



Informazioni su questo libro

Si tratta della copia digitale di un libro che per generazioni è stato conservata negli scaffali di una biblioteca prima di essere digitalizzato da Google nell'ambito del progetto volto a rendere disponibili online i libri di tutto il mondo.

Ha sopravvissuto abbastanza per non essere più protetto dai diritti di copyright e diventare di pubblico dominio. Un libro di pubblico dominio è un libro che non è mai stato protetto dal copyright o i cui termini legali di copyright sono scaduti. La classificazione di un libro come di pubblico dominio può variare da paese a paese. I libri di pubblico dominio sono l'anello di congiunzione con il passato, rappresentano un patrimonio storico, culturale e di conoscenza spesso difficile da scoprire.

Commenti, note e altre annotazioni a margine presenti nel volume originale compariranno in questo file, come testimonianza del lungo viaggio percorso dal libro, dall'editore originale alla biblioteca, per giungere fino a te.

Linee guida per l'utilizzo

Google è orgoglioso di essere il partner delle biblioteche per digitalizzare i materiali di pubblico dominio e renderli universalmente disponibili. I libri di pubblico dominio appartengono al pubblico e noi ne siamo solamente i custodi. Tuttavia questo lavoro è oneroso, pertanto, per poter continuare ad offrire questo servizio abbiamo preso alcune iniziative per impedire l'utilizzo illecito da parte di soggetti commerciali, compresa l'imposizione di restrizioni sull'invio di query automatizzate.

Inoltre ti chiediamo di:

- + *Non fare un uso commerciale di questi file* Abbiamo concepito Google Ricerca Libri per l'uso da parte dei singoli utenti privati e ti chiediamo di utilizzare questi file per uso personale e non a fini commerciali.
- + *Non inviare query automatizzate* Non inviare a Google query automatizzate di alcun tipo. Se stai effettuando delle ricerche nel campo della traduzione automatica, del riconoscimento ottico dei caratteri (OCR) o in altri campi dove necessiti di utilizzare grandi quantità di testo, ti invitiamo a contattarci. Incoraggiamo l'uso dei materiali di pubblico dominio per questi scopi e potremmo esserti di aiuto.
- + *Conserva la filigrana* La "filigrana" (watermark) di Google che compare in ciascun file è essenziale per informare gli utenti su questo progetto e aiutarli a trovare materiali aggiuntivi tramite Google Ricerca Libri. Non rimuoverla.
- + *Fanne un uso legale* Indipendentemente dall'utilizzo che ne farai, ricordati che è tua responsabilità accertarti di farne un uso legale. Non dare per scontato che, poiché un libro è di pubblico dominio per gli utenti degli Stati Uniti, sia di pubblico dominio anche per gli utenti di altri paesi. I criteri che stabiliscono se un libro è protetto da copyright variano da Paese a Paese e non possiamo offrire indicazioni se un determinato uso del libro è consentito. Non dare per scontato che poiché un libro compare in Google Ricerca Libri ciò significhi che può essere utilizzato in qualsiasi modo e in qualsiasi Paese del mondo. Le sanzioni per le violazioni del copyright possono essere molto severe.

Informazioni su Google Ricerca Libri

La missione di Google è organizzare le informazioni a livello mondiale e renderle universalmente accessibili e fruibili. Google Ricerca Libri aiuta i lettori a scoprire i libri di tutto il mondo e consente ad autori ed editori di raggiungere un pubblico più ampio. Puoi effettuare una ricerca sul Web nell'intero testo di questo libro da <http://books.google.com>



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>

HDI



HW 2LK3 Q

KE 31834 (1)



TRATTATO ELEMENTARE

DI

FISICA

TRATTATO ELEMENTARE

DI

FISICA

DEL PROF. C. DESPRETZ

ADOTTATO PER USO DELL'UNIVERSITÀ DI PARIGI

SULLA SECONDA EDIZIONE

TRADOTTO E COMMENTATO

Da Eusebio Giorgi

DELLE SCUOLE PIE

T O M O I.

FIRENZE

PRESSO GUGLIELMO PIATTI

1830.

KE 31834(1)



53#127

L' A U T O R E

PRESENTO al Pubblico un' Opera, la quale altro non è che un compendio delle lezioni che da molti anni dò nel Collegio di Enrico IV; e solamente ho qui omesse le nozioni generali, che soglio dare sui fenomeni chimici. Nell' Indice può vedersi la distribuzione delle materie; soltanto dirò che ho adottato le sei grandi divisioni seguenti.

I. Nozioni generali sulla materia, sul moto e sulle macchine semplici;

II. Storia del calore — Teoria dei gas e dei vapori — Igrometria;

III. Atmosfera — Barometro. — Densità dei gas — Trombe a aria e a acqua — Macchine a vapore;

IV. Eletticismo — Galvanismo — Magnetismo — Fenomeni elettro-dinamici;

V. Acustica — Ottica;

VI. Meteorologia — Temperature del Globo — Sorgenti di calore.

La Fisica essendo composta di parti indipendenti le une dalle altre, lascia a chi la studia molta libertà nell'ordine da seguirsi. Quindi dopo aver considerate le proprietà generali della materia, dopo avere studiata la teoria dei gas e dei vapori, può indifferentemente principiarsi dall' Ottica, dall' Eletticismo o dall' Acustica. Non è lo stesso nella Chimica, nello studio della quale bisogna passare dalle combinazioni elementari alle combinazioni composte, per la connessione che esiste fra tutte le sue parti.

La Fisica quale si coltiva presentemente è molto diversa da quella Fisica scolastica, che i precetti di Ba-

cone e gli esempj di Galileo hanno tanto contribuito ad esiliare dalla pubblica istruzione. Fin dai tempi di Newton, gli spiriti superiori prendevano l'esperienza per base dei loro studj, in prova di che può citarsi la scomposizione della luce. Ma non mancavano però uomini, pur anco di merito, che si mantenevano schiavi degli antichi pregiudicati sistemi, non seguendo altra guida che l'autorità degli antichi maestri. Non è che un mezzo secolo, dacchè la Fisica ha fatto un nuovo volo, e dacchè questo bel ramo delle umane cognizioni si è arricchito con tante brillanti scoperte, alle quali i dotti della Francia hanno avuta la più gloriosa parte.

Di giorno in giorno si conosce sempre più l'importanza della Fisica, sicchè almeno le nozioni generali di questa Scienza, debbon formare una parte necessaria d'una buona educazione. Un tale studio, oltre al suggerire le sublimi idee del potere e della sapienza del Creatore, oltre al formare energico e giusto lo spirito dei Giovani, insegna ad essi tanti metodi sperimentali applicabili in moltissime circostanze, ed utili anco negli usi comuni della vita.

Io non sono sicuramente dell'opinione di quelli i quali pensano che i libri elementari poco giovano ai progressi delle Scienze, giacchè mi sembra che il più sicuro mezzo di far avanzare una Scienza, sia l'accrescere il numero di quelli che la coltivano, rendendone più facile il primo studio. E poche dall'altra parte sono le Scienze, delle quali, in un volume ordinario, non si possano indicare i principj ed i fatti dai quali questi sono stati dedotti.

Al fine dell'Opera ho messo qualche capitolo sopra alcune materie, che comunemente non sogliono trovarsi in questo genere di Trattati: tali sono la meteorologia, le temperature del Globo, e le sorgenti del calore animale, giacchè mi è sembrato che questi rami di sapere sieno in oggi abbastanza sviluppati, per potere far parte della Fisica generale; al che mi ha pure incoraggiato il voto dei Dotti, che approvarono una tale innovazione

da me fatta fin dalla prima volta che esposi al Pubblico questo Corso.

Sarebbe stato molto difficile esporre i fenomeni della gravità, la teoria e la costruzione degli strumenti d'ottica, senza far uso di formole algebriche. Le ho usate però di rado; e per non trattenere il lettore poco esperto nell'analisi, le ho poste nelle note.

Ho avuto il vantaggio d'essere cortesemente consigliato in questo mio lavoro da molti di quelli che giovano doppiamente alla Scienza e con le loro scoperte e col favorire quelli che le coltivano: inoltre Joly, Gouraud, Chauchot e alcuni altri già alunni del Collegio d' Enrico IV, distinti per i loro onorevoli concorsi, mi hanno gentilmente prestata l'opera loro nella stampa di questa seconda edizione; e Chauchot specialmente ha con moltissima accuratezza verificati tutti i calcoli numerici. Rendo giustizia a questi valorosi giovani, per sentimento di riconoscenza.

Del resto, ho rivista tutta la mia opera, ho sviluppato molte parti che nella prima edizione aveva semplicemente accennate, cercando così di renderla più degna di quella favorevole accoglienza, con la quale piacque al Pubblico di riceverla.

Parigi 15 Agosto 1827.

*

IL TRADUTTORE

SE l'aver sempre in mira l'estensione de' lumi, e il tener dietro alle più brillanti scoperte, specialmente in scienze le quali solamente da epoche recenti ripetono il loro lustro e il loro avanzamento, è dovere di chi le coltiva, dovere anco più imperioso doventa per chi è obbligato a professarle insegnando. E ad un tal dovere può questi adempire o redigendo egli stesso le teorie per il maggiore e più pronto vantaggio dei Giovani, o traendo partito da simili cure che altri si sia preso, quando quelle compariscano convenienti allo scopo. Per eseguire questo dovere nella prima maniera, si opponeva per me la molteplicità e la troppa diversità degl' impegni, ai quali ho dovuto fin qui soddisfare. Nel proposito dunque da me formato di soddisfarvi nella seconda maniera, era mia intenzione di riprodurre una seconda edizione del Trattato di Fisica del celebre Haüy, da me presentato ai Giovani nel nostro idioma fin sul principio del 1825; e ciò col fine di corredarla delle più moderne notizie, e di purgarla ancora da qualche errore che per fretta e per altre circostanze che non è opportuno il rammentare, sfuggirono nella prima edizione. Intanto mi pervengono due nuovi Trattati di Fisica, uno del Prof. Puillet, non compito fin qui, e l'altro del Prof. Despretz già compito; ed uno di questi ho creduto di dover preferire all' Haüy, perchè in tal genere di Scienze fisiche, il titolo d'Autore più moderno non è l'ultimo dei pregi. Amedue questi trattati compariscono meritevoli di considerazione e di stima; ma io mi sono attenuto al secondo, perchè già compito, perchè più breve, perchè ordinato nel modo più opportuno per servire ad un corso di studio in un Anno, e anco perchè non mi obbligava a cambiare la Teoria dell'Elettricismo, la quale vi è trattata secondo l'opinione ammessa in oggi dalla maggior parte dei Fisici, non che dagl' Italiani. Questo Corso è stato adottato solennemente in Francia per uso dell' Università, mentre l'Autore non fa parte di quella, essendo Professore nel Collegio d' Enrico IV. Un tal giudizio non può non riguardarsi come molto imparziale, e quindi molto

onorevole all' Opera ; e a questo giudizio ho trovata concorde anco l' opinione di molti Dotti di Parigi , da me espressamente consultati.

