del Symmer. I seguaci del primo dicono che il fluido elettrico accumulato sul conduttore della macchina esercita una forza di pressione, e respinge il fluido elettrico naturale dal tubo *A* (*fig.* 92), o pure de' tre tubi *A*, *B*, *C* (*fig.* 91), e lo caccia nell'estremità lontana. Quindi le parti più vicine, o del tubo *A* (*fig.* 92),

o del tubo *A* e *B* (*fig.* 91), pigliano elettricità per difetto o sia contraria, e le più lontane l'elettricità per eccesso ed omologa. Il contrario avviene quando l'elettricità del conduttore è negativa; tutta l'elettricità delle parti lontane dell'uno o de' tre tubi corre verso l'estremità vicina per esser pronta ad equilibrare l'elettricità in meno del conduttore. E però elettricità in più avranno le parti vicine de' tubi, e in meno le lontane.

Quelli poi che sono partigiani del Symmer vogliono che il fluido o vitreo o resinoso del conduttore scomponga l'elettricità combinata de' tubi. Se è vitreo, respinge lontano il vitreo del tubo e attrae nelle parti vicine il resinoso; e se è resinoso, all'inverso caccia in distanza il resinoso de' tubi e attrae nelle parti vicine il vitreo. È questa la ragione, secondo loro, per cui i corpi immersi nelle atmosfere elettriche pigliano elettricità contrarie nell'estremità vicine, e omologhe nelle lontane.

332. Si comprende da sì fatte spiegazioni perchè avvicinando, come abbiamo fatto nell'esperimento II, il vetro e la ceralacca strofinati a' pendolini aperti, riconoscer si possa la qualità della loro elettricità. Il vetro e la ceralacca strofinati generano colla loro influenza elettricità contrarie nel fil di lino, cui sono appesi i globettini, e in questi, che stansi più lontani, l'omologa. E però si rafforza la loro elettricità se è vitrea, e colla ceralacca s'ingagliardisce se è resinosa, e nell'uno e nell'altro caso i pendolini divergono di più. Ma se i pendolini balzano per elettricità negativa, coll'avvicinar del vetro

strofinato l'acquistan positiva, e quella con questa o in parte o in tutto bilanciandosi, i pendolini balzan di meno o pure si chiudono. Lo stesso accade colla ceralacca, se l'elettricità de' pendolini è positiva.

333. Si comprende del pari perchè i due corpi, l'uno elettrico e l'altro nello stato naturale, mutuamente operano tra loro, come abbiamo veduto nell'esperimento IV. Giacchè le due contrarie elettricità, che si riguardano nell'estremità del corpo influente, e in quella del corpo che sente l'influenza, mutuamente si attraggono ed operano tra loro.

334. Nasce in terzo luogo da sè, che trovandosi l'elettricità naturale de' corpi immersi nelle atmosfere elettriche, o scomposta secondo Symmer, o pure fuor di equilibrio, o sia scarsa in una parte e abbondante nell'altra secondo Franklin, debbano quei corpi restare elettrici, se finita l'influenza non si può per qualunque cagione restituire in loro la composizione de' due fluidi, o l'equilibrio dell'unico fluido.

335. Finalmente è di leggieri il conoscere che propagandosi l'influenza a traverso dell'aria, o di altri corpi non conduttori, debbano questi e quella sentire del pari l'attività dell'influenza. E come quanto meno le sostanze sono conduttrici, tanto meno sentono, e più impediscono l'azione elettrica; così a maggior distanza si estende l'influenza elettrica a traverso dell'aria, che non fa per mezzo del vetro e della resina che sono più coi-

benti e di maggiore consistenza<sup>31</sup>.

### Esperimento VI.

Soprapponendo un cartone dorato sulla superficie della resina elettrizzata, osserverete che mentre il cartone è in contatto della resina manifesta nella faccia superiore elettricità negativa, ma quando si disgiunge ripiglia lo stato naturale.

Si vede da ciò che l'elettricità negativa della resina non si è comunicata al cartone, e che questo dà nel contatto segni elettrici solamente per influenza. Per lo che i corpi che sono coibenti, come quelli che ritengono inceppato il fluido elettrico tra le loro molecole, sono atti ad operare non solo in distanza, ma eziandio quasi al contatto per influenza.

Da questo principio fu guidato il Volta ad immaginare l'apparecchio chiamato l'*elettroforo*, perchè conserva a lungo la virtù elettrica. È egli rappresentato nella *fig. 93*, in cui *AB* è il piatto o lastra di ottone lavorata al torno coll'orlo ben rotondato, che racchiude una stacciata di ceralacca o di mastice, o di più resine mescugliate; *CD* è lo scudo di legno dorato, o di ottone cavo ben forbito e senza angoli; *M* è il manico, o sia un bastoncino di vetro

---

31 Il teorema fondamentale dell'elettricità esercitata per influenza o per attuazione, con cui si spiegano tutti i fenomeni dipendenti alle atmosfere elettriche, è il seguente: *Dato un corpo isolato in istato elettrico o naturale, ed un altro che si trovi in contrario stato elettrico o in comunicazione col suo: se essi vengono opportunamente avvicinati, cresce in loro la capacità e scema la tensione in ragione del loro avvicinamento e dell'estensione delle loro superficie; e succede al contrario quando i due corpi abbiano lo stesso stato elettrico.* – *Gli Editori.*

intonacato di ceralacca; e dallo scudo in fine sporge una laminetta di metallo che porta in *a* un paio di pendolini.

Eccitata l'elettricità sulla resina collo strofinio di una pelle di gatto, si posa lo scudo sulla stacciata, come si vede nella *fig.* 93, e allora i pendolini balzano per elettricità negativa; ma se alzasi lo scudo per via del manico *M*, i pendolini si chiudono.

Tolta la laminetta che porta i pendolini, si lasci lo scudo in contatto colla stacciata, e poi se ne tocchi la superficie superiore col pollice della destra, mentre l'indice tocca il piatto. Si alzi quindi per *M* lo scudo, e avvicinando all'orlo la nocca del dito si tira all'istante una scintilla. Ponete di nuovo lo scudo sulla stacciata, toccatelo di nuovo, di nuovo alzatelo, e avrete di nuovo scintilla. E così potrete ottenere elettricità per più giorni, per più settimane, per più mesi.

336. La spiegazione di questo strumento è chiara da sè. Lo scudo sulla resina piglia per influenza elettricità positiva al di sotto, e negativa al di sopra. Indi in contatto dà segni di elettricità negativa, e quando si alza ripiglia lo stato naturale. Ma se toccasi col dito manca l'elettricità negativa, e la superficie superiore si mette nello stato naturale, mentre lo scudo al di sotto è fornito di elettricità positiva, ivi ritenuta dall'influenza della resina. Quando poi si alza lo scudo, questo si trova nello stato positivo, e manda la scintilla.

337. Volta con un piano coibente e un altro conduttore formò prima l'elettroforo, e poi con due piani, uno semicoibente e l'altro conduttore, o pure con due corpi



conduttori separati da una sostanza non conduttrice, immaginò il *condensatore*, che serve a rendere manifesta una ancorchè piccolissima quantità di fluido elettrico che potrebbe riuscire insensibile. Così nella *fig. 100 ab* e *cd* sono due piani di metallo separati nelle loro superficie di contatto da un sottile strato di resina, o di altra sostanza non conduttrice.

Per adoprare il condensatore altro non si fa che comunicare una debolissima elettricità al piattello *ab*, che chiamasi *collettore*, il quale come alzasi pel manico isolante *mn* manifesta quella elettricità che prima era insensibile<sup>32</sup>. Questo strumento al par dell'elettroforo è fondato sull'influenza elettrica. Poichè l'elettricità da prima si porta alla faccia inferiore del piattello collettore, ed ivi genera per influenza elettricità contraria nell'altro piatto sottoposto. Resta quindi imprigionata e priva di forza espansiva e di tensione, perchè è ivi ritenuta dall'elettri-

---

32 Per ben comprendere la maniera di far uso del condensatore, è d'uopo immaginarlo disgiunto dall'elettrometro *Abf*, cui nella *fig. 100* è unito, e supporre come non esistente la lista metallica *ilp*, o almeno ritenerla attaccata al piattello inferiore *cd*. Volendo ora esplorare il tenuissimo grado di elettricità di cui può essere fornito un corpo, si mette questo a contatto col collettore *ab*, nel quale passerà una porzione del suo elettrico, ponendo contemporaneamente il piattello inferiore *cd* in comunicazione col suolo. Secondo il teorema fondamentale delle atmosfere elettriche, il collettore stesso aumenta la sua capacità, finchè sente l'influenza del piattello inferiore, e riceve quindi una dose di fluido maggiore di quello che prenderebbe se fosse isolato nello spazio, discosto da qualunque corpo attuante. Prendendo quindi pel manico *mn* il collettore, il si discosti e il si tolga dal piattello sottoposto; con ciò diminuirà la sua capacità e si accrescerà corrispondentemente la tensione, la quale diventa tale da rendere manifesto il tenuissimo grado di elettricità di cui era fornito il corpo ed il collettore cui è stata comunicata dal medesimo. — *Gli Editori*.

cità contraria. E però il piattello collettore è capace di ricevere nuova elettricità, la quale del pari si aduna e condensa nella sua faccia inferiore. E così di mano in mano coll'ajuto dell'influenze si può raccogliere e adunare quella elettricità che prima non si potea. Alzandosi dunque il piattello viene meno l'influenza elettrica, e tutta quella elettricità che era addensata e senza moto, spruzza, schizza e dimostra sensibilmente la sua tensione.

338. Chiunque ora si persuade perchè si scelga un corpo più presto semicoibente, che coibente, o pure un sottile strato di materia non conduttrice per la costruzione del condensatore. Se fosse coibente, si potrebbe a stento e dopo gran tempo, e forse non mai, generare da una debole elettricità per influenza l'elettricità contraria. E chiunque del pari si persuade che l'addensamento del fluido nel condensatore ha per limite l'istante in cui la forza dell'elettricità addensata vince la resistenza dello strato resinoso interposto a' due piattelli, e va ad unirsi colla contraria elettricità.

339. L'artificio con cui si aduna e rende sensibile la piccola e debole elettricità si adopera egualmente per accumularne una gran quantità atta a produrre degli effetti notabili e violenti. Le bocce infatti e le batterie elettriche, di che faremo in altro luogo più ampia parola, non sono che condensatori di forme diverse. Ma egli è vero che in queste per via d'influenza si accumula gran copia d'elettricità. Però la dottrina dell'influenza elettrica è di grande importanza, perchè ha luogo in tutti i fenomeni elettrici.

CAPO III. — DELLA LEGGE GIUSTA CUI VARIA IN  
DISTANZA LA FORZA ELETTRICA E DE' CONSEGUENTI  
CHE NE DERIVANO.