In questo Trattato l' Autore ha saviamente premesse le principali teorie di Meccanica , senza impegnarsi in dimostrazioni calcolate , servendo così al puro bisogno della Scienza che tratta , e nel tempo stesso non esigendo superiori cognizioni nei Giovani che si applicano ad un tale studio. Avendo Egli tenuto dietro alle più moderne scoperte , ce le presenta opportunamente , almeno le più considerevoli , fino quasi ai nostri giorni. E se nel breve intervallo decorso dopo l' edizione francese dell' Opera , qualche scoperta o qualche osservazione mi è sembrata di qualche rilievo , ne ho fatto soggetto di note ; come pure alcune notarelle mi è occorso di fare talvolta per aggiungere qualche utile applicazione , o per servire alla più facile e chiara intelligenza delle dimostrazioni , contrassegnando queste note con numeri arabi , e indicando quelle dell' A. con lettere alfabetiche. Altre note ed altre Addizioni aveva aggiunte l' Autore in fine dell' Opera ; ed io ho creduto di far comodo al lettore col portarle opportunamente ai rispettivi articoli , inserendole nel testo , o mettendole in forma di nota in piè di pagina , quando contenevano qualche calcolo non tanto elementare. Ho creduto utile ancora aggiungere in fine alcune Tavole di riduzioni , ec. , delle quali è sì comune l' uso tanto nelle Scienze quanto in Società ; ed a queste ho annesso in fine un prospetto generale dei risultamenti delle osservazioni meteorologiche , fatte nel nostro Osservatorio , dal 1821 fino a tutto il 1829. Finalmente ho compilato una Tavola alfabetica delle materie , la quale quanto sia comoda , è noto per pratica ad ognuno che maneggia libri per studio.

Ecco dunque il Trattato che per vostra norma presento a Voi , studiosi Giovani , a vantaggio dei quali unicamente ed esclusivamente ho eseguito questo qualunque siasi lavoro , il quale se ha qualche cosa di piacevole per me , ciò è la lusinga che possa riescirvi utile per iniziarvi regolarmente ed efficacemente al grande studio della Natura. Sotto questo aspetto appunto a Voi soli lo dedico , perchè Voi soli siete l' unico oggetto che io possa aver in mira quando intraprendo simili lavori , di ben tenue gloria ma di non tenue fatica.

Firenze 12 Novembre 1829.

Il lettore è pregato a correggere gli errori indicati qui appresso , prima di intraprendere la lettura del testo.

		ERRORI	CORREZIONI
Pag.	Vers.	Bd	Bp
7	20		
9	41	$5 \frac{cr}{(cr+rm)^2}$	$5 \frac{cr^2}{(cr+rm)^2}$
13	10	$\sqrt{22,500}$	$\sqrt{2.2500}$
...	11	221,5	221,3
21	12	12753968	12752928 (*)
28	40	all' altro	all' altra
30	34	2P	2'P
38	2	linee	decimi
41	40	5pi. 1 pol. —5	5pi. 1 pol. —5
42	6	dall' alto in basso	dal basso in alto
...	11	nell' istessa maniera	chiudono dall' alto in basso
43	3	percorre al	percorre il
...	4	di viti il	di viti al
48	38	le osservazioni	l' osservazione
61	9	1,000	1000
71	18	$\frac{1+Kz}{1+K'z}$	$\frac{1+Kz}{1+K'z}$
...	24	$\frac{1+az}{1+at} T'$	$\frac{1+az}{1+at} T'$
81	3	M(T'—t')	M(T'—t)
84	15	compongono	compensano
109	28	V : x :: H—f : H—f	V : x :: H'—f : M—f
115	40	esposta	esposte
122	3	$\frac{1,299 \times 9,48}{1,0375 \times 76 \times 16}$	$\frac{1299 \times 9,48}{1,0375 \times 76 \times 16}$
134	36	$\theta' - \theta : \theta'' -$	$\theta' - \theta : \theta'' - \theta$
140	40	1,0075	1,0077
146	26	debolissima	debolissimo
159	4	$\frac{1493}{9,99}$	$\frac{14,93}{9,99}$
160	17	$q = \frac{z_1 + z_2}{z_2}$	$q = \frac{z_1 + z_2}{z_2}$
166	20	si elevarono	si elevò
197	34	$h_3 = h_2 (1 - C(Y_3 - Y_2))$ $h_4 = ec.$	$h_3 = h_2 (1 - C(Y_3 - Y_2))$ $h_4 = ec.$
199	13	$\frac{1}{3f}$	$\frac{1}{1 \frac{3f}{8}}$

(*) Secondo Laplace, il raggio terrestre all'equatore è 6376606^m, e al polo è 6356215^m. Pouillet, secondo più moderne osservazioni, adotta 6376984^m. per il primo, e 6356324^m. per il secondo.

245	9	$\frac{72}{52}$	$\frac{72}{50}$
247	7	$\frac{1}{14,5}$	$\frac{1}{1,45}$
324	12	$17 \times 35 = 595$	$17 \times 35 = 595$
331	36	d' inclinazione	di declinazione
333	27	7',08	7',0 8'
347	37	porzione AB	porzione AB'
352	31	a'	a
353	7	sulla tavola	sotto la tavola
372	32	FM=FC	Fm=FC
382	29	$\Delta P' = p \Delta P''$	$\Delta P' = p, \Delta P''$
383	11	cn	c'n
443	10	(n.° 526)	(n.° 533)
456	9	E questa	È questa
482	21	avvicinarvele	avvicinarvele
530	46	quella	quello
546	35	qualunque metallo	qualunque materia

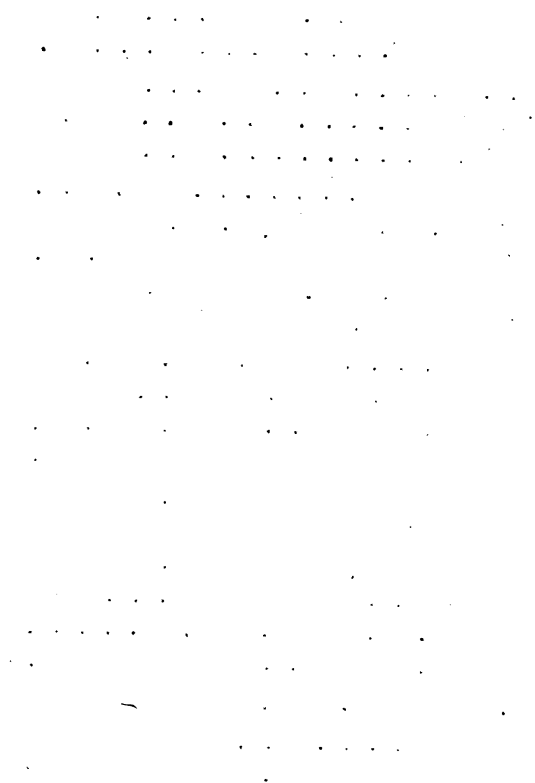
N. B. A pag. 546, n. 1, si corregga secondo il PROSPETTO a pag. 574.

54	11	annerato	pulito
...	12	pulito	annerato

TAVOLA

DEGLI ARTICOLI PRINCIPALI

NOZIONI PRELIMINARI SULLA MATERIA .	Pag. 1
<i>Moto uniforme e vario.</i>	6
<i>Macchine semplici.</i>	26
CALORE.	46
<i>Teoria dei gas</i>	56
<i>Igrometria</i>	115
ATMOSFERA	184
<i>Barometro</i>	189
<i>Macchine per rarefare e condensar l'aria</i>	198
<i>Trombe</i>	208
<i>Macchine a vapore.</i>	214
ELETTRICISMO	232
<i>Galvanismo.</i>	292
<i>Magnetismo.</i>	319
<i>Fenomeni elettro-dinamici.</i>	343
OTTICA.	366
<i>Strumenti Ottici.</i>	417
<i>Doppia Refrazione.</i>	438
<i>Polarizzazione</i>	449
<i>Interferenze.</i>	456
<i>Diffrazione.</i>	462
ACUSTICA.	474
METEOROLOGIA	503
<i>Temperature del Globo.</i>	522
<i>Sorgenti del Calore animale.</i>	551



TRATTATO ELEMENTARE

DI

FISICA

NOZIONI PRELIMINARI, LEGGI DEL MOTO,
DELLA CADUTA DEI CORPI, EC.

PROPRIETÀ GENERALI DEI CORPI

1. **LA** Fisica si occupa specialmente nello studiare i cambiamenti passeggeri ai quali sono soggetti i corpi, tanto per la loro influenza reciproca, quanto per l'azione della luce, del calore e dell'elettricismo.

Si chiama *corpo* tutto ciò che è capace di produrre sui nostri organi un certo numero di sensazioni distinte. È provato dall'esperienza, che tutti i corpi posson esser divisi in parti sì piccole, che divengano impercettibili per noi; e queste si chiamano *particelle* o *molecole*.

Nella facoltà poi che ha ciascun corpo di eccitare in noi sensazioni diverse, consistono quelle proprietà particolari, per le quali ci accorgiamo della loro presenza. Fra queste proprietà, alcune appartengono a tutti i corpi, e però si chiamano generali. Tali sono l'estensione, l'impenetrabilità, la mobilità, la divisibilità, la porosità, l'inerzia, la gravità, l'attrazione; ma quantunque sieno proprietà generali, non tutte però sono essenziali alla materia. — Tutte per altro possono ridursi a due, cioè estensione e impenetrabilità, senza le quali non può comprendersi l'esistenza della materia, che appunto vien caratterizzata da queste due proprietà.

2. *Dell'Estensione.* Ogni corpo occupa una porzione dello spazio universale; e ciò suggerisce l'idea dell'estensione.

Il volume d'un corpo non è altro, se non che la sua estensione.

T. I.

sione, considerata relativamente alla grandezza delle sue dimensioni, le quali in qualunque anco piccolo corpo son tre, cioè *lunghezza, larghezza e profondità*.

3. *Dell' Impenetrabilità*. Due corpi non possono occupare nel tempo stesso il medesimo luogo nello spazio: or questa proprietà, inerente nella materia, si chiama impenetrabilità.

Nè vien contraddetta questa proprietà da alcuni fatti che a prima vista sembrano smentirla. Una punta d'acciaio pare che penetri nel legno, ma in sostanza non fa che separarne le parti: mescolando acqua con alcool, il volume della mescolanza è minore della somma dei volumi separati; e lo stesso accade in molte combinazioni chimiche: la moneta composta d'argento e di rame presenta lo stesso fatto (1); come pure lo presenta la combustione del carbone, che accade nell'aria senza cambiar di volume. In tutte queste circostanze avviene, che le molecole dei corpi mescolati, lasciano fra loro più o meno ampii interstizii, in virtù della porosità che è propria di tutti i corpi, come fra poco vedremo (2). Questi interstizii, nelle combinazioni chimiche, si trovano occupati dalle molecole dei corpi, sicchè il volume che risulta da una combinazione, può essere molto minore della somma dei volumi dei componenti, senza che cessino per questo di essere impenetrabili le sostanze che hanno ceduto alla loro scambievole affinità (3).

Anco le altre proprietà nominate di sopra appartengono a tutti i corpi, ma di queste può farsi una classe a parte, perchè non sono una conseguenza dell'esistenza della materia (4).

(1) Anzi è una lega, la quale ha un volume maggiore della somma dei volumi dei componenti, il qual fatto si spiega col principio stesso con cui si spiegano i fatti opposti: la nuova disposizione produceva in quelli ravvicinamento di molecole, e quindi diminuzione di spazio; in questo produce l'effetto contrario.

(2) I corpi che più potrebbero far sospettare dell'impenetrabilità, sono i fluidi. Prendiamo l'aria per esempio. Mobilissima come essa è, finchè non è rinchiusa, lascia libero il passo a qualunque corpo; ma trattenendola nelle pareti d'un vaso, e volendo poi introdurre in questo un corpo, chiara vediamo l'impenetrabilità anco in questo caso. Per esempio, se si immerga nell'acqua un bicchiere rovesciato, in fondo al quale sia adattata una striscia di carta, questa non resta bagnata, a qualunque profondità venga esso immerso. Parimente un lume galleggiante sull'acqua, coperto con simil bicchiere e immerso in quella, vi resta acceso per qualche tempo. Dunque rimane nel bicchiere una porzione d'aria impenetrabile all'acqua, che non può alzarsi in esso se non fino a un certo punto, cioè finchè l'aria che vi resta non possa ristringersi in minor volume.

(3) Per *affinità* o *affinità chimica* si intende quella specie d'attrazione, che tende ad unire e mantenere unite particelle dissimili o di natura diversa. Questa si chiama ancora *attrazione di composizione*.

(4) Bisogna distinguere l'attitudine della materia ad esser divisa

4. *Della Porosità.* Le molecole dei corpi non sono perfettamente a contatto fra loro, ma son separate da spazii voti, più o meno ampi, secondo i diversi corpi. Questi spazii che sono stati chiamati *pori*, sono generalmente pieni d'aria, d'acqua o di qualche altro fluido, come apparisce da tante circostanze. È noto in fatti che moltissimi corpi, come i mattoni, le stoviglie, i legni, quantunque secchi all'esterna superficie, perdono nondimeno una quantità di peso nel prosciugarsi o disseccarsi, il che è l'effetto dell'evaporazione dell'acqua contenuta nel loro interno: e le bolle d'aria delle quali si vede coperto un pezzo di zucchero gettato nell'acqua, sulla superficie della quale compariscono, indicano che l'aria è rimossa dal liquido che s'introduce nei pori dello zucchero.

In alcuni corpi, come metalli, vetri, marmi, ec., la porosità non si manifesta sensibilmente, come nello zucchero, nelle stoviglie, ec.; ma apparisce chiaramente, se si osservi che questi corpi crescono di volume per effetto del calore, o si contraggono per effetto del freddo; dal che resulta che le loro molecole non erano a perfetto contatto, perchè possono o più o meno essere ravvicinate fra loro. E di più, applicando una forte pressione sopra uno di questi corpi immersi in un liquido, possiamo assicurarci, che il liquido penetra nei corpi, senza produrre alcuna apparente rottura.

Si chiama *massa* di un corpo, la somma totale delle parti materiali che esso contiene; e questa somma totale, considerata sotto un volume dato, è ciò che si chiama *densità*; sicchè la densità è il rapporto della massa al volume (1).

5. *Della Divisibilità.* Qualunque corpo palpabile (2) può dividersi in parti; queste possono pure suddividersi in parti più piccole, finchè per successive divisioni si ottengano particelle insensibili. Maravigliosi sono gli esempj della divisibilità della materia. Un centigrammo d'indaco tinge di color blù molto intenso 10000 grammi d'acqua; ma ciascun grammo può facilmente dividersi in 1000 parti, sicchè un centigrammo d'indaco è divisibile in

e mossa, e l'atto della divisione e del moto: nel primo senso queste proprietà sono sicuramente conseguenze dell'esistenza della materia, della quale non si può concepire l'idea senza considerarla divisibile e mobile; non così nel secondo; perchè può concepirsi l'idea della materia anco non divisa e in quiete.

(1) Siccome un corpo è tanto più denso, quanto ha più massa sotto minor volume, e viceversa, così si dirà che la densità d è in ragione diretta della massa m , e inversa del volume v ; ossia $d = \frac{m}{v}$.

(2) A tutto rigore questa possibilità di divisione è propria di tutti i corpi anco non palpabili; ma qui si contemplano specialmente i corpi che fanno impressione sull'organo del tatto propriamente detto.

100 milioni di parti. L'odorato, anco più della vista ci prova la gran divisibilità della materia. Una sola goccia d'essenza di terebinto sparge il suo odore in un vasto appartamento: l'odore di una sostanza, conosciuta sotto il nome di muschio (1), si fa sentire in una stanza anco vasta per molti anni, senza che scemi sensibilmente il peso di tal sostanza, a mal grado che continuamente si rinnovi nella stanza l'aria, la quale porta seco le particelle odorifere di cui è piena la stanza medesima.

Una gran prova della divisibilità della materia si deduce pure dalla duttilità e dalla malleabilità dei metalli. Il battiloro riduce l'oro in foglie tanto sottili, che il minimo soffio basta a metterle in moto; e tanto questo metallo quanto il platino si riducono per mezzo della filiera a fili sottilissimi; sicchè con un grammo solo di uno di questi metalli, si può formare un filo di molte migliaia di metri di lunghezza.

E a questo proposito, è qui da notarsi l'ingegnoso processo immaginato da Wollaston, per dare ai fili di platino un grado tale di sottigliezza, che non si sarebbe mai potuto ottenere con gli ordinarii processi delle filiere. Questo processo consiste nel fissare nell'asse di un tubo voto un filo di platino già assottigliato; e coprirlo d'argento, col versarvelo in stato di fusione. Quindi si passa nuovamente per filiera questo filo così coperto d'argento; si scioglie poi l'argento per mezzo dell'acido nitrico, e il filo di platino resta intatto. Nel trattato dell'Ottica vedremo il vantaggio di questi fili.

6. *Dell'Inerzia.* Tutti i corpi perseverano nello stato di moto o di quiete in cui si trovano; e questa loro incapacità di cambiare il proprio stato, si chiama inerzia. Questa inerzia, nello stato di riposo (2), apparisce naturalmente e costantemente, giacchè nessuno ha mai visto un corpo in riposo mettersi in moto da se. Nè meno visibile apparisce l'inerzia nello stato di moto, nel corso dei Pianeti; poichè nella velocità del moto della Luna intorno alla Terra, nè in quella della Terra intorno al Sole è accaduto mai il minimo cambiamento. Che se sulla superficie della Terra non vediamo i corpi lasciati a se stessi, conservare lungamente le velocità che hanno acquistate, ciò dipende dall'aria e dagli altri corpi, che con la lor resistenza distruggono il moto

(1) Questa sostanza si cava dal *moschus moschiferus*, il quale ha nell'ombellico un sacco ovale, pieno di tal materia. Questo animale, simile al Capriolo, vive solitario nelle parti elevate dell'Asia, della Siberia e della China. Solamente il maschio contiene questa sostanza, la quale è migliore in quelli che abitano nel Tibet, a motivo dei pascoli.

(2) In sostanza, non consideriamo lo stato di riposo se non per effetto d'astrazione, poichè in tutto l'Universo non v'è una sola molecola in quiete. La Terra e i Pianeti si muovono intorno al Sole, e il Sole medesimo si muove intorno al suo asse.

di essi. I pianeti poi, perchè si muovono nel voto, conservano le stesse velocità che in loro furon impresse in principio (1).

(1) Che nelle regioni sopratmosferiche esista voto perfetto, sembra non potersi ammettere, giacchè le rivoluzioni della Cometa d'Encke, calcolate nella supposizione del voto perfetto, o almeno tale da non presentare resistenza sensibile, non combinerrebbero con le osservazioni; mentre combinano ammettendo un fluido alquanto resistente, a cui vien dato il nome d'*etere*.

Due altre proprietà di alcuni corpi meritano d'esser considerate, perchè frequentemente abbiamo luogo in Fisica di osservarle nell'andamento dei fenomeni. Queste sono la *compressibilità* e l'*elasticità*.

La *compressibilità* è quella proprietà che hanno alcuni corpi di poter esser ridotti ad un minor volume apparente. E qui si avverta, che per *volume apparente* si intende lo spazio apparente limitato dalla forma esteriore d'un corpo; mentre si chiamerebbe *volume reale* lo spazio che realmente sarebbe occupato dalla sostanza del corpo, o dalla massa di materia, se non esistessero pori; sicchè sottraendo il volume reale dal volume apparente, avremmo precisamente il volume totale di tutti i pori presi insieme. Del resto, si sa che i tessuti molto porosi sono nel tempo stesso molto compressibili: così la spugna può ridursi a un terzo, a un quarto e anco a un decimo del suo volume apparente. La carta, la seta, il legno e tutti i tessuti nei quali possono penetrare i liquidi, son pur capaci di scemar di volume, e perdere per la compressione i fluidi o i liquidi che contengono. I metalli, possono esser compressi fino a ricevere qualunque impressione; e da ciò è derivato il vantaggio delle medaglie, delle monete, ec. Tutti i fluidi aeriformi son suscettivi della maggior compressione, e quindi sono i più capaci d'esser ridotti a minor volume, come vedremo nell'uso dello schioppo e dell'accendilume pneumatici.