340. Ritornando alla considerazione della forza ch'è esercitata in distanza il fluido elettrico, andremo ricercando come varia la sua energia nelle varie distanze. A far ciò si suole adoperare la bilancia chiamata *di torsione*, che fu immaginata da Coulomb, che si vede nella *fig.* 94. Avvi il filo *fl* di argento finissimo, che in cima è fermato da una pinzetta di sospensione, e all'altra estremità dell'anelletto *pq*, che si traversa dall'ago *ag* formato da un fil di seta o di paglia intonacato di ceralacca. Quest'ago porta in *a* un globetto di midollo di sambuco, o pure un circoletto di carta dorata, e in *g* un piccolo piano verticale di carta passata alla trementina, che serve di contrappeso ad *a*, affinchè tutto l'ago riposi in equilibrio. Quest'apparecchio è coperto dalla cassa di vetro *ABDC*, e dal cilindro di vetro, che termina in *hn*, dove s'inserisce un micrometro di torsione, che ha l'indice in *o*, e la graduazione *p* all'intorno. Pende da *m* un piccolo cilindro formato di gommalacca, che riesce in un globetto *b* di midollo di sambuco, che sta rincontro ad *a*, e intorno a *PQ* avvi segnata la graduazione di  $360^\circ$ .

Quando si deve operare, è da collocare l'indice *o*, e i due globetti *b*, *a* a zero, nella rispettiva loro graduazione. Si elettrizza poi uno spillo a grossa testa, e introducendosi questo pel buco in *m* si va a toccare *b*. Diventa-

no allora  $b$  ed  $a$  elettrici; e come  $b$  è immobile,  $a$  sarà respinto, e con  $a$  gira l'ago intorno alla graduazione.

Ora come l'ago gira, il filo d'argento si torce; e quando quello si ferma, questo fa uno sforzo a svilupparsi, ma non si può, per la tensione ch'esercita il fluido di  $b$  contro l'altro di  $a$ . E come la tendenza del filo a svilupparsi si misura con certezza; così da questo sforzo del filo si conosce l'energia della tensione.

341. Nell'esperienze ch'esequì Coulomb dinanzi l'Accademia di Francia, una ve n'ebbe in cui la tensione dell'elettricità fece descrivere all'ago un angolo di  $36^\circ$ , e però il fil d'argento si torse di  $36^\circ$  nel senso di *op*. Girando allora il micrometro torse il filo in senso contrario, o sia di *po*, finchè l'ago si fosse ravvicinato di  $18^\circ$  al globetto  $b$ , da cui si partiva l'azione dell'elettricità; e per ottenere ciò dovette girare l'indice del micrometro per  $126^\circ$ . Proseguì in fine ad avvicinare l'ago da  $18^\circ$  sino a  $8^{\circ}\frac{1}{2}$  al globetto fisso  $b$ , e l'indice del micrometro dovette camminare per  $567^\circ$ .

In queste tre esperienze le distanze furono  $36^\circ$ ,  $18^\circ$ ,  $8^{\circ}\frac{1}{2}$ , e le tensioni rispettive furono  $36^\circ$ ,  $126^\circ+18^\circ = 144^\circ$ , e  $567^\circ+8^{\circ}\frac{1}{2} = 575^{\circ}\frac{1}{2}$ . Le distanze adunque furono tra loro 1,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$ , presso a poco, e le forze rispettive di torsione, che corrispondono alle forze di tensione o di ripulsione dell'elettricità, furono 1, 4, 16, cioè a dire inversamente al quadrato delle distanze.

Non vi ha dubbio che in queste esperienze si commettono alcuni errori. Tali sono, che la distanza de' due globetti si misura dalla corda e non dall'archetto circolare

che sottende la corda, e che la forza di tensione opera obliquamente, e non si viene tutta ad impiegare. Ma come gli archi trascorsi dall'ago son piccoli, così piccola è questa obbliquità, e piccola la differenza tra l'arco e la corda corrispondente; Per altro tolti eziandio questi errori, che sono inevitabili nella pratica, per mezzo del calcolo si sono ottenuti dei risultamenti che non discordano dalle sperienze.

342. Coulomb volle conoscere se la stessa legge ha luogo nell'attrazione ch'esercita il fluido elettrico. A tale oggetto sospese l'ago  $tg$  (*fig. 95*) a un filo di seta  $ss'$ , come esce dal bozzolo, il qual filo è attaccato in  $s$  a una punta di una bacchetta seccata al forno, e vestita di ceralacca, che si può fermare colle viti  $a$  e  $V$ ;  $G$  poi è un globo di legno coperto di foglia di stagno, che poggia sopra quattro bastoni di ceralacca, e questi sono sostenuti da un piano che si può alzare più o meno per mezzo della vite  $a$ .

Ora situato il centro  $A$  del globo in modo che corrisponda per la linea retta  $rt$  a quello del circoletto  $t$  di cartone attaccato all'ago  $tg$ , si comunica per mezzo di una testa di spillo isolato l'elettricità negativa al cartone e la positiva al globo, o pure all'inverso. Cominciano allora le oscillazioni dell'ago, ch'esprimono l'attrazione delle due elettricità, e notata la distanza tra i due centri del globo e del cartone, si conta, con un orologio a secondi, il tempo in cui durano le oscillazioni.

Si considera come costante la forza attrattiva, perchè tenuissima è la carica elettrica: in virtù di una tale forza

l'ago nel medesimo periodo di oscillazioni si avvicina al globo. E come le oscillazioni non sono che movimenti piccolissimi, e la distanza dell'uno all'altro centro è notevole riguardo all'ago che è molto corto; così le linee guidate dal cartone al centro del globo ne' diversi periodi di una medesima oscillazione si debbono tenere come parallele. E però, nella supposizione che la forza attrattiva elettrica operi nella ragione inversa del quadrato della distanza, sono da calcolarsi queste oscillazioni come quelle de' pendoli, in cui, poste le lunghezze eguali, i tempi sono reciprocamente proporzionali alle radici

quadrate della gravità  $= \sqrt{\frac{1}{g}}$ . E sostituendo a  $g$  la quan-

tità  $\frac{1}{d^2}$ , ne risulta  $d \sqrt{\frac{1}{1}} = d$ . Posti adunque lo stesso

ago e la medesima forza attrattiva, i tempi delle oscillazioni debbono essere proporzionali alle distanze.

343. Guidato Coulomb da questo principio, mise da prima il centro del cartone, ch'era elettrico negativamente, alla distanza di 9 poll. dal centro del globo ch'era elettrico positivamente, e di poi alla distanza di 18, e quindi a 24 poll. o sia alle distanze 3, 6, 8. Ma in ciascuna di queste tre esperienze non contò che 15 oscillazioni, le quali furono eseguite in tempi 20", 41", 60".

In verità i tempi sarebbero stati proporzionali, come doveano essere, alle distanze, se fossero stati 20", 40", 54". Ma nella seconda esperienza insensibile è la differenza tra 40" e 41", e solamente è notevole l'altra tra 54"

e 60". E intorno a questa terza esperienza è da riflettere ch'erano già corsi 4' da che si era eseguita la prima; e però l'energia elettrica si era alquanto indebolita. In quel giorno diminuiva di  $1/40$  per minuto, e per una sì fatta circostanza il tempo dovea essere 57" in luogo di 54", come volea la teorica. Sicchè la differenza ch'ebbe luogo si ridusse a  $1/20$  del totale. In sì fatta maniera di esperienze non è da meravigliare se non han luogo con precisione matematica gl'insegnamenti della teorica. Ma ciò non pertanto queste differenze han turbato la mente di alcuni, e vi hanno de' fisici che tengono per ignota ancora la legge giusta cui varia la forza elettrica.

È in fine da avvertire che l'apparecchio di queste ultime esperienze è simile a quello della bilancia elettrica, e con questa si possono del pari eseguire l'esperienze dell'attrazione. In fatti si è dimostrata colla bilancia di torsione l'attrazione dei corpi terrestri; e Cavendish, mettendo in confronto la durata delle oscillazioni dell'ago della bilancia con quelle del pendolo, ha trovato che la densità media della terra era  $5 \frac{1}{2}$  più di quella dell'acqua.

344. Ma comunque sia, egli è certo che l'azione di un corpo elettrizzato si estende tutta intorno a lui, e sia che attiri o pure che respinga, sempre decresce in ragione de' quadrati delle distanze. E però opera il fluido elettrico al par della gravità in ragion diretta della massa, e nella ragione inversa de' quadrati della distanza; sebbene alcuni non abbiano per dimostrato che secondo la medesima legge si regoli l'azione della gravità e della

elettricità.

345. Conosciuta sì fatta legge, i fisico-matematici ne dedussero che ne' corpi conduttori il fluido elettrico deve tutto spargersi alla loro superficie. E ciò dimostrarono in prima per una sfera, in cui riguardarono (*fig. 96*) il fluido elettrico diviso in tanti strati sferici e concentrici, che vanno dalla esterna superficie *of* sino al centro *z*. Posero quindi mente all'azione ch'esercita tutta la sfera sulla particella *m* collocata nella superficie esterna dello strato *cdb*, e la distinsero in due. L'una è quella che esercita il fluido situato nello strato *cdb*, e negli altri sottoposti che vanno sino a *z*; e l'altra è quella che proviene dal fluido collocato tra la particella *m* e la superficie esteriore *of*. La prima è eguale (n.º 343) a quella ch'esercita una sfera in virtù della gravità sopra una molecola collocata fuori all'esterna superficie, cioè a dire questa molecola è sospinta, come abbiamo cennato nella *Meccanica celeste*, non altrimenti che se tutte le forze fossero collocate nel centro della sfera. E però in virtù della prima azione la particella *m* è respinta, come se tutto il fluido elettrico sparso negli strati sottoposti fosse raccolto e collocato in *z*. Di che viene che una sì fatta particella dovrà portarsi all'esterna superficie, per lanciarsi di là nello spazio. La seconda azione poi non è da attendersi; perciocchè si dimostra che la particella *m* posta nell'interna cavità della sfera è sospinta da forze eguali e contrarie; e però la loro azione si riduce a zero. Se dunque questa seconda azione si riduce a zero, e la prima respinge la molecola qualunque *m* dal centro alla



superficie, e da questa nello spazio, è da conchiudersi che qualunque particella di fluido elettrico in un corpo conduttore di forma sferica tende ad allontanarsi dal centro alla superficie, d'onde scapperebbe se l'aria atmosferica, come non conduttrice, non la ritenesse. Lo stesso sono iti i fisico-matematici dimostrando per un ellissoide, o per qualunque altra figura poco differente dalla sfera. Ma i fisici han cercato di supplire alle dimostrazioni di quelli per via di esperienze.

### Esperimento I.

Fatti sopra un corpo qualunque uno o più buchi cilindrici di 4 o 5 linee di diametro e di una profondità arbitraria, si isoli quello e si elettrizzi. Si prenda poi un filo di gommalacca lungo 2 o 3 poll. che porti ad una estremità un cerchietto di carta dorata, il cui diametro sia un terzo o un quarto di quello del buco cilindrico del corpo elettrizzato. E finalmente s'introduca, senza toccare l'orlo di questo buco, quel cerchietto dorato, e poi si cavi fuori. In questo modo si osserverà che quel cartone non dà affatto segni elettrici.

Si può replicare l'esperimento introducendo a varie profondità, e ritirando il cartone, e non mai si ritroverà egli elettrico. Ma se questo tocca la superficie del corpo, o l'orlo del buco, all'istante manifesta segni di elettricità.