I liquidi sono in generale molto meno compressibili anco dei solidi: l'acqua, per esempio, premuta con la più energica potenza in un cannone di metallo, che abbia le pareti grosse tre pollici, fa scoppiare il cannone prima d'essere scemata $\frac{1}{50}$ del suo volume. Infatti essa non si comprime se non $\frac{48}{100000}$ per ciascuna atmosfera mentre sarebbe necessaria una forza di mille atmosfere per rompere; un cilindro di bronzo grosso tre pollici.

L'*elasticità* è la proprietà di quei corpi che, dopo cessata la causa che li comprime, ritornano alla loro primiera forma e figura, la qual proprietà si dice anco *elaterio*. L'*elasticità* è perfetta, quando il corpo torna esattamente allo stato di prima in un tempo eguale a quello che fu necessario per cambiarglielo. La luce e i fluidi aeriformi son quei corpi che più si avvicinano a questa perfezione d'*elasticità*. Fra i solidi i più elastici sono l'avorio e l'acciaio. Se sopra un piano duro e levigato si sparga un sottile strato d'olio o un poco di finissima polvere, e vi si lasci cadere naturalmente una palla di avorio, essa rimbalza, e risale fino al punto di dove cadde, il che è una prima prova della sua *elasticità*. Inoltre, guardando il punto del piano dove essa ha battuto, vi si trova un'orma visibilmente estesa, è ciò tanto più, quanto più energico è stato l'urto: ma la palla, comechè sferica, non può toccare il piano che con un punto; dunque nell'urto si è compressa e schiacciata, e poi, al pari d'una vescica piena d'aria, è tornata alla sua prima figura. Il fenomeno stesso si osserva nelle lame d'acciaio, nelle corde di metallo o d'intestini secchi, le quali vibrano, ossia tolte dalla situazione in cui si

7. *Dell' Attrazione.* In molte circostanze si vedono i corpi portarsi gli uni verso gli altri, senza che comparisca alcuna causa

trovavano, vi tornano dopo maggiore o minor numero d'oscillazioni, quando cessa la causa vibrante.

E qui si osservi, che il ritorno alla primitiva figura, indica due forze eguali e contrarie, cioè una dall' esterno all' interno, che è la *forza di compressione*, e l'altra dall' interno all' esterno, che è la *forza di restituzione*. Vediamone un esempio.

Fissati due fili ad un telaio, alle loro estremità si attacchino due palle di massa eguale M, M' , in modo che restino a contatto, e per maggior chiarezza supponiamole prima corpi *duri*. Se si allontanano M , e quindi si lasci libera, essa anderà a colpire M' in quiete, e le comunicherà una porzione del suo moto, sicchè dopo l' urto andranno ambedue con la stessa velocità per la stessa direzione, secondo il principio che si dimostra in Meccanica, che nell' urto dei corpi le *forze son proporzionali ai prodotti delle masse per le velocità*. Ora ad M, M' si sostituiscano due palle elastiche parimente eguali, m, m' . Dopo un urto simile al precedente, m comunicherà primieramente ad m' tal forza, che ambedue dopo l' urto dovranno andare con una velocità comune, secondo la legge indicata di sopra; sicchè se m partiva con una velocità di 6° , e incontrava m' in riposo, dopo l' urto m avrà perduti 3° , e altrettanti ne avrà guadagnati m' . Nel momento dell' incontro, questi corpi sono arrivati al massimo grado di compressione: ma a un tratto nasce l' elasticità o forza di restituzione in ambedue; dunque m' sarà spinto dall' elasticità di m nel senso della tendenza comune; e perchè questa forza è eguale a quella di compressione, m' guadagnerà di nuovo altrettanta forza, cioè altri 3° , e quindi si muoverà con 6° ; mentre al contrario la palla m sarà respinta indietro dall' elasticità di m' , e perderà anco i 3° di forza che le erano rimasti, e quindi dovrà restare in riposo.

L' apparecchio con cui si eseguisce questa esperienza fu imaginato da Newton. Mariotte lo amplificò, per presentare un' applicazione più estesa del fenomeno. Dispose più palle A, B, C, D , ec. elastiche, di massa eguale, e a contatto l' una con l' altra, e con i centri sulla stessa linea, e sospese come nell'apparecchio precedente, se si allontanano una di esse per un arco, per es., di 6° , lasciandola poi a se stessa, nell' urtar che farà nella palla B , tutte le intermedie resteranno in riposo, e solamente l' ultima si muoverà per un arco di 6° . Ciò è chiaro dopo il precedente esperimento, perchè A comunica tutto il suo moto a B , e resta in riposo; B lo comunica alla contigua C , ec., e finalmente l' ultima, non avendo a chi comunicarlo, si muove con tutta la forza della prima. Se si ripeta il fatto, allontanando due palle in vece di una, le ultime due si muoveranno; se si allontanano le prime tre, si muoveranno le ultime tre, ec.

Del resto, accenniamo soltanto alcuni dei fatti principali che dimostrano alcune proprietà dei corpi, perchè serviranno di lume per intendere fenomeni simili relativi a corpi che non possiamo assoggettare ai sensi, come facciamo dei solidi; ma non ci impegniamo in nessuna dimostrazione calcolata, perchè ciò appartiene alla Meccanica propriamente detta, e per non allontanarci dal piano dell'Autore.

L' elasticità è minore nei liquidi, perchè meno compressibili: finalmente è quasi nulla nei corpi molli, come burro, argilla umida, ec.

Nella maggior parte però dei corpi elastici l' elaterio si indebolisce per l' uso o per una compressione continuata per troppo tempo. Un arco tenuto teso lungamente, conserva in fine un poco della curva

sensibile di tal moto; e questa tendenza scambievolmente è stata chiamata attrazione. Si tenga fermo però, che con questo vocabolo si esprime il fatto e non la causa.

Se questa attrazione accade fra corpi posti a insensibili distanze, si chiama *attrazione molecolare*, di *affinità*, di *coesione*; e per essa si spiegano i fenomeni chimici e non pochi fenomeni fisici. Se accade a distanze considerevoli, si chiama col termine speciale di *gravitazione*. Tale è l'attrazione del Sole su tutti i corpi dell' Universo (1), e reciprocamente quella di tutti i corpi sul Sole. L'intensità di questa attrazione è in ragione diretta delle masse, e in ragione inversa dei quadrati delle distanze. L'attrazione totale di un corpo, deve esser la somma delle attrazioni particolari di tutte le molecole che lo compongono. In quanto alla legge, secondo la quale l'intensità varia di forza al variare delle distanze, Newton la scoprì cercando lo spazio che percorrerebbe la Luna in un istante determinato, se la Terra esercitasse liberamente sopra di essa la sua azione; e paragonando questo spazio con quello che nel medesimo istante percorrono i corpi presso alla superficie della Terra, trovò che l'intensità della gravità o dell'attrazione della Terra, scemava in ragione

che acquistò nella tensione, che equivale alla compressione; il crine, la piuma, la lana che continuamente servono ai nostri usi, perdono in fine il loro elaterio, che però si può a questi corpi far riacquistare, togliendoli da quello stato di compressione.

Ma se certi corpi perdono la loro elasticità, altri ve ne sono ai quali è facile comunicarla. Così si accresce l'elasticità dei metalli o battendoli *a freddo*, o per mezzo di una mescolanza, giacchè la lega di due metalli è più dura, più rigida e più elastica dei metalli semplici che entrano nella composizione; e quindi la *tempera*, la quale consiste nel riscaldar vivamente l'acciaio, e raffreddarlo poi ad un tratto, tuffandolo nell'acqua freddissima, accresce l'elasticità di questo metallo, e lo rende sì opportuno nelle manifatture e nelle arti.

Del resto tutte le proprietà dei corpi, come osserva l'A., si riducono all'*estensione* e all'*impenetrabilità*, delle quali i primi giudici sono la vista e il tatto. La porosità, la divisibilità, ec. dipendono dall'estensione, o sono piuttosto una modificazione di quella; e la mobilità e l'inerzia non sono che espressioni indicanti l'indifferenza perfetta della materia per la quiete e per il moto. Dunque tali proprietà possono con più rigore qualificarsi col titolo di *contingenti*. Il carattere dei corpi dedotto dall'estensione è evidente per se stesso. Quando noi tocchiamo o vediamo un corpo, questo corpo, o meglio, la facoltà che esso ha di agire sopra i nostri sensi, risiede in certe parti dello spazio e non in certe altre; dunque il luogo dove essa risiede è determinato, e per questo appunto è *esteso*.

Quando due porzioni diverse dello spazio hanno tutte le proprietà che qualificano per noi i corpi, l'esperienza prova, che esse non possono mai identificarsi l'una nell'altra, in modo che i medesimi punti fisici dello spazio producano in noi nel tempo stesso la sensazione di due corpi, e in ciò appunto consiste l'*impenetrabilità*.

(1) Ossia, per maggiore esattezza, su tutti i corpi del suo *sistema*.

del quadrato della distanza. Non sembrano opportuni in questo luogo i calcoli sublimi che condussero Newton alla scoperta di questa bella legge della Natura (1).

(1) Consideriamo un momento l'Attrazione molecolare, non chimicamente, ma solo relativamente agli effetti fisici che da essa dipendono.

1.^o Se si applichino una sull'altra due lastre di marmo o di vetro ben levigate, e si facciano strisciare fra loro perchè si riducano a più perfetto contatto, si osserva che restano fortemente unite fra loro, dimanierchè per separarle sarà necessaria una forza più o meno considerevole. In questo caso, ciascuna delle due superficie avendo molti punti che si mettono a contatto o quasi a contatto con i punti corrispondenti dell'altra superficie, ne risulta una somma d'attrazioni; e questa forza è detta propriamente *adesione*. Nè si dica che l'aria contribuisce a tenere unite queste due superficie, perchè il fenomeno apparisce egualmente anco nel vuoto. Di più questi corpi oppongono alla loro separazione una maggior resistenza, quando il contatto è stato prolungato; dal che apparisce che l'azione prolungata della forza attrattiva produce nelle molecole certe piccole oscillazioni, sicchè le parti salienti di ciascuna superficie si collocano negli'interstizii dell'altra, e quindi nasce un contatto più perfetto fra esse.

Se si distende sulle due superficie qualche goccia d'una materia grassa, prima di applicarle una sull'altra, l'adesione sarà anco più forte, poichè le molecole di tal materia servono alle due superficie come di legame comune, per le attrazioni che esercitano su ciascuna di esse; e riempiendo in certo modo i piccoli pori delle medesime, le rendono più unite, e quindi capaci di più perfetto contatto.

Se per separare queste due superficie aderenti, si diriga la forza perpendicolarmente, si prova la massima resistenza; mentre se si fanno lentamente strisciare l'una sull'altra, si separano con la massima facilità. Nel primo caso la resistenza è eguale alla somma delle attrazioni reciproche di tutte le molecole a contatto, sicchè per ottenere questa separazione bisogna vincere tutte queste attrazioni con un unico sforzo: nel secondo caso al contrario la separazione si ottiene per così dire a poco a poco con azioni successive, ciascuna delle quali toglie una piccolissima porzione di molecole alla forza attrattiva che le tiene unite.

Lo stesso fenomeno si osserva fra superficie solide e liquide.

2.^o L'azione d'affinità fra le molecole componenti i corpi solidi si dice *coesione*. Una semplicissima osservazione ci fa rilevare il modo con cui opera questa forza. Un piccolo frammento separato da una massa di metallo o di pietra, non resiste meno allo sforzo che si fa con la lima per dividerlo in parti più piccole, che quando esso faceva parte del corpo; dunque il resto della massa non contribuisce nulla alla forza con cui le particelle del frammento son coese fra loro.

Questa forza, come è chiaro, diverrà tanto maggiore, quanto più saranno vicine fra loro le molecole del corpo; e vice-versa. Quindi è che ove non potremmo facilmente servirci d'una massa di loto per le nostre fabbriche, rendiamo più compatta questa massa per mezzo della cottura, in virtù della quale evapora tutto l'umido interno; e così le molecole si avvicinano per la forza d'affinità non più impedita da un corpo intermedio. Il corallo è pianta molle quando si estrae dal mare; ed esposto poi all'aria o al Sole, diventa consistentissimo: molle pure è l'ambra, che poi diventa dura dopo essere stata esposta all'aria, ec.

3.^o Dalla coesione delle molecole fra loro dipende la *tenacità*

Una sfera attrae un punto materiale, posto sulla sua superficie o fuori di essa, con tale intensità, come se tutta la materia

dei corpi, la quale si prova specialmente in corpi d'una certa lunghezza, e consiste nella resistenza che essi oppongono alla rottura. la Meccanica si prova, che tal forza, in sostanze eguali, è in ragione dei quadrati delle grossezze, delle larghezze, e inversa delle lunghezze. Per esempio, un filo di lino, grosso quanto un crine di cavallo, e lungo un piede, regge $Q \approx \frac{1}{2}$ incirca: ora 7000 di questi fili, che formano la grossezza d'un pollice, reggeranno $Q \approx 7000 \times 3 \frac{1}{2} = 24500$, e però si dice che reggerà al furore delle procelle, perchè una nave da guerra può portare 260000 Q di peso (Muschembroeck, *Experim. Phys. Introd. ad cohaer. corpor. armor.*, Cap. 2, prop. VIII,).

E siccome il suddetto filo di lino pesa 2 grani, così si saprà la lunghezza x d'un simil filo, perchè si rompa da se per effetto del suo proprio peso, giacchè gr. 2 : 1 Pi. :: $Q \approx 3 \frac{1}{2}$ (= gr. 2419) : x in tal modo da se, dovrebbe esser lungo B.^a 4801. Con simili esperimenti i PP. Le Seur, Jacquier e Boscovich unitamente al Poleni, per determinare la forza delle due catene con le quali nel 1742 si dovea fasciare la cupola di S. Pietro di Roma, stabilirono il celebre teorema: « La forza o peso con cui una catena circolare omogenea e uniforme grossa può esser dilatata e stirata fino al punto di rompersi, sta alla forza o peso che essa sosterrrebbe verticalmente se fosse distesa in verga dritta, come la periferia della catena sta al suo raggio. » In generale per le catene di ferro si può osservare, con l'Autore *Della Pratica*, ec., che debbon essere di tante libbre per braccio, quante sono le braccia della lunghezza della catena, la quale perciò, supposta di B.^a 12, sarà formata di ferro unito e di buona fibra in modo che ogni braccio pesi $Q \approx 12$, senza i paletti, le biette, ecc.
Per i fili metallici, ecco i principali risultamenti d'alcune esperienze di Muschembroeck.

Grossezza dei fili	Rame	Oro	Argento legato con rame	Ferro	Ottone	Stagno	Piombo
d'1 lin.	300	500	380	450	360	50	30
$\frac{3}{4}$ si rompe con	200	350	270	310	260	36	20
$\frac{1}{2}$	130	240	180	230	180	24	13
$\frac{1}{4}$	80	150	110	130	112	13	8

Dalla qual tavola si rileva, che per essere i quattro fili d'ogni metallo nelle regioni di 4, 3, 2, 1, le resistenze son quasi nella ragione semplice delle grossezze; sicchè per raddoppiar la resistenza d'uno di tali fili, basta solo raddoppiar la grossezza.
In quanto alle travi, se due sieno lunghe egualmente, e una sia grossa e larga 12 pollici, e un'altra grossa 14 e larga 10, la tenacità

di cui è composta, fosse riunita nel suo centro. Con la Geometria si dimostra questa verità, che noi ammetteremo come un fatto,

della prima sta alla tenacità della seconda, come $12^3 \times 12 : 14^3 \times 10$, ossia $1728 : 1960$, cioè la seconda è più tenue della prima, perchè più grossa, quantunque meno larga; sicchè nei legni, a differenza dei fili metallici, le resistenze sono in ragione duplicata delle grossezze. Per la pratica, nell'uso delle travi, queste soglion farsi di

Lunghezza		Larghezza		Grossezza	
B. ^a	6	Soldi	9	Soldi	11
	9		11		14
	12		13		17
	15		15		19
	18		18		21
	21		20		22

4.^o Dalla forza di coesione dipende pure la *durezza*, ossia la resistenza che un corpo oppone alla separazione delle sue molecole. Un corpo si dice tanto più *duro*, quanto più resiste all'*attrito* d'un altro corpo duro, come una lima d'acciaio; o quanto più un altro corpo resiste all'attrito di quello. Infatti i lavoratori di pietre dure giudicano della durezza d'una pietra o di qualunque altro corpo che appartenga all'arte loro, dalla difficoltà che incontrano nel levigarlo, presentandolo all'azione della ruota. Il diamante è il più duro di tutti i corpi conosciuti; e le faccette artificiali per cui brilla la vivacità de' suoi riflessi, sono opera del diamante stesso, col quale soltanto o sodo o in polvere può esser tagliato e levigato.

Abbiamo indicato l'attrito piuttosto che la *percossa* come una certa misura della durezza dei corpi, perchè la resistenza che questi oppongono alla prima di queste forze, non è sempre indizio di quella che son capaci d'opporre alla seconda. Il vetro infatti, quantunque più duro del legno, cede alla percossa più facilmente di quello; e il diamante medesimo si divide a forza di martello, mentre altri corpi non cedono a questa forza. Tal proprietà di alcuni corpi di cedere più facilmente alla forza di percossa par spezzarsi, è stata indicata col nome di *fragilità*; e però non si deve confondere l'idea dei corpi *fragili* con l'idea de' corpi *teneri*, i quali sono in opposizione con i corpi *duri*. Non v'è forse un corpo, la fragilità e durezza del quale sieno più fortemente in contrasto fra loro, quanto una pietra verdastra, trasparente e molto luminosa, che si trova al Perù, chiamata *euclasia*, la quale mentre oppone moltissima difficoltà a lasciarsi levigare, si divide in schegge in un modo maraviglioso, per effetto d'una leggerissima pressione.

Non v'è alcun metallo che sia durissimo, ma con l'arte se ne può aumentar la durezza. Col ferro convertito in acciaio si fanno strumenti che intaccano i corpi più duri: un aumento di stagno indurisce talmente il rame, che con questa lega posson farsi strumenti moltissimo taglienti.

5.^o Una modificazione della coesione e la *duttilità*, che è quella proprietà che hanno alcuni corpi, e specialmente i metalli, di distendersi in larghezza, per effetto di pressione o di percossa, e in lunghezza per mezzo della filiera o dei laminatoi: nel primo caso si chiama anco *malleabilità*, e il secondo caso si riferisce alla te-

e che dall'altra parte è ben facile a comprendersi. Sia pertanto un punto a (fig. 1) posto fuori dell'inviluppo $dd'hk$. Se supponiamo tutta la materia riunita nel centro, la diminuzione dell'intensità prodotta dall'allontanamento, relativamente al punto a , delle parti materiali della metà $dd'h$, sarà compensata dalla diminuzione della distanza di quelle contenute nell'altra metà $dd'h$; e poichè una sfera può considerarsi come la riunione di infiniti inviluppi sferici, questa proposizione apparirà chiara anco a chi sia privo delle elementari nozioni del calcolo.

Due corpi posti presso alla superficie della Terra, non manifestano alcun moto sensibile l'uno verso l'altro, perchè l'attrazione preponderante della Terra stessa, rende nullo l'effetto della loro attrazione scambievole. Possiamo peraltro render sensibile qualunque attrazione fra i corpi, per mezzo di un apparecchio ingegnosamente immaginato nel 1798 da Cavendish.

nacità. Vi sono alcuni corpi *duttili a caldo e a freddo*; e tali sono i metalli: alcuni altri, come il vetro, acquistano la duttilità per mezzo del calore: altri finalmente, come l'argilla, divengono duttili per l'interposizione d'un liquido fra le loro molecole.

Questa proprietà che è utilissima nei metalli quando si tratta di estenderli o di applicarli sulla superficie dei corpi, come si fa dell'oro che è il più duttile d'ogni altro metallo, diviene anzi un ostacolo quando questi si adoperano in massa, in stato naturale. Gli oggetti così lavorati avrebbero qualche volta poca consistenza, e sarebbero sottoposti a perdere la forma e la levigatezza ricevuta dalla mano dell'artefice: ma si rimedia ad un tale inconveniente, mescolando in *lega* col metallo che si lavora un altro metallo, le molecole del quale, interposte fra quelle del primo, le connettono più fortemente fra loro. Per mezzo di questa lega le arti giungono a rendere i metalli e più duri e più sonori, ne modificano le proprietà, e li trasformano in altri intermedi, adattati ciascuno ad un uso particolare.