346. Si è quindi ricavato che ne' corpi conduttori, quale che si fosse la loro grandezza e figura, il fluido elettrico non dimora nel loro interno, ma si sparge sem-

pre per la loro superficie. Di fatto un corpo conduttore elettrizzato perde nel vòto tutta la sua elettricità, perchè manca l'aria che lo ritiene alla sua superficie. E veramente se il fluido elettrico non può restare ne' corpi conduttori senza l'ostacolo degl'isolanti, è ben da conchiudersi che sia da trovarsi tutto accumulato sulla loro superficie, dove incontra l'ostacolo dell'aria e degli altri isolanti.

Dopo di che si argomenta, che quando si comunica dell'elettrico a' corpi conduttori, questo sen va alla loro superficie, e resta nel loro interno il fluido ad essi naturale. Quando poi un corpo elettrico opera per influenza sopra un altro deferente, allora il fluido elettrico a questo naturale esce dall'interno, e si dispone sulla di lui superficie in più o in meno secondo Franklin, in elettricità vitrea e resinosa secondo Symmer nelle due opposte facce. Ma quando i corpi sono coibenti sentono poco l'azione dell'influenza, e a stento pigliano le due opposte elettricità. Di fatto, ancorchè un corpo coibente elettrizzato fosse nel vòto, perderebbe a gran difficoltà il suo fluido elettrico, e lo comunicherebbe a gran pena a' corpi che lo toccano. Indi questa forza, che oppongono i corpi coibenti al cammino del fluido elettrico, è stata nominata *coibente* o *coercitiva*, ed è diversa in gradi ne' corpi diversi. E però non essendo i corpi egualmente conduttori del fluido elettrico, han bisogno chi più, chi meno di tempo per farsi in ciascun di loro la distribuzione del fluido ad equilibrio.

347. Poisson ha ricercato col calcolo quale sia la di-

istribuzione del fluido elettrico sulla superficie dei corpi, e la densità in ciascun punto de' medesimi. Pose egli a principio che lo strato del fluido dev'essere terminato all'esterno dalla superficie del corpo, e all'interno da una superficie poco differente, la quale vien determinata dalla condizione di equilibrio tra le forze ripulsive delle molecole elettriche. Ma egli giunse solamente a ritrovare che questa superficie debba essere nella sfera, e in un ellissoide di rivoluzione simile a sì fatte figure. Per la densità poi stabili che nella sfera in ciascun punto è eguale; ma nell'ellissoide la densità è maggiore all'estremità del più grande asse; di modo che se l'ellissoide è molto allungato, la densità dello strato elettrico diviene notabilissima all'estremità del grand'asse. Il calcolo del pari ha dimostrato che la tensione del fluido elettrico, quale che si fosse la forma del corpo, è proporzionale alla densità dello strato fluido. E così lo sforzo che fa il fluido contro l'aria, che lo ritiene sulla superficie del corpo, risulta dalla tensione e dalla densità dello strato, o sia è proporzionale al quadrato o della tensione o della densità, giacchè quella è a questa proporzionale.

348. I fisici ad esplorare la densità del fluido elettrico in diversi punti di uno o più corpi deferenti, che sono elettrici, usano di un circoletto di carta dorata attaccata a un cilindretto di ceralacca, che chiamano *piano di prova*. Toccano con questo piano un punto della superficie, e poi lo presentano alla bilancia elettrica, da cui ritraggono la quantità, densità e tensione del fluido rapito a quel punto dalla carta dorata. Ora dalle esperienze del

Coulomb, riferite dal Biot nel tomo II del *Compendio di Fisica*, si conosce che l'elettricità presa col tocco dal piano di prova è proporzionale a quella del punto o elemento della superficie toccato, ed alla quantità totale dell'elettricità del corpo. Per lo che col piano di prova ricavar si possono i rapporti o delle quantità totali di elettricità della superficie in circostanze diverse, o dell'elettricità di diversi punti nelle circostanze medesime. Si è in questo modo conosciuto che le verghe, le lamine, i cilindri o altri corpi prismatici di notevole lunghezza non hanno ne' punti della loro superficie la stessa dose di elettricità. Se il corpo poi è assottigliato e va molto stremandosi, sì che riesca in una punta, si è trovato che l'elettricità è più intensa verso la punta che nel mezzo<sup>33</sup>.

#### CAPO IV. — DELLE ATTRAZIONI E RIPULSIONI, E DEGLI ELETTROSCOPI.

349. Avvicinando un corpo isolato e leggero, com'è un globettino di sambuco appeso ad un fil di seta, al conduttore elettrizzato della macchina, è da tutti conosciuto che da prima è attirato e poi respinto: ma se il corpicciuolo fosse non conduttore, sarà da prima attratto e poi a stento respinto. È questo il primo fenomeno di attrazione e ripulsione, e questo van presto dichiarando i partigiani delle due ipotesi.

---

<sup>33</sup> Egli è appunto per ciò che le punte hanno la facoltà di disperdere il fluido elettrico. — *Gli Editori*.

Convengono gli uni e gli altri che il globettino avvicinandosi entra nell'atmosfera elettrica, e piglia nelle due facce opposte anteriore e posteriore elettricità contrarie. Ma i Frankliniani affermano, se il conduttore è elettrico positivamente, pigliare il globettino nella faccia anteriore elettricità per difetto, e nella posteriore per eccesso. E però per la tendenza che ha la materia della faccia anteriore a pigliare l'elettricità in più, vince la resistenza dell'aria e corre verso il conduttore. E se il conduttore è elettrico negativamente, l'elettricità in più della faccia anteriore del globettino tende verso il conduttore, e co' suoi sforzi vince l'ostacolo dell'aria e seco trasporta il globettino. In un'altra maniera dichiarano questo fenomeno i partigiani del Symmer. Scomposta l'elettricità del globettino per l'influenza elettrica, la faccia anteriore piglia elettricità resinosa, e la posteriore vitrea. Ma il fluido vitreo del conduttore attira più il fluido resinoso, che non respinge il vitreo del globettino, perchè quello si trova più vicino o sia nella faccia anteriore, e questo più lontano o sia nella faccia posteriore. Per lo che il fluido resinoso della faccia anteriore contrasta più l'azione dell'aria che lo ritiene, che non fa il vitreo della faccia posteriore. Lo sforzo adunque dell'aria contro la faccia posteriore è più di quello ch'esercita l'aria contro la parte anteriore. Rotto quindi l'equilibrio, il globettino è incalzato dall'aria nella faccia posteriore, e camminando si avvicina al conduttore. L'attrazione dunque è tra i fluidi, e da questa viene il movimento e l'apparente attrazione de' corpicciuoli leggieri.

Quando poi il globettino tocca il conduttore riceve elettricità, e l'elettricità ricevuta è respinta da quella del conduttore. Però l'elettricità del globettino correndo nella faccia più lontana dal conduttore, opera e incalza l'aria, che la ritiene, assai più che non fa nella faccia al conduttore più vicina. L'aria dunque preme più il globettino in questa che in quella faccia, e rotto l'equilibrio si muove e fa le viste di essere respinto. La ripulsione adunque è tra i fluidi omogenei, non già tra i corpi.

Ma non può aver luogo colla stessa prontezza l'apparente ripulsione, quando il corpicciuolo leggiero non è conduttore, perchè questo in contatto col conduttore elettrico beve a stento l'elettricità, ed ha bisogno di tempo per pigliarne quanto si conviene alla sua capacità.

350. Su questi principj è fondato lo scampanio elettrico. Alla verga metallica *VY* (*fig. 97*) sono appesi due campanelli *CV*, *DY* per via di catene, e sulla medesima *VY* è poggiato l'arco metallico *RS*, che comunica col conduttore della macchina. Sono in fine appiccati alla stessa verga *VY* per via di cordoni di seta i battagli *a* e *b*, e il campanello di mezzo che comunica per via di *X* col pavimento. Ora caricata la macchina, l'elettricità per mezzo dell'arco *RS* scorre nei campanelli *C*, *D*, e questi divenuti elettrici attirano prima e poi respingono i battagli *a*, *b*, i quali come sono respinti vanno a toccare il campanello di mezzo, in cui si scaricano. Spogliati quindi di elettricità son di nuovo attratti, di nuovo respinti, di nuovo vanno a scaricarsi, e così si ha un continuo sonar dei campanelli.

351. Un altro giochetto si osserva nella *fig. 98*. Si appende il disco  $F$  per mezzo dell'uncino  $H$  al conduttore della macchina, e sopra il disco  $G$  sostenuto dal piede  $I$ , che comunica col pavimento, si collocano delle figurine di carta. In questo modo quando la macchina si carica, l'elettricità scorrendo in  $F$  attira le figurine e poi le respinge, e fan le viste di danzare, perchè attratte pigliano colla testa elettricità, e coi piedi la scaricano in  $G$ .

352. Dichiarata l'attrazione e la ripulsione tra un corpo elettrico e uno nello stato naturale, riesce di leggieri il conoscere perchè due corpicciuoli leggieri investiti di elettricità omologa si respingono, e si attraggano quando sono forniti di elettricità contraria. Sieno  $A$ ,  $B$  (*fig. 99*) due globettini di midollo di sambuco appesi a due fili di seta  $a$ ,  $b$ ; ma  $A$  elettrico in più, e  $B$  in meno. In questo caso si debbono attrarre, perchè le due elettricità contrarie si accumulano nelle due facce  $d$ ,  $g$ , che si riguardano, e in queste due facce l'aria sarà contrastata da forze maggiori, che non è nelle altre due facce opposte  $A$ ,  $B$ . E però l'aria da  $A$  e da  $B$  premerà e incalzerà con più gagliardia i due globettini, e questi si avvicineranno e faranno sembianza di attrarsi.

Il contrario avviene quando sono investiti di elettricità omologa. Secondo i Frankliniani, i globettini quando sono elettrici in più, si sforzano di comunicare elettricità all'aria, che è in contatto colle facce  $A$  e  $B$ , e la premono e incalzano dall'uno e l'altro lato; e quando sono elettrici in meno, cercano di bere dall'aria, che preme le facce  $A$  e  $B$ , l'elettricità che loro manca. Sia dunque che

abbondino o manchino di elettricità, non possono restare in contatto nelle due facce  $d$  e  $g$ , e per dare o per ricevere elettricità debbono fare degli sforzi dalle facce  $A$  e  $B$  contro l'aria, per cui ci sembra di muovere verso  $h$  e verso  $n$ .

Giusta i seguaci del Symmer, sono respinte verso  $A$  e  $B$  le due elettricità o resinose o vitree de' due globettini; ed operando in queste due facce con più gagliardia, che non accade in  $d$  e  $g$ , viene meno l'eguaglianza delle forze, con che l'aria preme i globettini, e questi obbedendo alla forza maggiore si muovono in parti contrarie, e fanno vista di respingersi.

I fluidi adunque si attirano o si respingono, e questi attirandosi o respingendo turbano l'eguaglianza delle forze con cui l'aria preme ciascuno dei globettini, ed ha luogo l'apparenza di attrazione e ripulsione de' corpi mobili e leggieri.