Una volta sulla diversa duttilità dei metalli si fondava la loro divisione in *metalli interi*, cioè duttilissimi, e in *semi-metalli*, cioè poco duttili; ma una tal divisione non è retta, perchè la duttilità passa più o meno per gradazioni impercettibili, e dipende anco dalla maniera con cui si fa agire la forza meccanica, perchè un metallo che si rompe sotto i colpi del martello, può distendersi benissimo fra i cilindri del laminatoio, senza perdere la sua continuità.

Paragonando ora l'elasticità, la duttilità e la durezza nei sei principali e più comuni metalli, si trova che l'elasticità e la durezza seguono lo stesso ordine; e l'ordine con cui si succedono i metalli, relativamente a queste due qualità, cominciando da quello che ne è più dotato, è il seguente, *ferro, oro, rame, argento, stagno, piombo*. La duttilità, relativamente ai quattro primi metalli, segue l'ordine inverso di quello delle altre due proprietà, e l'ordine è questo: *oro, argento, rame, ferro*. Relativamente poi a tutte e tre queste proprietà riunite, lo stagno occupa il quinto posto, e il piombo il sesto; sicchè questi due metalli sono i più teneri, i meno elastici, e i meno duttili di tutti; e questa differenza di duttilità può derivare egualmente e dalla gran forza di coesione fra le molecole dei corpi duri, e dalla facilità con cui questa coesione può venir rotta totalmente nei corpi teneri.

La parte principale d'un tal apparecchio è una leva orizzontale, sospesa ad un filo metallico verticale non torto (*fig. 2*): la leva termina alle due estremità con due piccole palline metalliche; e molto vicino ad ognuna di esse è situato un globo di piombo di un piede di diametro incirca, in modo che l'uno e l'altro cospirino a far girare le due braccia della leva per lo stesso verso. Ben disposto l'apparecchio, l'azione dei globi di piombo sulle piccole palline apparisce per mezzo di un moto sensibile impresso alla leva.

Cavendish, conoscendo il volume e la densità delle palline e dei globi di piombo, e il volume del globo terrestre, paragonando il moto della leva col moto che la gravità imprime ad un pendolo, poté dedurne la densità media del globo terrestre, che trovò eguale a 5,5.

8. *Della Gravità.* Non v'è alcun corpo presso alla superficie della Terra, che non comparisca dotato di gravità, cioè della proprietà di precipitarsi verso il centro della Terra. Questa proprietà non è una condizione essenziale all'esistenza dei corpi; nondimeno, poichè la gravità sempre accompagna la materialità, l'esistenza dell'una basta per farci dedurre l'esistenza dell'altra. Così non possiamo nè vedere nè toccare l'aria atmosferica; ma dobbiamo pur supporla una sostanza materiale, perchè è pesante, e perchè produce tanti fenomeni simili a quelli che son prodotti da corpi di indubitata materialità (1).

Del Moto

9. Si chiama mobilità la facoltà che ha un corpo di essere trasportato da un luogo in un altro. Questa proprietà appartiene a tutti i corpi della Natura, giacchè non v'è corpo che non possa esser messo in moto da una causa qualunque, che si chiama *forza*.

Il più semplice fra tutti i moti è quello in linea retta, e nel quale la velocità, ossia lo spazio percorso nell'unità di tempo, è costante (2). Il moto d'un orologio ben regolato è

(1) Importa osservare qual differenza passa fra la *gravità* d'un corpo, e ciò che propriamente si chiama *peso* d'un corpo. La gravità si misura dalla velocità che essa imprime in ciascuna molecola d'un corpo, velocità che è indipendente dal numero delle molecole di cui esso è composto, perchè è la stessa per ogni molecola o sia sola o faccia parte d'un aggregato: il *peso* poi d'un corpo si misura dallo sforzo che bisogna fare per sostenerlo e per impedirne la caduta, e quindi esso è tanto più considerevole, quanto maggiore è il numero delle molecole che compongono il corpo medesimo, dotate della medesima velocità. Quindi la vera espressione del peso è il prodotto della massa per la velocità. Ciò rende anco più facile a comprendersi la caduta dei gravi (n.º 11).

(2) L'idea della velocità in sostanza è un'idea composta, giacchè re-

uniforme; gli spazii percorsi dalla lancetta in tempi eguali, son sempre eguali. Nel moto uniforme lo spazio percorso è eguale alla velocità moltiplicata per il tempo; e questo moto si esprime con la formola $S=VT$.

La velocità può esser variabile; ed è questo il caso del moto vario. Nel moto uniformemente variato, che è il solo moto che noi qui consideriamo, la velocità cresce o scema di quantità eguali in tempi eguali; e le forze che producono questa specie di moto, si chiamano forze acceleratrici o ritardatrici. Nel caso del moto uniformemente accelerato, se il corpo è spinto in principio da una velocità rappresentata da A , e se in ciascuna unità di tempo la forza acceleratrice aggiunge a questa velocità una quantità costante g , essa diverrà successivamente $A+g$; $A+2g$. . . $A+Tg$, il che esprime che la velocità cresce in proporzione dei tempi.

10. Vediamo come cresca lo spazio, relativamente ai tempi, supponendo nulla in principio la velocità, ossia $A=0$. Sia AF (*fig. 3*) la linea che rappresenta il tempo, divisa in un certo numero di parti eguali fra loro e all'unità di tempo. Supponiamo che le linee Bd , Cm , Dl . . ., alzate perpendicolarmente sulla linea AF , rappresentino le velocità acquistate dopo ciascuna unità di tempo; in tal caso lo spazio totale percorso, sarà la somma degli spazii parziali. Si potrà sempre prendere un'unità di tempo tanto piccola, che la velocità sia sensibilmente costante; e lo spazio percorso in questo caso, sarà il prodotto del tempo per la velocità. Se ora il mobile riceva nel principio del suo moto le celerità Bp , Cm , Dl , ec., che esso non ha acquistate se non alla fine di ciascuna unità, lo spazio totale percorso sarà la somma dei rettangoli $ABpn$, $BCmz$, $CDlx$, ec. E se al contrario si supponga, che esso in ciascuna unità di tempo si muova con la velocità che ha fin dal principio, allora la somma degli spazii percorsi sarà zero, $BCpq$, $CDrm$, ec. La prima supposizione dà un resultamento troppo grande, e la seconda troppo piccolo; la differenza pertanto sarà tanto minore, quanto minore sarà l'unità di tempo. Dall'altra parte si vede, che il loro limite è il triangolo AFH ; e quindi lo spazio percorso nel tempo AF ,

sarà $\frac{AF \times FH}{2}$; e poichè FH è la velocità finale eguale a Tg , l'e-

2

sulta dall'idea dello spazio percorso da un corpo e da quella del tempo che questo impiega a percorrerlo; e un corpo è tanto più veloce nel suo moto, quanto è maggiore lo spazio che percorre in un dato tempo; quindi la velocità sarà in ragione diretta dello spazio, e inversa del

Tempo; ossia $V \propto \frac{S}{T}$: di qui si ha $S=VT$.

spressione dello spazio percorso diverrà $\frac{T \times Tg}{2} = \frac{gT^2}{2}$. Dunque

nel moto uniformemente variato, *gli spazii percorsi crescono come i quadrati dei tempi.*

Da ciò risulta, che le due formule del moto uniformemente variato sono $V = gT$, ed $S = \frac{gT^2}{2}$ (A). V è la velocità acquistata

dopo un certo tempo T ; S è lo spazio percorso nel medesimo tempo. Se dunque nella formula (A) si faccia $T=1$, avremo $g=2S$; cioè, nel moto uniformemente accelerato, *la velocità acquistata dopo l'unità di tempo, è doppia dello spazio percorso in questa unità.* Soltanto per maggior semplicità abbiamo supposta nulla in principio la velocità del mobile; e questo caso noi contempliamo precisamente, perchè fra poco ne vedremo un'applicazione nella caduta dei corpi.

Se la velocità non fosse nulla in principio, sarebbe cosa semplicissima il tener conto di una velocità impressa da un impulso primitivo. Sia A questa velocità: la velocità totale di un corpo, sottoposto nel tempo stesso a questo impulso e all'azione di una forza acceleratrice costante, dopo il tempo T , sarà $A + gT$. Per avere lo spazio percorso, bisognerebbe sommare i due spazii separati: ora in virtù dell'impulso primitivo, lo spazio percorso con moto uniforme, sarebbe AT : ma noi abbiamo veduto, che

la forza acceleratrice sola fa percorrere uno spazio $\frac{gT^2}{2}$; quindi

lo spazio totale sarebbe rappresentato da $AT + \frac{gT^2}{2}$.

In Meccanica si chiama *quantità di moto* il prodotto $M \times V$ della massa per la velocità; sicchè le quantità di moto di due corpi sono le medesime, se le loro velocità sono in ragione inversa delle loro masse. Inoltre una stessa forza applicata a corpi diversi, imprime in essi velocità che sono in ragione inversa di queste masse. Ciò verrà rischiarato con l'applicazione della macchina di Atwood (n.° 15).

Applicazione alla Gravità

11. Prima di Galileo si credeva, che la velocità comunicata a diversi corpi dalla gravità, fosse diversa secondo la natura e il volume di essi, deducendo tal'opinione dal vedere, che i corpi di maggior peso cadevano più rapidamente dei più leggieri: ma Galileo dimostrò, che tal differenza di caduta derivava dalla resistenza dell'aria. Lasciò pertanto cadere dalla cima del campanile di Pisa quattro palle d'equal volume, d'oro, di piombo,

d'avorio e di sughero, ed osservò che la palla d'oro la quale era più pesa, cadeva la prima, e la più leggiera di sughero cadeva l'ultima, ma con tal ritardo, che era tuttora quattro piedi distante dal suolo quando l'altra vi arrivava (1). Questo gran filosofo concluse con ragione, che tal ritardo non doveva attribuirsi ad una differenza d'azione nella gravità, ma bensì alla resistenza del mezzo a traverso del quale cadevano i corpi. La resistenza dell'aria è la stessa per tutte queste palle, perchè tutte presentano all'aria egual superficie; ma questa resistenza medesima, producendo una maggior diminuzione di velocità sui corpi più leggieri, essi a traverso dell'aria debbon cadere meno rapidamente.