353. Da questa maniera di ripulsione è nata l'idea di formare alcuni apparecchi, con che si può render manifesta la piccola e debole elettricità, che si chiamano *elettroscopj*. Questi si veggono nelle *fig.* 100, 101, 102, e risultano da piccoli vasi di cristallo, che portano dentro de' pendolini, i quali si aprono per l'azione di una ancorchè piccola elettricità. Nella *fig.* 101 vi è una palla di rame  $M$  incollata con ceralacca all'apertura del vaso  $A, B$ . Ha questa palla un fusto, che nel passare il collo del vaso sostiene un anelletto, a cui sono sospesi i pendolini, che sono stati formati dal Saussure da due fili d'argento  $a, b$ , e da Tiberio Cavallo da capelli, e gli uni



e gli altri portano due piccoli globetti di midollo di sambuco. Nella superficie poi interiore del fiasco vi sono incollate alcune strisce di stagnola *c*, *d*, ec., che servono a scaricare i globettini, quando divergendo di assai giungono a toccare le pareti interne del fiasco.

Nella *fig.* 100 i pendolini sono due pagliuzze, e questo elettroscopio dicesi del Volta; e nella *fig.* 102 si adoperano a pendolini due listarelle d'oro, come fu immaginato dal Bennet. Ora quale che si fosse la materia de' pendolini, questi annunziano colla loro divergenza l'elettricità, anche piccolissima, perchè sono molto sensibili.

354. Quando si vuole esplorare l'elettricità di un fluido, di una combinazione di sostanze, ec., si mettono queste in un vaso di metallo, che si posa sul piattello dell'elettroscopio, come si vede nella *fig.* 102, in cui *CD* è collocato sopra *a*. Se poi il corpo elettrico è solido, questo si avvicina, o si mette in contatto colla palla o col piattello, che sono di metallo in sì fatti strumenti, e subito si vede che i pendolini o per attuazione o per ricevuta elettricità si aprono. Si riconosce poi per quale delle due elettricità si aprono per mezzo del vetro o della ceralacca strofinati, come abbiamo accennato nei num. 327-28. Solamente è da avvertire che quando i pendolini divergono a cagion dell'influenza, per esaminarli con agio, è da toccarsi istantaneamente col dito, durante l'influenza, il piattello o bottoncino dell'elettroscopio. Poichè avendo il piattello pigliato (num. 328) elettricità contraria, questa col tocco si neutralizza, e resta elettricità omolo-

ga nei pendolini.

355. Volta, perchè potesse riconoscere l'elettricità di un corpo che riuscirebbe per la sua debolezza insensibile agli elettroscopj, aggiunse al suo elettroscopio a pagliuzze il condensatore. Si ferma a vite (*fig.* 100) sul bottoncino dell'elettroscopio il disco di rame *cd* guarnito di un fil di rame terminato nel globetto *g*, e questo disco, come quello ch'è destinato ad addensare e raccogliere la piccola elettricità che si vuol rendere sensibile, serve di *collettore*. Sopra di questo piattello posa l'altro *ab*, che porta il manico isolante *mn*. Finalmente si suole incappare tra il manico e'l disco una lista metallica *ilp*, che mette in comunicazione il disco superiore col suolo per rendere più efficace la sua attuazione sul collettore. Ma perchè il condensatore produca il suo effetto è di necessità che le superficie in contatto de' due dischi sieno inverniciate, affinchè l'elettricità da un disco non possa nell'altro passare<sup>34</sup>.

356. Per mettersi in opera questo condensatore, si pone a contatto col corpo, di cui si vuole esplorare l'elettricità, il globetto *g* del collettore. In questo modo si raccoglie l'elettricità del corpo in *cd*, che per l'influenza del disco *ab*, in comunicazione col suolo, ha una gran capacità. E però il piattello collettore diviene adatto a pigliare dal corpo una quantità di fluido elettrico, che

---

34 L'istrumento del Volta così disposto chiamasi *elettrometro condensatore*; in cui il condensatore è rovesciato, ossia ha il *collettore* al disotto ed il piattello o *disco attuante* al disopra, in posizione contraria cioè di quella che hanno le stesse parti nel condensatore isolato (§ 337). — *Gli Editori*.

senza l'influenza non avrebbe potuto pigliare. Si alza quindi ad un tratto il disco attuante per mezzo del manico isolante, e le pagliuzze ch'erano nella posizione  $rx$ ,  $sy$ , divergendo si aprono in  $pf$ ,  $xo$ . Poichè alzato il disco manca l'attuazione, che ritenea ed equilibrava la tensione dell'elettrico raccolto nel collettore, e questo schizzando si getta ne' pendolini, che diventano elettrici e si respingono.

357. Sebbene in questo elettroscopio del Volta vi abbia incollata intorno alle pareti del vaso una graduazione, dalla quale ritrarre si possono i gradi della divergenza delle pagliuzze; pure è da sapersi che sì fatti gradi non possono esprimere e indicare quelli della tensione elettrica. Poichè la gravità, che vuol ricondurre le pagliuzze alla verticale, turba e contrasta l'azione dell'elettricità, e tanto più quanto più cresce l'obliquità delle pagliuzze. Sappiamo in fatti dal Volta che nel quadrante elettrometro  $E$  dell'Henly (*fig.* 90) il globetto  $x$  per  $5^\circ$  di elettricità non ne segna che  $3^\circ$ , e per  $3^\circ$  appena  $1^\circ$ . Quando poi il globetto indica  $15^\circ$ , ove si dimezza l'elettricità del conduttore, non cade a  $7^\circ\frac{1}{2}$ , ma a  $6^\circ$ . E parimente quando segna  $60^\circ$  o  $70^\circ$ , dimezzata l'elettricità, non si abbassa a  $30^\circ$  o a  $35^\circ$ , ma a  $40^\circ$  e  $50^\circ$ ; e se in seguito trovasi a  $10^\circ$  non viene a  $5^\circ$ , ma a  $3^\circ$ . Ebbe il Volta solamente ad osservare che l'elettricità cammina di un passo equabile tra i gradi  $15^\circ$  e  $35^\circ$  del quadrante elettrometro. Ma negli elettroscopj, in cui l'elettricità che si esplora è debolissima, viene questa turbata e contrastata nella tensione dal peso e dalla figura delle paglie, o de'

globettini, o delle listarelle, quanto più si accresce la loro divergenza. Per avere quindi una misura dell'elettricità e della sua tensione, abbandonati gli elettroscopj, è da ricorrere alla bilancia di torsione, che sola può misurarne i gradi con esattezza. Riescono soltanto utili gli elettroscopj, che prima impropriamente si chiamavano elettrometri, quando non sono da misurarsi i gradi, ma in generale l'aumento, la diminuzione e la presenza del fluido elettrico, e di quale specie esso sia, cioè a dire, se negativo, o pure positivo<sup>35</sup>.

## CAPO V. – DELLE SCINTILLE, DELLA FORZA DELLE PUNTE E DI ALTRI FENOMENI ELETTRICI.

358. Avvicinando un corpo deferente rotondato al conduttore della macchina in attività, osserviamo che si lancia una scintilla con istrepito; e se quel corpo è aguzzo, si scarica in silenzio il conduttore. Ma se pongasi sul conduttore un corpo aguzzo, quello non si carica, e questo muove nell'aria un venticello, e manifesta nell'oscurità una luce.

A spiegare questi fenomeni, è da ricordare che il corpo ottuso nell'avvicinarsi sente l'influenza elettrica. E però si addensa elettricità positiva nel conduttore, ed elettricità negativa nella faccia anteriore del corpo ottu-

---

35 Volta ha cercato di rendere paragonabili gli elettrometri riportandoli tutti ad un elettrometro fondamentale (*Collezione delle Opere di Volta*, T. I, par. II, pag. 68 e 73). – *Gli Editori*.

so. E come la pressione e lo sforzo ch'esercita il fluido elettrico contro l'aria, che lo ritiene, è proporzionale al quadrato della sua densità; così all'avvicinar del corpo ottuso è in istato di vincere la resistenza dell'aria, e lanciarsi sopra il corpo ottuso, e l'aria compressa e battuta manda quel romore che accompagna la scintilla<sup>36</sup>.

Ora la distanza maggiore con cui può lanciarsi tra due corpi la scintilla, si chiama *distanza esplosiva*. E questa in generale varia secondo la tensione del fluido alla superficie de' corpi, e la resistenza del mezzo; perciocchè posto il medesimo mezzo, cresce, come lo sforzo che fa il fluido per vincerlo; e posta la medesima tensione, cresce nella ragione inversa della resistenza del mezzo. Però la distanza esplosiva è più grande nell'aria rarefatta che nella condensata, è più grande nell'aria che nel vetro, e in questo più che nella resina.

Ma l'effetto delle scintille non corrisponde alle loro distanze esplosive, perchè queste dipendono dalla tensione e dall'addensamento, e quello dalla quantità del fluido. Però se a molta tensione si congiunge copia di elettricità, la scintilla non solo punge il dito, come fa sempre, ma scuote eziandio il braccio e la persona che la riceve<sup>37</sup>.

359. Quando poi il conduttore è fornito di una punta e

---

36 Il romore che accompagna la scintilla è prodotto dal precipitarsi che fa l'aria nel vuoto lasciato dietro di sè dalla corrente elettrica nel lanciarsi dal conduttore sul corpo rotondato che gli si avvicina. – *Gli Editori*.

37 La distanza esplosiva è proporzionale alla tensione, e l'effetto della scintilla è in ragione composta della tensione e della capacità, ossia in ragione della carica (V. la nota al § 324). – *Gli Editori*.

di angoli salienti o di un corpo aguzzo, manca la forza esplosiva, perchè si disperde nell'atmosfera tutto il fluido che riceve. Ciò nasce da quanto abbiamo cennato nel n. 347; giacchè il fluido elettrico quando si sparge sulla superficie de' corpi per mantenersi in equilibrio, si addensa più ne' punti che sono alla loro estremità, che nel mezzo della loro superficie. Questo stesso, oltre dalla teorica e dal calcolo, ci viene dimostrato dall'esperienza. Coulomb coll'ajuto della sua bilancia conobbe che una lamina di acciaio lunga 11 poll., larga 1 poll. e spessa  $\frac{1}{2}$  lin., ha una quantità di fluido quasi eguale ed uniforme in tutta la superficie, che dal centro va sino alla distanza di un pollice dalla sua estremità, e che da quella va rapidamente crescendo sino ai punti estremi. Un sì fatto aumento di elettricità nei punti estremi andò poi lo stesso Coulomb dimostrando ne' corpi prismatici e cilindrici che sono assai allungati, e fassi tanto più grande quanto gli estremi sono più sottili. Di modo che se l'estremità di un cilindro si allunga nella forma della punta di un cono, il fluido elettrico si addensa in questa punta, così forte che vince la resistenza dell'aria. Di fatto si dimostra che la pressione esercitata dal fluido contro l'aria nella sommità di un cono sarebbe infinita, se l'elettricità vi si potesse accumulare. E parimente in una sbarra metallica che ha la forma di un ellissoide di rivoluzione assai allungato, il fluido elettrico scappa fuori dalle estremità per la ragione che la pressione del fluido a' poli dell'ellissoide allungato sta a quella dell'equatore, come il quadrato dell'asse più lungo al quadrato dell'asse mi-

nore. Sicchè mentre l'elettricità è debolissima all'equatore, può essere così forte a' poli da vincere la resistenza dell'aria.