Anco direttamente può verificarsi, che l'azione della gravità imprime la stessa velocità in tutti i corpi. Votato d'aria un tubo lungo sei piedi, se si facciano cadere in esso varii corpi di piombo, di legno, di carta ec., si vedrà che tutti cadono contemporaneamente: e se nel medesimo tubo si lasci rientrar l'aria a poco a poco, si vedrà che sempre più cresce la differenza di velocità di questi corpi.

12. Il moto dei gravi lasciati esposti liberamente all'azione della Terra, deve essere uniformemente accelerato; poichè in principio l'azione della terra è continua, quindi la sua energia è sensibilmente costante, poichè gli spazii percorsi presso alla superficie della Terra son piccolissimi, in paragone delle distanze di questi corpi dal centro di essa (a).

Un corpo libero, sottoposto alla sola azione della Terra, riceve ad ogni momento lo stesso impulso; la sua velocità cresce di quantità eguale, e il suo moto è uniformemente accelerato. Resta a provarsi questa verità per via di esperienze; ma due ostacoli si

(1) Quattro piedi è un poco troppo, secondo ciò che Galileo stessa asserisce (*Dialogo* 1.^o pag. 524), dicendo che « tra palle d'oro, di piombo, di rame, di porfido o di altre materie gravi, quasi del tutto insensibile sarà la disegualità del moto, che sicuramente una palla d'oro, nel fine della scesa di cento braccia, non preverrà una di rame di quattro dita ».

(a) Abbiamo già detto, che l'azione d'una sfera sopra un punto situato presso alla sua superficie è tale, quale sarebbe se la sua massa fosse riunita nel suo centro. La Terra (*fig. 4*) opera sopra un corpo m dalla distanza cm : se esso fosse sulla superficie in r , la distanza sarebbe cr ; sicchè chiamando g l'azione della Terra alla distanza cr , cioè sulla superficie, alla distanza cm diverrebbe $g \frac{cr}{(cr + rm)^2}$. Ora

poichè rm è piccolissima, relativamente al raggio della Terra, $\frac{cr}{cr + rm}$ è sensibilmente eguale all'unità. Dunque la forza attrattiva è prossimamente la stessa per tutte le osservazioni che facciamo in uno stesso luogo sulla superficie della Terra.

oppongono nell'eseguire sulla verticale esperienze dirette, cioè la resistenza dell'aria e la rapidità della caduta, in virtù della quale un corpo percorre nel primo minuto secondo uno spazio di $4^m, 9$ ossia $15^p, 1$, ai quali ostacoli però è facile rimediare. Si indebolisce notabilmente l'ostacolo prodotto dalla resistenza dell'aria, e si rende più facile l'osservazione del fenomeno, rallentando il moto del corpo che cade. Ora, è chiaro che la natura del moto accelerato è totalmente indipendente dal valore assoluto della forza acceleratrice, e dipende unicamente dalla continuità della sua azione e dalla costanza della sua energia.

13. Si faccia cadere, come operò Galileo, il corpo sopra un piano inclinato (*fig. 5*), sul quale la gravità, che nella verticale era g , sarà ridotta a $g \times \frac{AB}{AC}$, e in tal maniera si può rendere il moto più lento a piacere, per un piano più o meno inclinato. Dividendo la linea AC in parti eguali, e lasciando cadere il corpo dal punto A , primieramente per un secondo, quindi per 2, 3, ec. si vedrà che i numeri di divisioni percorse, sono come 1, 4, 9, 16..., cioè che gli spazii 1, 4, 9, 16... percorsi, sono proporzionali ai quadrati dei tempi 1, 2, 3, 4, ec. (prima proposizione verificata).

TAVOLA COMPARATIVA

dei risultamenti per la verticale e sopra un piano inclinato, del quale l'altezza AB è un sesto della lunghezza AC

TEMPI	SPAZII PERCORSI	
	verticale	piano inclinato
1"	$4^m, 9$	$0^m, 81$
2	$19, 6$	$3, 24$
3	$44, 1$	$7, 29$

14. Nel moto uniformemente accelerato la velocità cresce in proporzione del tempo. Vediamo se accada lo stesso nella caduta dei corpi. Se dopo un tempo qualunque la forza acceleratrice cessa d'agire, il corpo proseguirà a muoversi con una velocità, che nello stesso tempo gli farà percorrere uno spazio doppio di quello che aveva percorso fin allora, come facilmente si rileva dalle formule del n.° 10. La tavola precedente indica lo stesso rapporto: infatti lo spazio percorso in due secondi è composto dello spazio $0^m, 81$ percorso nel primo, e di uno spazio eguale percorso nel secondo minuto secondo, in virtù della medesima azione. Bisogna dunque che lo spazio percorso in virtù dell'effetto ignoto della celerità acquistata, sia eguale a 2 volte $0, 81$, poichè lo spazio to-

tale in due secondi è quadruplo di 0, 81. Se nello stesso modo si calcolino le velocità acquistate dopo 2, 3, 4, ec. secondi, si vedrà che esse seguono la progressione 2, 3, 4, ec., cioè, che *nella caduta dei corpi le velocità crescono come i tempi* (seconda proposizione verificata).

15. Athwood, celebre meccanico inglese, ha inventata una macchina (fig. 6), che serve per la dimostrazione sperimentale della legge della caduta dei corpi. La parte principale di questa ingegnosa macchina è un filo di seta, alle estremità del quale son fissate due masse eguali m, m' fra 300 e 400 grammi di peso. Il filo scorre nella scanalatura di una ruota, il moto della quale è reso facilissimo per mezzo di una disposizione particolare, che consiste nel far riposare il suo asse sopra altre ruote egualmente mobili: inoltre è fissato alla macchina un orologio H. Se si mettono in moto le due masse, spingendole, per esempio, con la mano, dopo cessata quest'azione, resteranno, in virtù dell'inerzia, nello stato di moto in cui furon poste, e il moto sarà necessariamente uniforme. Se in stato di riposo si aggiunga un peso ad una di queste due masse, l'azione della gravità operando sul peso aggiunto, lo determinerà a scendere, e di più gl'imprimerà un moto accelerato: ma poichè esso nel cadere deve portar seco le due masse alle quali è annesso, il suo moto sarà rallentato nel rapporto della sua propria massa alla somma attuale delle masse; sicchè se le due masse primitive sono eguali ad m , e quella del

peso aggiunto sia p , la velocità sarà ridotta al rapporto $\frac{p}{2m+p}$.

Con l'indebolire la velocità, si indebolisce l'influenza delle cause d'errore prodotte dalla resistenza dell'aria e dalla troppa rapidità di moto.

Con questo apparecchio si posson ripetere le esperienze che abbiamo indicate per il piano inclinato. Si proverà primieramente che *gli spazii percorsi son proporzionali ai quadrati dei tempi*; e si verificherà egualmente la progressione d'intensità delle velocità acquistate a diversi tempi del moto. Si fa pertanto il peso aggiunto di forma bislunga; questo peso fatto a lastra è più lungo del diametro di un anello a posto lungo il regolo verticale su cui si contano gli spazii, dimanierachè il peso aggiunto vien trattenuto da questo anello, e il moto diviene uniforme in virtù della velocità acquistata. In tal maniera si trova, che questa velocità è tale, che il corpo *in un tempo eguale a quello in cui il moto era stato accelerato, percorre uno spazio precisamente doppio*: e collocando l'anello in modo, che il moto uniforme venga prodotto successivamente dopo 2, 3, 4, secondi, si trova che le velocità sono assolutamente nello stesso rapporto.

costante, se non fosse nel tempo stesso soggetto all'azione della gravità; sicchè dopo il primo istante sarebbe arrivato ad una distanza m_1 , dopo il secondo ad una distanza doppia m_2 , e così di seguito. Lo stesso mobile, soggetto soltanto alla gravità, osserverebbe la legge ordinaria dell'accelerazione dei gravi: dopo il primo istante sarebbe sopra la linea mp ad una distanza m_1 ; dopo il secondo, alla distanza m_4 quadrupla; dopo il terzo, ad una distanza m_9 , nove volte maggiore, ec.: dunque in virtù delle due forze esso si troverà dopo la 1.^a 2.^a 3.^a ec. unità di tempo, in m' , m'' , m''' , ec.; e la serie di questi punti formerà una curva; la quale avendo le ordinate proporzionali ai quadrati delle ascisse, sarà la parabola.

Le bombe scagliate dall'esplosione della polvere, descrivono curve paraboliche: il punto più elevato H è l'altezza del getto; e lo spazio MK ne è l'ampiezza (fig. 10). Si osservi però, che la forma parabolica non è esattissima, perchè la resistenza dell'aria altera il moto del proiettile.

Della Forza centrifuga

20. Sia un punto materiale m (fig. 11.), attaccato ad un punto fisso c per mezzo di un filo inestensibile cm . Supponiamo inoltre che a questo punto materiale venga impressa una velocità qualunque nella direzione mF , perpendicolare alla lunghezza del filo. Se il punto m non è soggetto ad alcuna forza acceleratrice, descriverà un circolo, il centro del quale sarà in c , e il raggio sarà cm . In tempo del moto il filo proverà una tensione nel senso della sua lunghezza; e questa tensione appunto è la forza *centrifuga*. (1). Si può astrarre dal filo, e considerare il mobile come libero, se si applichi ad esso una forza eguale e contraria alla tensione. Dalla combinazione di questa forza *centrale*, e dall'effetto dell'impulso primitivo risulta appunto la descrizione del circolo.

La forza centrale, che chiameremo F , può riguardarsi come costante in grandezza e in direzione per un tempo infinitesimo θ ; così mentre il mobile percorre l'arco $m'm$, la forza centrale è parallela al raggio mc ; dimanierachè se la forza centrale agisse

(1) Diamo un'idea più chiara di questa forza *centrifuga*. Sia m il punto materiale spinto verso C da una forza rappresentata da mF , e nel tempo stesso sia attratto verso il centro C da una forza rappresentata da ms . È certo per le cose dette di sopra (n. 18), che il punto materiale m dovrà andare secondo la direzione della risultante mm' . Si prolunghi ora Cm e si prenda $mp = ms$, e si conduca pF ; $mm'Fp$ è un parallelogrammo, e si può dire che la forza mF è decomposta nelle due mp , mm' : ma mp è distrutta dalla sua eguale e contraria ms , dunque il corpo non potrà andare che per la direzione mm' . Questa forza mp è quella che si chiama forza *centrifuga*, ed è chiaro che in tutti i casi è uguale e contraria alla forza *centripeta* ossia centrale.

sola sul mobile, gli farebbe percorrere lo spazio ms . Ora dalla formula $S = \frac{gT^2}{2}$ del n.º 10, si ha $g = \frac{2S}{T^2}$: avremo dunque $f = \frac{2ms}{\theta^2}$:

ma per una delle note proprietà del circolo, $m = \frac{m'm^2}{2mc}$, quindi

sostituendo ad ms il suo valore, sarà $f = \frac{m'm^2}{\theta^2 mc}$, e poichè il moto

circolare è uniforme, $\frac{mm'}{\theta}$, ossia lo spazio diviso per il tempo, rap-

presenta la velocità. In questa circostanza si può prendere l'arco per la corda, a motivo della piccolezza dell'arco; dunque il va-

lore di f diventa $f = \frac{v^2}{r}$; cioè la forza centrifuga nel circolo è egua-

le al quadrato della velocità diviso per il raggio.