La punta dunque collocata sul conduttore è una estremità di un corpo allungato, e lo sforzo che fa l'elettricità addensata sulla punta è tanta e tale da superare la resistenza dell'aria. Però il fluido elettrico si sparge e dissipa nell'atmosfera non altrimenti che si fa in un vaso che nel fondo si crepa. Nè altrimenti che le punte sono da riguardarsi la polvere, i fili, i capelli, una prominenzia qualunque sul conduttore, che dispergendo l'elettricità non lo fan caricare.

360. Stabilito il potere delle punte a dissipare l'elettricità, si comprende la *girandola* o *ruotazione* elettrica. Due fili di ferro (*fig.* 103) incrocicchiati in *A* colle estremità aguzze piegate in senso contrario, come si veggono in *a, c*, e in *b, d*, si pongono in equilibrio sopra un'asta verticale fermata con vite sul conduttore *B* di una macchina elettrica, e con sì fatto apparecchio si forma la girandola. Perchè caricandosi la macchina i fili divenuti elettrici si mettono a girare con rapidità nel senso *a, d, c, b*, o in senso contrario a quello delle punte.

Ora avvicinando la palma della mano ad una delle punte si sente un certo soffio che si chiama *venticello elettrico*. È questo prodotto dalla corrente delle particelle aeree, che elettrizzate pel contatto si allontanano, cedendo il luogo ad altre, le quali successivamente accostandosi alle punte, ne bevono successivamente l'elettricità. E però si stabilisce una corrente d'aria verso la par-

te aguzza della punta, che la preme e la caccia in dietro e la mette in giro.

361. Si allunga al contrario la distanza esplosiva allorchè un corpo aguzzo o una punta qualunque si avvicina al conduttore elettrizzato; e questa facoltà di che sono dotate le punte di attirare facilmente, in silenzio e a gran distanza, il fluido elettrico, chiamasi, al par di quella di dispergere, *forza o potere delle punte*. Una siffatta forza proviene dall'influenza elettrica; perciocchè all'avvicinar della punta, questa prende elettricità contraria a quella del conduttore, e tanto più quanto è più aguzza. È questa la differenza tra i corpi ottusi ed aguzzi, che in quelli per l'azione dell'influenza l'elettricità contraria si addensa meno che in questi. Poichè i corpi ottusi potendosi considerare come un aggregato di tubi longitudinali, o un fascio di aghi, fan sì che l'elettricità contraria prodotta dall'influenza non si possa in copia addensare. Di fatto sia il globo *C* (*fig.* 104) elettrizzato positivamente, e sieno *ab*, *b'd* due aghi paralleli tra loro che riguardano il globo: non vi ha dubbio ch'essi piglieranno elettricità negativa in *r*, *c*, e positiva in *bo*, *dv*. Per lo che avverrà, nel caso che quei due aghi sono vicini, che l'elettricità positiva di *dv* attirerà la negativa di *r*, e la positiva di *bo* la negativa di *c*. Ne' punti adunque *r*, *c* non si può adunare tutta quella elettricità negativa che vi sarebbe adunata in virtù dell'influenza di *C*. Nasce da ciò che addensandosi nelle punte l'elettricità contraria assai più che non si farebbe nei corpi ottusi, una sì fatta elettricità debba attirare in più copia l'elettricità del con-



duttore in quel punto che la riguarda, e quivi addensarla più forte, che non si farebbe da un corpo ottuso. E come la pressione ch'esercita il fluido elettrico contro dell'aria è proporzionale al quadrato della sua densità; così allora è capace di vincere la resistenza dell'aria, e comunicarsi in una maggior distanza alla punta, e a poco a poco ed in silenzio.

362. Siccome la forza delle punte si manifesta non solo attirando, ma eziandio dispergendo e tramandando l'elettricità; si può da chiunque conoscere perchè nella macchina elettrica debba essere il conduttore tondeggiante. E per la stessa ragione si può da chiunque comprendere perchè soglionsi guernire di punte le branche che sono vicine nella macchina al vetro strofinato. Le punte in questo luogo attirano con facilità l'elettricità dal vetro strofinato, e la trasmettono al conduttore, dove si accumula. Sicchè sono in questo luogo tanto utili ad addensare l'elettricità, quanto sarebbero nocevoli sul conduttore a ritenerla addensata.

363. Ma sebbene il conduttore o altro corpo elettrizzato sieno isolati e rotondi; pure non possono mantenere a lungo l'elettricità, e la sua tensione va a poco a poco menomando. L'aria, che a quelli è contigua, va a poco a poco rapendo alla loro superficie l'elettricità, molto più che nuotano nell'aria sempre de' corpicciuoli che sono più o meno deferenti. I sostegni o isolanti di vetro, oltre l'aria, ne vanno ancora a poco a poco assorbendo in tal modo, che nelle lunghe esperienze si trova decaduta la tensione elettrica, perchè il fluido si è dissipato. Dalle

esperienze istituite dal Coulomb per mezzo della bilancia elettrica risulta che la perdita della elettricità per la via dell'aria è minore di quella che ha luogo per la via degl'isolanti, quando l'intensità dell'elettricità è notabile. Ma la perdita per via de' sostegni va diminuendo come va scemandosi quella intensità; e quando la tensione è giunta a un certo grado di diminuzione, se ne perde tanto, quanto se ne perderebbe nel caso che i sostegni fossero perfettamente isolanti. Si accorse oltre a ciò che dati sostegni della medesima materia di piccola ed eguale grossezza, ma di lunghezza ineguale, e che non sono perfettamente isolatori, giungerà il termine in cui lo diventano, ed è quando le elettricità ne' corpi da essi rispettivamente sostenuti si ridurranno proporzionali alle radici quadrate delle loro lunghezze. Vide in fine che le circostanze medesime che favoriscono la dissipazione dell'elettricità a traverso dell'aria, come l'umido, il calore, ec., la favoriscono ancora lungo i sostegni (Vedi la Memoria del Coulomb nell'*Accademia R. delle Scienze di Parigi per l'anno 1785*; e Biot, che ha ricavato dall'esperienza del Coulomb il metodo e le formole per correggere l'esperienze, nel t. II del *Trat. di Fisica e del Comp.*).

Questa dissipazione dell'elettricità, che ha luogo nel conduttore della macchina e ne' corpi elettrici isolati, non è accompagnata da apparenze luminose. Ma quando si dissipa per le punte, o da queste si attira, o pur si comunica a' corpi ottusi, si osserva massime nelle tenebre una luce che accompagna il fluido elettrico, che si di-

sperge o pur si attira, o in qualunque modo passa e si diffonde a traverso dell'aria. Quando la punta si avvicina al conduttore elettrizzato positivamente, dà a vedere l'apparenza di una stelletta, come in *a* (*fig.* 109); e quando la punta applicata al conduttore ne dissipa l'elettricità, dà a vedere un fascetto di raggi divergenti, o sia un fiocco lucido, come in *m* (*fig.* 110). Ma se il conduttore o il corpo è elettrizzato negativamente, le due apparenze si manifestano inverse: il fiocco è in *a*, e la stella in *m*. I Frankliniani argomentavano da queste apparenze di luce che la stella indicava il fluido ch'entrava, e 'l fiocco lo stesso fluido che usciva da un corpo. Ma quei che si accostano all'ipotesi del Symmer, intendono di mostrare colla stelletta il fluido resinoso, e col fiocco il vitreo.

364. Più belle sono le apparenze luminose quando l'elettricità rapidamente si distacca e salta dal conduttore, perchè manda scintille, e vario ha il colore secondo che si spicca da corpi diversi, e salta in più o meno copia nell'aria più o meno addensata. Si può rendere sensibile la scintilla per mezzo del tubo di cristallo *AB* (*fig.* 105) che porta in *A* e in *B* due palle di rame che comunicano nella cavità interna, dove sono incollati da un capo all'altro alcuni pezzetti di stagnola in forma spirale. Poichè tenendo in mano la palla *A* e avvicinando l'altra *B* al conduttore elettrizzato, si tira da questo una scintilla, la quale si manifesta e si moltiplica dirò così in ciascun vano che lasciano i pezzetti della stagnola. Sonosi in questo modo immaginati più apparecchi, per mezzo de' quali si mostrano nell'oscurità le più piacevoli apparen-

ze di luce in forma di mazzetti di fiori, di alberi, colonne, lettere, ec.

Ma siamo ancora incerti donde provenga la luce del fluido elettrico. Credono alcuni che questa luce sia una modificazione di esso fluido che addensato diviene luminoso. Pensano altri che la luce stia congiunta a questo fluido per affinità, e mostrasi quando il fluido si addensa, non altrimenti che dai gas addensati e da' corpi strofinati si esprime il calorico. È venuto in mente che la luce elettrica si svolge dall'aria per la compressione che opera sulla medesima il fluido elettrico. E questa luce è più o meno bianca, e varia ancora di tinta o di colore, secondo la maggiore o minore quantità del fluido che comprime meccanicamente l'aria ed i vapori e i mezzi che traversa. Sicchè la luce provenga più dall'aria che dal fluido elettrico. Ma noi sappiamo che la luce elettrica nelle più belle forme si mostra così nell'aria addensata, come nella rarefatta (Vedi una Memoria del Davy *de' fenomeni elettrici nel vòto* registrata nel tomo XX degli *Annali di Chimica e Fisica*). Non è difficile oggi, che si reputa da molti la luce una vibrazione dell'etere, il pensare che l'elettricità scuotendo questo fluido sottilissimo operi non altrimenti che un corpo luminoso e produca luce. Ma per queste ed altre opinioni nulla ci ha di certo e di sodo.

## CAPO VI. DELLA BOCCIA DI LEIDA E DELLE BATTERIE ELETTRICHE.

A meglio conoscere le proprietà del fluido elettrico, si è pensato di raccogliarlo e di accumularlo in gran copia. E come coll'ajuto de' condensatori (num. 337) si è raccolta e resa sensibile la piccola elettricità; così con lo stesso artificio si è raccolto ed accumulato in abbondanza il fluido elettrico.

365. La caraffa di vetro *PO* (*fig.* 106) la cui superficie interna ed esterna è coperta di stagnola sino all'altezza *d*, ed ha il suo collo sparso di ceralacca in *O*, si chiama la *boccia di Leida*, e le foglie della stagnola si chiamano le *armature*, una interna e l'altra esterna.

Per caricare la boccia si fa passare a traverso il suo turaccio un fil di ferro, che riesce nell'estremità superiore in un globetto o palla di rame *c*, e chiamasi il *filo conduttore*. Giacchè posto il globetto *c* in contatto col conduttore *M* della macchina, il fluido elettrico si porta dalla macchina per mezzo di quel filo nell'interno della boccia, ed ivi si accumula. L'arco metallico *AB*, che porta nel mezzo un manico isolante e termina in due palle, si chiama l'*arco eccitatore* o *scaricatore*. Ora toccando questo arco con una palla il filo conduttore *c*, e coll'altra per mezzo della catena *C* la superficie esterna della boccia, si viene all'istante a scaricare l'elettricità cumulata nella superficie interna della boccia, giacchè passa e scorre a traverso dell'arco dall'interno all'esterno.

Si può anche scaricare la boccia senza l'ajuto dell'ec-citatore, servendosi delle proprie braccia, toccando colla destra la palla del filo conduttore e colla sinistra l'armatura esterna. Anzi si può scaricare per mezzo di più persone che fan circolo tenendosi per le mani, la prima delle quali tocca l'interno e l'ultima l'esterno della boccia. Ma allora il fluido elettrico nello scaricarsi dà una forte scossa alle braccia di tutte le persone per le quali scorre e gira. Sentì il primo fortuitamente questa scossa il Cu-neus nell'anno 1745 in Leida, mentre elettrizzava dell'acqua dentro un fiasco, e quindi prese l'apparato il nome di *boccia di Leida*.

366. Esaminando la carica della boccia, viene alla mente di tutti che l'elettricità del conduttore scorre per mezzo del filo e dell'armatura sulla superficie interna del vetro, e questa elettricità sentendo l'influenza del fluido sparso naturalmente nella superficie esterna della boccia, può aumentare in quantità senza che venga a crescere proporzionalmente la tensione. Affinchè l'attuazione dell'armatura esterna sull'interna abbia maggiore efficacia, è d'uopo, come il disco attuante nel condensatore, che essa sia in comunicazione col suolo, nel quale possa disperdersi l'elettrico che si sviluppa per l'influenza di quello accumulato nell'armatura interna; è d'uopo cioè che l'armatura esterna possa mettersi in uno stato elettrico opposto a quello dell'interna. Indi è che una boccia isolata non si può ben caricare; perciocchè la superficie esterna, isolata com'è, non può pigliare elettricità contraria a quella dell'interna. Caricare dunque

una boccia altro non importa che addensare sulle facce opposte le due opposte elettricità, e la boccia carica altro non contiene che le due elettricità separate e divise dalla spessezza del vetro. Per lo che una boccia è un condensatore che è capace per cagione dell'influenza di accumulare una gran copia di elettricità.

367. I Frankliniani convengono che la boccia si carica per influenza; ma vogliono che quanta elettricità si aduna in una faccia, tanta se ne discaccia dall'altra. Di modo che le due facce hanno due eguali ed opposte elettricità, perchè quanto è di fluido in una faccia, tanto ne manca nell'altra. E però la boccia, a loro credere, è sempre fornita della medesima quantità di fluido; ma questo, quando quella è scarica, è sparso equabilmente sulle due superficie, e quando è carica, risiede tutto in unica superficie, e l'altra n'è affatto priva. Sicchè caricando la boccia altro non si fa che turbare l'equilibrio del suo fluido naturale. E come, isolata la boccia, non se ne può turbare l'equilibrio, perchè non può uscire tanta elettricità da una faccia, quanta nell'altra ne entra; così la boccia isolata non si può caricare<sup>38</sup>.

368. Monca e non esatta è sembrata questa spiegazione ai partigiani del Symmer, e meglio van dichiarando tutte le particolarità della carica coll'ajuto de' due fluidi. L'elettricità vitrea, a loro opinione, entrando nella super-

---

38 L'armatura interna della boccia si carica in questo caso, egualmente come si caricherebbe se fosse isolata nell'aria: ed egli è perciò che l'armatura stessa trovasi avere, oltre l'elettricità dissimulata per l'azione di quella dell'esterna armatura, anche una tale carica elettrica in eccesso o in difetto, secondo che la bottiglia è nello stato positivo o negativo. — *Gli Editori*.

ficie interna della boccia, va di mano in mano scomponendo l'elettricità combinata dell'esterna superficie, ed attirando e fermando su questa superficie l'elettricità resinosa, ne caccia e respinge la vitrea. Però le due facce pigliano elettricità contrarie, e queste non danno segni elettrici; nè mostrano la loro tensione, perchè mutuamente si attraggono e mutuamente s'imprigionano la forza ripulsiva. Ma la quantità del fluido vitreo dell'interno dev'esser maggiore di quella del resinoso che aderisce all'esterno. Poichè il fluido vitreo operando in distanza non potrebbe separare e vincere l'attrazione tra le molecole vitree e resinose dell'elettricità combinata, che trovasi sulla esterna superficie, se la sua forza ripulsiva non fosse divenuta più gagliarda per la maggior quantità. Ineguali adunque sono le due elettricità, maggiore e vitrea nell'interno, minore e resinosa nell'esterno; e mutuamente l'una sopra l'altra operando, avviene che l'elettricità positiva vince e raffrena la forza ripulsiva dell'elettricità negativa, e questa non può tutta incappare la forza ripulsiva di quella. E però il fluido vitreo dell'interno si può considerare diviso in due porzioni: l'una è attratta dal fluido resinoso, non manifesta tensione, e dicesi *dissimulata*; e l'altra è libera, manifesta la sua forza ripulsiva, ed è ritenuta dall'aria. Finisce quindi la boccia di caricarsi, allorchè la forza di pressione, che esercita la porzione libera, si equilibra con quella dell'aria; ed oltrepassato questo termine l'elettricità ch'entra, non più si ferma sulla superficie interna, ma torna ad uscire, perchè non è più ritenuta dalla coibenza dell'aria.



369. Da questa spiegazione egli è chiaro che la carica si può ottenere così col vetro, come con qualunque altro corpo non conduttore. Wilke ed Epino hanno caricato l'aria secca, ed anche si è giunto a caricare il ghiaccio. Si comprende parimente che la boccia si debba, come accade, caricare più forte quando il vetro è sottile, che quando è grosso; perciocchè divenuta minore la distanza tra le due facce opposte, a cagione della sottigliezza del vetro, cresce il vigor dell'influenza. Inesatta poi è da reputarsi l'espressione ordinaria, che colla carica la capacità della boccia e in generale del condensatore si accresce; perchè l'elettricità dissimulata non opera, e vale come se non vi fosse. Di fatto l'elettroscopio, mentre si carica la boccia, non dà segni elettrici, ed allora diverge quando la porzione di elettricità libera è in istato di operare. La capacità quindi della boccia in riguardo all'elettricità non dissimulata, o sia libera, resta sempre la stessa; perchè questa elettricità è sempre eguale, nè più nè meno, a quella che avrebbe ricevuto la superficie interna della boccia, se non avesse avuto luogo l'influenza, o sia l'azione in distanza<sup>39</sup>.

370. Sono venuti i partigiani del Symmer ad esprimere tutte le circostanze della carica in forma algebrica, e dall'esattezza con che si possono rappresentare hanno ricavato un argomento a pro dell'ipotesi de' due fluidi.

---

39 Bisogna ben distinguere fra loro la *capacità*, la *carica* e la *tensione*, per comprendere come la bottiglia di Leida aumenti le capacità e quindi la carica del conduttore della medesima o dell'armatura interna, e ne diminuisca la tensione (Vedi la nota al § 324). – *Gli Editori*.

Sia  $A$  tutta l'elettricità vitrea che risiede nell'interno della boccia e ritiene nell'esterno la quantità  $-B$  del fluido resinoso. E come  $-B$  non ritiene ed imprigiona tutta  $A$ ; così la porzione dissimulata di  $A$  si può chiamare  $A'$ . E perciò  $A-A'$  indicherà la porzione libera di  $A$ , o sia di elettricità vitrea  $E$ , ch'è eguale ad  $A-A'$ , alla carica cioè che avrebbe avuto luogo nella superficie interna senza l'azione dell'influenza.

Ora la proporzione di  $-B$  ad  $A'$  e quella di  $A$  a  $-B$  dipende dalla spessezza del vetro, o sia dalla distanza in cui operano le due elettricità. Sia dunque questo rapporto  $m$ , sarà  $B = -mA$ , o sia  $B+mA = 0$ <sup>40</sup>. E parimente  $A' = -mB$ , o sia  $A'+mB = 0$ . E come  $B = -mA$ , sarà  $A' = m^2A$ ; e 'l valore sopraindicato di  $E$ , ch'è il limite della carica della boccia, risulterà  $(1-m^2)A$ ; o sia  $\frac{A}{E} = \frac{1}{1-m^2}$ , che sarà l'espressione della forza condensatrice. Giacchè  $A$  è la carica della boccia per l'azione dell'influenza, ed  $E$  è quella che avrebbe avuto luogo senza l'influenza, e dal rapporto di queste due cariche risulta la forza condensatrice. Di fatto se  $m = \frac{99}{100}$ , cioè a dire se 100 parti di elettricità vitrea ritengono 99 di resinosa, si avrà

---

40 Dove  $m$  sarà necessariamente una frazione positiva e minore dell'unità. Per ricavare l'equazione seguente, osservisi che se  $A$  neutralizza  $-B$  a traverso la spessezza del vetro, vi ha anche in  $A$  la porzione  $A'$  ch'è neutralizzata da  $-B$ . E siccome il modo d'azione è eguale, il rapporto di saturazione dovrà pure essere eguale, e si avrà  $A' = -mB$ .

*Gli Editori.*

$\frac{1}{1-m^2}=50$  . Il che dimostra averne la boccia pigliato 50 volte di più che non ne avrebbe pigliato senza l'influenza. In questo modo chiunque riconosce che la forza di condensare aumenta quanto meno  $m$ , ch'è una frazione, si differisce dall'unità, o sia quanto è meno la spessezza del vetro. E però la forza di condensare diventa infinita quando  $m = 1$ , perchè  $\frac{1}{1-m^2}$  sarebbe eguale ad  $\frac{1}{0}$  .

371. Rivolgendoci ora alla maniera come si scarica la boccia, convengono quei che seguono il Franklin e gli altri che si accostano al Symmer, che non può aver luogo la scarica se non vi ha una comunicazione tra l'interna ed esterna armatura della boccia; perchè ove questa comunicazione è interrotta, come avviene nella boccia isolata, non può aver luogo la scarica. Dicono i primi che il fluido in eccesso dell'interno deve correre all'esterno, dove manca; e affermano gli altri che il fluido vitreo è sollecito di unirsi al resinoso e di neutralizzarlo. Ma i partigiani de' due fluidi, per mostrare tutta la precisione e l'esattezza nel dichiarare la scarica della boccia, recano innanzi quella maniera di scarica che non fassi istantanea, ma a poco a poco e per iscintille; e notandone tutte le particolarità, la sommettono al calcolo.

#### Esperimento I.

Se tenendo isolata una boccia carica, ne toccate col dito l'esterna superficie, non avrete alcuna scintilla; ma se toccate la palla del filo conduttore, la avrete. Dopo

aver tirato questa scintilla ritornate a toccare l'esterna superficie, ed allora avrete la scintilla; e così di seguito alternando i contatti coll'interna ed esterna superficie, avrete sempre scintille, e la boccia a poco a poco si scarica.

Questo esperimento ci mostra apertamente quanto di sopra si è già stabilito. Toccando da prima la superficie esteriore non si può trarre scintilla, perchè tutta l'elettricità resinosa è imprigionata e ritenuta dalla vitrea. Ma come una porzione della vitrea è libera nell'interno, perciò toccando il filo conduttore si ottiene la scintilla. Tolta poi per mezzo della scintilla una porzioncella dell'elettricità vitrea, il resto del fluido vitreo non può più ritenere tutta quella quantità di fluido resinoso che prima riteneva. E però viene a restar libera una porzioncella di fluido resinoso, che al secondo contatto si mostra in forma di scintilla. E così di mano in mano vanno restando libere delle porzioncelle ora di fluido vitreo ed ora di resinoso, che si manifestano in iscintille ora dall'estrema ed ora dell'interna superficie.

372. Biot, che si è piaciuto di applicare il calcolo a sì fatti esperimenti, ha conosciuto che le quantità de' fluidi che restano e che si perdono nei successivi contatti, formano delle progressioni geometriche. Essendo la carica della boccia  $B+mA = 0$ , dopo che si è tirata col primo contatto la scintilla, resta la quantità  $A'$ , ch'era ritenuta dall'azione  $-B$ ; e però si avrà  $A'+mB = 0$ . Apparisce quindi la forza espansiva in  $-B$ , e ritirata da  $B$  la scintilla, non gli resta se non la porzione che si può in distanza

neutralizzare da  $A'$ . Sia dunque  $-B'$  questo avanzo, sarà  $B'+mA' = 0$ . E così successivamente ne verrà a risultare una serie di equazioni simili  $B+mA = 0$ ,  $A'+mB = 0$ ,  $B'+mA' = 0$ ,  $A''+mB' = 0$ ,  $B''+mA'' = 0$ , ec. E seguendo i due sistemi di equazioni che si riferiscono alle due facce della boccia, si avrà  $A' = m^2A$ ,  $A'' = m^2A'$ ,  $A''' = m^2A''$ , ec., e parimente  $B' = m^2B$ ,  $B'' = m^2B'$ ,  $B''' = m^2B''$ , ec. Il primo di questi due sistemi esprime la quantità del fluido vitreo nell'interno, e 'l secondo quella del fluido resinoso nell'esterno. Ora pigliando il valore di  $A'''$  dall'equazione di  $A''$  e 'l valore di  $A''$  da quella di  $A'$ , si avrà  $A' = m^2A$ ,  $A'' = m^4A$ ,  $A''' = m^6A$ , ec. Operando nella stessa guisa nell'equazioni del secondo sistema, risulterà  $B' = m^2B$ ,  $B'' = m^4B$ ,  $B''' = m^6B$ , ec. Donde è chiaro che le quantità de' fluidi che restano nelle due superficie della boccia dopo i successivi contatti formano una progressione geometrica.

Le perdite poi successive saranno espresse dalle differenze  $A-A' = (1-m^2)A$ ,  $A'-A'' = (1-m^2)m^2A$ ,  $A''-A''' = (1-m^2)m^4A$ , ec., o pure da  $B-B' = (1-m^2)B$ ,  $B'-B'' = (1-m^2)m^2B$ ,  $B''-B''' = (1-m^2)m^4B$ , ec. Per lo che le perdite decrescono giusta una progressione geometrica, la cui ragione è  $m^2$ .

373. Dichiarata la scarica per contatto alternativo, si comprende benissimo l'istantanea. Le due elettricità che gagliardamente si attraggono senza che si possano unire a cagione del vetro che impedisce, trovano per mezzo dell'arco scaricatore aperta la via, e all'istante corrono ad unirsi. È così vigorosa la loro attrazione mentre stan-

no sulle due opposte facce, che talvolta la scarica succede spontanea. Perchè penetrano le due elettricità nella spessezza del vetro, e tanto s'internano, che in fine si uniscono; e però da sì fatti sforzi deriva la scarica e la rottura della boccia. Che se senza l'aiuto dell'arco si scarica la boccia colle braccia di una o più persone, allora l'elettricità nel passare s'imbatte ne' muscoli, li contrae, li scuote, e succede il colpo elettrico, ch'è così momentaneo come il passaggio del fluido. Ma credesi oggi da quei che ammettono i due fluidi, che l'elettricità non si porta dall'interno all'esterno delle braccia, ma che la vitrea dell'interno scomponga l'elettricità combinata dall'arco, delle persone, de' corpi che fanno circolo tra l'una e l'altra superficie, e pigliandosi di mano in mano la resinosa respinga la vitrea nella superficie esteriore. Di modo che per questa scomposizione e per sì fatto successivo baratto succede la scossa, e restano in fine la boccia, l'arco e le persone nello stato naturale.

374. È qui da osservare che la scintilla che si tira dalla boccia non è così lunga, come quella che si cava dal conduttore della macchina. Proviene ciò dal vetro, il quale è una sostanza coibente che, ritenendo per la forza coercitiva l'elettricità, questa non ostante la sua copia e densità non può saltar tanto lungi come farebbe lanciandosi dal conduttore della macchina. Di fatto nella prima scarica non mai succede che tutta l'elettricità accumulata nella faccia interiore venga fuori e si scarichi. Ne resta sempre una porzione residua che si era già internata, ed ha bisogno più tempo per isvincolarsi. Però dopo la

prima scarica, che è la più abbondante, succede debole la seconda, e debolissima la terza.

375. Finalmente si può in più modi e sotto forme diverse costruire la boccia, e caricarla e scaricarla. In luogo di una boccia si può usare di una lamina di vetro vestita nel mezzo della superficie e superiore ed inferiore di foglia di stagno. Questa si carica con una catena che mette la sua superficie superiore in comunicazione col conduttore della macchina, e si scarica per via dell'arco che apre la comunicazione tra le due superficie. In questo modo la boccia si è ridotta ad una superficie piana, e chiamasi il *quadro magico* o *fulminante*.

376. Se appendesi al conduttore della macchina una boccia, e al fondo di questa per via di un uncino il filo conduttore di una seconda boccia, e al fondo di questa seconda il filo conduttore di una terza, e così di seguito, finchè l'ultima per mezzo di una catena comunichi col pavimento, si osserva che caricata la prima dalla macchina tutte le altre sono nel medesimo tempo caricate. Poichè il fluido respinto dalla faccia esteriore della prima boccia si introduce nell'interno della seconda, e quello ch'è respinto dalla superficie esterna della seconda va a caricare la terza, e così di mano in mano. Indi una sì fatta maniera di caricar le bocce si chiama *carica per cascata*.

377. La scarica di queste bocce si può mandare ad effetto in due modi, toccando cioè separatamente le due superficie di ciascuna boccia, o pure l'interna della prima, e l'esterna dell'ultima. Ma in questo secondo modo

si scaricano tutte le bocce, e la scossa si riceve come se ne scaricasse una sola. Poichè quando si tocca la prima e l'ultima, si restituisce l'equilibrio solamente tra la superficie interna della prima e l'esterna dell'ultima, ed è il fluido di queste due sole facce che produce la scossa. Ma in seguito di questa prima scarica succedono quelle delle bocce intermedie; perchè ridotte allo stato naturale la faccia interna della prima e l'esterna dell'ultima boccia, non può più tenersi addensato il fluido elettrico nelle bocce intermedie. Quindi la seconda comunicando colla prima si riduce allo stato naturale, così la terza colla seconda, ec.

378. La carica per cascata può aver luogo anche con tre o quattro o più superficie di vetro, come è quella di *AB* (fig. 107) elettrica positivamente in *E*, e negativamente in *e*. Queste si appendono per via di deferenti l'una sotto l'altra, in modo che l'ultima abbia comunicazione per via di una catena col suolo. Elettrizzando così la prima si elettrizzano tutte per cascata, producono gli stessi fenomeni delle bocce, e pigliano il nome di *pile elettriche*.

379. Ma se le bocce già cariche per cascata si staccano ad una ad una colle debite precauzioni per non iscaricarle, e si pongono tutte mutuamente in contatto sopra un piano coibente, e in fine si mettono in comunicazione per mezzo di una catena i loro fili conduttori, si osserverà che ove si tocca coll'arco scaricatore la superficie esterna e 'l filo conduttore di una, tutte all'istante si scaricano. Ma la corrente che si forma sarà eguale alla



somma dell'elettricità accumulata in tutte le bocce, la scossa riuscirà assai forte, e l'azione della scarica tanto più vigorosa quanto è maggiore il numero delle bocce, più ampia la loro superficie armata, e più addensato in ciascuna il fluido elettrico. Indi questa unione di bocce in contatto piglia il nome di *batteria elettrica*.

Queste batterie di ordinario si possono formare o da più pile o da più quadri, e sopra di ogni altro da più bocce in contatto, come si veggono nella *fig.* 110. Le bocce da cui risulta la batteria sono tutte alligate sul fondo metallico della cassa  $C'D'D$ , che rende tutte comunicanti le loro superficie esteriori. I fili conduttori  $a, b, c, d, e, f$ , ec., si riuniscono insieme nella palla metallica  $A$ , che porta la verga di rame  $B$ . In questo modo comunicando tra loro tutte l'interne superficie, e parimente tra loro tutte l'esterne, da più bocce non se ne forma che una sola. E come quanto più cresce la superficie armata, tanto più aumenta l'elettricità; così da una batteria si trae una gran copia di elettricità, ed una scarica o esplosione più forte. Per caricare quindi la batteria si mette in comunicazione la palla  $B$  col conduttore della macchina, e 'l fondo della cassa in comunicazione colla terra per mezzo della catena. E per iscaricarla basta appoggiare un estremo dell'arco scaricatore sul fondo della cassa, e toccare coll'altro la palla  $B$ .

380. Accumulata l'elettricità nelle bocce e nelle batterie, si ebbe il destro di esaminare e conoscere con maggiore facilità le qualità e gli effetti del fluido elettrico. Monnier il giovane scaricando una boccia per un circolo

di due miglia, e Watson di quattro, non si poterono accorgere che alcun tempo ancorchè minimo impiegasse il fluido per correre un circolo così lungo, e da queste e da altre esperienze si è ricavato che grande è la rapidità dell'elettricità, ed incalcolabile riguardo alle distanze terrestri.

Ma nel camminare imprende il fluido elettrico la via più breve, o quella de' migliori conduttori. Di fatto posta una catena che gira in un arco, di cui è corda un fil di ferro, ove si scarica una boccia, la scintilla non iscorrerà per l'arco, ma per la via più breve, che è il fil di ferro. Che se in luogo di ferro faccia da corda un bastoncino di legno, la scintilla, lasciata la linea retta, imprenderà la curva della catena, perchè questa è meglio conduttrice.

Finalmente il fluido elettrico non manifestasi nel camminare colla luce quando traversa de' corpi deferenti, ma quando è stretto a vincere la resistenza dell'aria e de' corpi non conduttori. Però scorrendo per le catene si vede in iscintilla nel passare di anello in anello o di maglia in maglia.

381. Ponendo ora mente agli effetti che produce, egli è noto che mettendo il vaso *C* (*fig.* 109) pieno in parte di etere o di spirito di vino sul conduttore *A*, basta tirare colla mano *B* una scintilla per accendersi l'etere e lo spirito. Ma meglio che non si fa colla scintilla, si può osservare la forza del fluido elettrico ad infiammare per mezzo della scarica delle bocce e delle batterie. Ad eseguire tutti gli esperimenti che si mandano ad effetto con tali scariche, si è immaginato l'*universale scaricatore*.

Risulta quest'apparecchio da due colonne di vetro  $A, B$  (*fig.* 111), che sono impiantate nel piano  $MN$ . Su queste colonne stanno collocati orizzontalmente due cilindri metallici  $ac, db$ , che finiscono ne' globetti  $a, b, T, F$ , e si possono ritirare avanti, indietro, e muovere in ogni senso. Il piede  $I$  sostiene in mezzo alle colonne la tavola  $CH$ , che si può alzare o abbassare a piacere per mezzo della vite  $K$ . Ora volendo osservare gli effetti dell'elettricità sopra una sostanza qualunque, si colloca questa sulla tavola in mezzo alle due palle  $T, F$ , e poi si determina la scarica della boccia o della batteria a passare a traverso di quella per la via de' due isolati conduttori o sia cilindri metallici, de' quali l'uno comunica coll'interno e l'altro coll'esterno della boccia o della batteria. In questo modo operando s'infiamma la bambagia, si fonde una foglia d'oro stretta in mezzo a due vetri, si liquefà un fil d'oro, d'argento, di ferro, si trafora il vetro o un mazzetto di carte da giuoco, e si uccidono gli uccelli e i piccoli animali.

382. I seguaci del Franklin recano innanzi, a dimostrare l'unicità del fluido elettrico, la fiammella che scossa dalla corrente elettrica si piega verso la superficie negativa, e un globetto che verso questa medesima superficie si muove allorchè è urtato dalla scarica. Ma soprattutto pongono una carta da giuoco in mezzo a' due conduttori  $ac, bd$  (*fig.* 111), e mettono la palla  $F$  in contatto della carta in un punto superiore, e la palla  $T$  in contatto della superficie opposta della carta in un punto inferiore. Mostrano allora che colla scarica il fluido

scende da  $F$  per traforare la carta in un punto che corrisponde a  $T$ , e danno sopra d'ogni altro a vedere il buco che ha l'orlo prominente verso la superficie negativa, come se fosse stato fatto da una punta nel senso della faccia positiva alla negativa. Dalle quali cose ricavano con certezza la corrente essere unica, e moversi sempre dalla positiva superficie alla negativa. Pictet, a render palese agli occhi il cammino di sì fatta corrente, incollava sopra una carta di giuoco due triangoletti di stagnola, le cui basi erano verso l'estremità della carta, e i vertici si opponeano alla distanza di un pollice, restando tra due vertici la carta scoperta. E come scaricandosi la boccia passava il fluido per la stagnola, così si accorgea benissimo da quale de' due vertici si partiva la scintilla e qual era la direzione della corrente. Osservò con quest'artificio che ove la boccia avea elettricità positiva nell'interno, la corrente dall'interna si portava all'esterna superficie; ed ove questa era elettrica in più, la corrente correva dall'esterna all'interna superficie.

Ma i seguaci del Symmer han ricavato da sì fatti esperimenti che l'aria atmosferica esercita una forza coercitiva più gagliarda sul fluido resinoso, che sul vitreo. Donde deriva a loro sentimento, che vincendo il fluido vitreo l'aria atmosferica con più prontezza, che non fa il resinoso, quello è il primo a lanciarsi, e vada questo a raggiungere. Però il fluido vitreo, ch'è più veloce, scende sulla carta, e questa trafora là dove raggiunge il fluido resinoso. Per dare un appoggio alla loro supposizione han messo avanti dell'esperienze eseguite

nell'aria più o meno densa. Hanno essi dimostrato che scemandosi la densità dell'aria, il bucolino sulla carta muta luogo, e si trova in un punto intermedio a quelli ch'eran toccati dai due conduttori isolati, che comunicano colle due opposte superficie della boccia. E da un sì fatto cangiamento di luogo in cui fassi il buco, han ricavato che al diminuirsi della densità dell'aria il fluido resinoso perde la sua tardità, e ambidue i fluidi forniti della medesima velocità giungono nel medesimo tempo al punto di mezzo della loro via. Ma checchè sia di simili supposizioni e di tali spiegazioni, non vi ha dubbio che la dottrina de' due fluidi è più pronta e precisa nello spiegare i fenomeni; e che quella dell'unico fluido levi di mezzo ogni supposizione, e vinca colla sua semplicità il principio de' due fluidi. Pare che delle due condizioni necessarie a stabilire una teorica, ciascuna delle due ipotesi vantar ne possa una sola, niuna ambedue.

Dalle cose sin qui esposte e recate si conosce in che modo si ecciti l'elettricità collo strofinio sulla macchina elettrica; come questa eccitata e addensata sul conduttore operi in distanza mutando lo stato naturale de' corpi; perchè nel comunicarsi a' corpi leggieri avvenga l'attrazione, e comunicata loro la ripulsione; donde il poter delle punte di dispergerla, o pur d'attirarla, e come all'avvicinar de' corpi ottusi si spicchi in iscintilla; e in qual maniera in fine coll'artificio delle bocce e delle batterie si riconosca il corso, l'andamento, la forza del fluido elettrico. Abbiamo in somma caricato la macchina, e poi a poco avvicinandosi al conduttore elettrizzato

abbiamo indagato le proprietà e i modi con che questo fluido opera. Non ci resta, dopo tutto ciò, che accennare come applicar si soglia alla medicina.

383. Si conviene da tutti che l'elettricità sia atta per la sua forza a sciogliere e sgretolare quegli umori che sono ristagnati o addensati, e a scuotere e a ravvivare scuotendo i muscoli e i nervi. Sicchè per questi due riguardi si può sopra di ogni altro usare a rimedio dell'elettricità; ma molte sono le precauzioni da mettere in opera nell'applicarla: così negli organi delicati, come sono quelli della vista e dell'udito, non sono da recarsi nè scosse nè scintille, ma da eccitarsi sugli occhi e nel meato dell'orecchie un venticello elettrico per mezzo delle punte, e queste di più vogliono essere di legno. Ma in generale le cure elettriche soglionsi dividere in tre periodi: il primo si chiama il bagno elettrico, ed ha luogo ove sopra un isolatore si colloca l'infermo che riceve elettricità dalla macchina. Anzi Volta proponea che per mezzo di punte, o pure di fiammelle, che comunicando con un corpo forte elettrizzato sono più conduttrici delle punte, s'elettrizzasse l'aria di una stanza, affinchè quel bagno riuscisse più salutare. Il secondo periodo è quello delle scintille, che si van tirando da' luoghi e da' membri male affetti degl'infermi. E 'l terzo è quello delle scosse; e in ciò fare vi ha bisogno di molta diligenza, perciocchè le scosse si debbono ristignere e limitare a' soli membri che sono da malattia travagliati, e debbonsi a poco a poco accrescere di forza. Avvi a tale oggetto la boccia *AB* (*fig.* 108) che porta il tubo di rame *B'E* isolato, ad

un'estremità del quale pende un filo o piccola catena, per cui si mette in comunicazione il braccio  $PC$  dell'infermo col tubo  $B'E$ . Un filo poi che è in contatto colla superficie esterna della boccia si porta in  $b$  sul braccio, e così si stabilisce un circolo tra l'interno della boccia, il tubo isolato, la parte affetta  $ab$  del braccio dell'infermo e l'esterna superficie della boccia. Ora quanto più si avvicina  $E$  ad  $e$ , tanto più presto salta l'elettricità dall'interno nel tubo, e tanto più debole si risente la scossa; ma a misura che  $E$  si allontana da  $e$ , maggiore dev'essere la tensione del fluido per lanciarsi, e la scossa riesce più forte. Del resto molto si è scritto pro e contro la medica elettricità, e per conoscere il metodo con che si possa dritto amministrare, veggasi il libro già famoso: *Dell'applicazione dell'elettricità alla fisica e alla medicina* di A. Paets Van-Troostwisk, e C. R. T. Krayenhoff, stampato in Amsterdam nel 1788.

FINE DEL TOMO I. DELLA FISICA PARTICOLARE.

# INDICE DEL TOMO PRIMO DELLA FISICA PARTICOLARE

<i>DELLA FISICA PARTICOLARE</i> <sup>41</sup>	pag. 1
CAP. I. – Delle affinità	2
II. – De' fenomeni capillari	11
<i>DELLA LUCE</i>	32
CAP. I. – Della luce diretta	33
II. – Delle ombre	48
III. – Della diffrazione della luce	54
IV. – Della luce riflessa	67
V. – Della rifrazione	99
VI. – Della rifrazione della luce per mezzo de' vetri sferici	110
VII. – Della luce rifratta pei prismi, e in parti- colare della dispersione della luce	123
VIII. – Degli anelli colorati, e de' diversi colori de' corpi	139
IX. – Della doppia rifrazione e polarizzazione della luce	153
X. – Della visione e degli strumenti ottici	183
<i>DEL CALORICO</i>	209
CAP. I. – Del calorico che dilata i corpi e del calori- co specifico	211
II. – Del calorico che cangia lo stato de' corpi e	

---

41 I numeri di pagina qui riportati sono quelli dell'edizione cartacea. – *Nota per l'edizione elettronica Manuzio.*



del calorico latente	226
III. – Del calorico raggiante	237
IV. – Della propagazione del calorico	246
<i>DELL' ELETTRICITÀ PER ISTROFINIO</i>	257
CAP. I. – Della macchina elettrica, e delle ipotesi che dichiarano i fenomeni elettrici	258
II. – Dell' influenza elettrica, dell' elettroforo e del condensatore	267
CAP. III. – Della legge giusta cui varia in distanza la forza elettrica, e de' conseguenti che ne derivano	275
IV. – Delle attrazioni e ripulsioni, e degli elettroscopj	282
V. – Delle scintille, della forza delle punte e di altri fenomeni elettrici	287
VI. – Della boccia di Leida e delle batterie elettriche	293

## EMENDAZIONE<sup>42</sup>

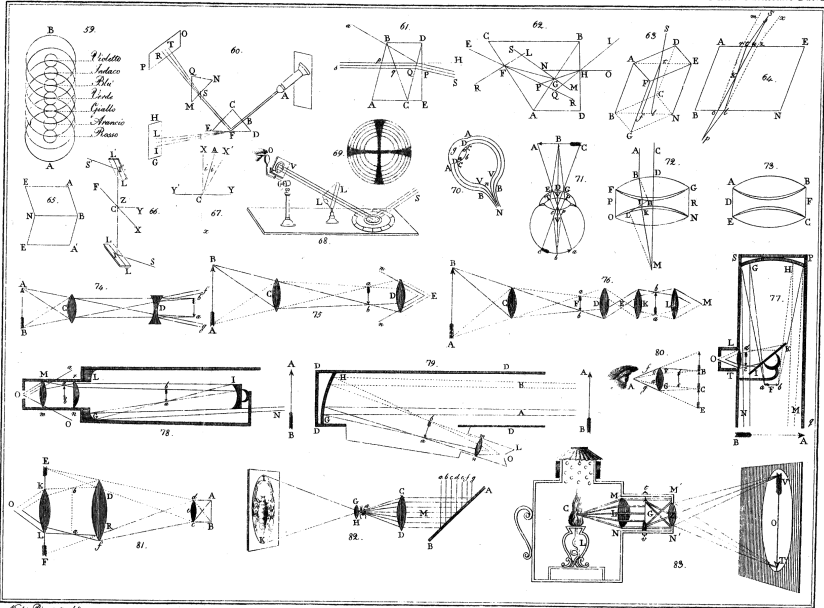
Pag. 90, nota, lin. 1 ancora immagini *leggi* nuove immagini.

---

42 Questa correzione è già stata apportata nella trascrizione. – *Nota per l'edizione elettronica Manuzio.*







Aut. Bononiensis del.

F. Wandelaar sculp.