Con ciò si spiega perchè con un moto rapido impresso ad un filo terminato da una massa pesa, in fine il filo si rompe, se si accresca successivamente la velocità dell'impulso: nel tempo stesso si osserva, che un corpo in libertà sfugge per la tangente MF, come si vede appunto nella fionda.

Da tutto questo possiamo dedurre, che in qualunque curva, la forza centrifuga ha per misura il quadrato della velocità diviso per il raggio del circolo osculatore, perchè si può sempre supporre per un arco infinitesimo la coincidenza della traiettoria in ciascun suo punto col suo circolo osculatore nel medesimo.

Cerchiamo ora un'altra espressione della forza centrifuga, la quale non contenga la velocità, ma in vece vi sia introdotto il tempo T di una rivoluzione intera. Combinando l'equazione

$$f = \frac{v^2}{r} \text{ con l'altra } 2\pi r = vT, \text{ si trova } f = \frac{4\pi^2 r}{T^2} (a).$$

Quest'ultima espressione ci fa vedere, che la forza centrifuga è in ragion diretta del raggio, e in ragione inversa del quadrato del tempo impiegato per una rivoluzione intera.

Una tal'espressione ci sarà utile per la valutazione numerica della forza centrifuga in un punto qualunque della superficie della Terra.

21. Possono verificarsi per mezzo di esperienze gli effetti della forza centrifuga. Per esempio, si infilano in una bacchetta di metallo AB (fig. 12) alcune palle d'avorio, quindi si fa girare con

(a) Se T è il tempo necessario al mobile perchè esso percorra la circonferenza intera $2\pi r$, sarà $2\pi r = vT$, perchè il moto è uniforme: e sostituendo il valore di v preso da questa equazione nell'espressione

$$f = \frac{v^2}{r}, \text{ si avrà } f = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

forza l'apparecchio sopra un pernio CD, e si vede 1.° che una palla situata nel mezzo, vi resta in riposo, non ostante la rapidità della rotazione; in fatti se questa palla è esattamente nel centro, poichè le sue parti vengono spinte in senso contrario, le loro azioni debbono distruggersi: 2.° che una palla posta fuori del centro striscia lungo la bacchetta, e va ad urtare l'estremità di essa.

Una simile esperienza può farsi con i liquidi (*fig. 13*). ABC rappresenta un tubo di vetro piegato ad angolo, pieno in parte di liquido, il quale dalla forza centrifuga è spinto verso le estremità A e C. Inoltre, se vi si introducono corpi di densità diversa, come acqua, olio d'oliva, palle di piombo e di sughero, i corpi più pesi saliranno ai punti più alti del tubo (1).

22. La terra ha un moto di rotazione sul suo asse, e però i corpi situati sulla sua superficie partecipano di questo moto. Vediamo come la forza centrifuga indebolisce la gravità. Secondo l'ultima espressione (n.° 20), la forza centrifuga è proporzionata al raggio del circolo, se il tempo della rivoluzione è lo stesso. Da ciò risulta, che all'Equatore, ove il raggio è maggiore, più energica è la forza centrifuga, e quindi i corpi debbono avere una minor gravità, come appunto vien confermato dall'osservazione.

Il rapporto fra la forza centrifuga e la gravità all'Equatore, è soggetto di curiosa indagine. Il raggio della terra all'Equatore è eguale a 6376464 metri. Il tempo di una rivoluzione intera del Globo è 86,164 secondi (2): sostituendo questi valori e il valore di π (rapporto della circonferenza al diametro = 3,14159), abbiamo $f = 0^m,033g$. La forza centrifuga imprime nel primo secondo una velocità di $0^m,033g$: ora la velocità dedotta dalle osservazioni è $9^m,78$, ed è chiaro che questa non è che la differenza fra la gravità reale e la forza centrifuga. Aggiungendo adunque a questi $9^m,78$ il valore della forza centrifuga $0^m,033g$ avremo $9^m,813g$ per la gravità totale; e dividendo questo numero per $0,033g$, avremo per quoziente 289, il che fa vedere che all'Equatore la forza centrifuga è $\frac{1}{289}$ della gravità. Ma vedemmo che la forza centrifuga cresceva come il quadrato della velocità, dunque poichè 289 è il quadrato di 17, se il moto di rotazione della terra divenisse 17 volte più rapido, la forza centrifuga sarebbe 289 volte più considerevole, eguaglierebbe la gravità, e i corpi all'Equatore sarebbero senza peso. Così la gravità è combattuta dalla forza centrifuga

(1) Infatti per un teorema meccanico, che qui non è opportuno sviluppare, se sono eguali i tempi e le distanze dal centro, le forze centrifughe son proporzionali alle masse.

(2) Giacchè la rivoluzione della terra intorno al suo asse accade in 23^{ore} 56' 4".

In tutti i punti della superficie della Terra; ma quest' ultima forza scema dall' equatore ai poli, perchè il raggio del circolo descritto divien minore, e quindi perchè la forza centrifuga diviene sempre più obliqua alla direzione della gravità, la quale è sempre perpendicolare alla superficie della Terra (*a*).

In generale si attribuisce all' azione della forza centrifuga la forma della Terra e degli altri corpi celesti, i quali tutti sono come essa rigonfi verso l' equatore, e schiacciati verso i loro poli. Ciò fa supporre che questi diversi corpi sieno stati in principio fluidi, o in uno stato di gran mollezza; e la forza centrifuga, esercitandosi con maggiore energia all' equatore, ha dovuto determinarvi l' accumulazione di una maggior quantità di materia. Questo fenomeno si rende sensibile per mezzo di un semplicissimo apparecchio (*fig. 14*). Questo consiste in una molla circolare di acciaio, forata da un diametro H K. Si imprime un moto di rotazione all' asse, e allora il circolo di acciaio trasportato nel medesimo senso, si gonfia all' equatore e si schiaccia ai poli H e K, e ciò tanto più quanto più energica è la velocità di rotazione.

In un' altra maniera ancora può verificarsi il fenomeno. Si prenda una trottola rigonfia verso il suo mezzo, e nel momento in cui si mette in moto se ne bagni tutta la superficie, e si vedrà che l' acqua sarà totalmente sparita sulla parte rigonfiata, mentre in vicinanza del gambo e della parte superiore ve ne resterà una gran quantità; e può scorgersi ancora con l' occhio la proiezione che la trottola fa dell' acqua.

Del Pendolo

23. La teoria del pendolo è appoggiata sulle cognizioni che abbiamo premesse sulla gravità e sul moto curvilineo.

Un pendolo semplice consiste in un punto materiale, sospeso per un filo, riguardato come non pesante (*fig. 15*.)

Questo caso ideale non si realizza in pratica, poichè la verga del pendolo che ordinariamente è metallica, è di un peso che non può trascurarsi, ma per mezzo del calcolo si riducono facilmente al pendolo semplice i risultamenti di un pendolo composto (*b*).

Comunque sia, il moto del pendolo semplice o composto, è determinato dall' azione della terra. Se per esempio la massa pesa

(*a*) Sia g la gravità all' equatore, l rappresenti la latitudine di un luogo, l' intensità g' della gravità in questo luogo sarà $g' = g (1 - 0,00284 \cos^2 l)$.

(*b*) Ecco la formula. Se l è la lunghezza del pendolo semplice, corrispondente a un pendolo composto, sarà $l = \frac{d^2 + m^2}{d}$; dove d esprime

Tom. I.

venga portata in D , ivi sarà sollecitata dalla gravità; ma poichè questa forza agisce per la verticale Dd , perderà una porzione della sua intensità. Per conoscere questa perdita, bisogna decomporre la forza g in due altre forze rettangolari, nelle direzioni DA , DF : la prima è distrutta dalla resistenza della verga DC ; la seconda mF perpendicolare a CD , ha per valore l'espressione $g \cos dDF = g \sin h D d$. Questa componente tende a far muovere la massa m nel senso della tangente DF ; ma poichè la massa è trattenuta dal punto di sospensione C , la curva descritta sarà un arco di circolo. Si vede inoltre, che l'azione della gravità non contribuisce nulla al moto della massa m , quando questa è arrivata al punto più basso; sicchè essa non si muoverà che in virtù della velocità acquistata nel cadere per l'arco DA ; e da quanto dicemmo in altro luogo (n.° 17) risulta, che questa velocità è capace di farle percorrere un arco eguale al primo. Salirà essa dunque fino in B , ove la sua velocità acquistata resta totalmente distrutta: allora, abbandonata all'azione della gravità, ricadrà lungo BA ; in A la gravità sarà distrutta dalla resistenza del filo, il moto continuerà per la velocità acquistata, ec. Il pendolo dunque proseguirà così ad oscillare, finchè per effetto della resistenza dell'aria e dell'attrito, non abbia perduto tutto il suo moto.

Il moto della caduta del pendolo è accelerato, ma l'accelerazione non è uniforme, perchè la componente $g \sin DCA$ scema ad ogni momento fino al punto più basso, nel quale divien nulla. Col calcolo si dimostra, che la durata delle piccole oscillazioni è indipendente dalla loro ampiezza, dal che risulta l'*isocronismo*, il quale nel circolo non è che approssimato.

24. Il pendolo di cui si fa uso per le ricerche fisiche differisce pochissimo dal pendolo semplice. È formato d'una palla di platino molto grossa, sospesa ad un filo di rame di tal grossezza che basti solo a sostenerla, e incassata in una zona sferica, fissata all'estremità del filo: sul che si osservi di coprire l'interna superficie di questa zona con una materia grassa, per escluder l'aria che può restare fra essa e la sfera, e rendere così più perfetta l'adesione. L'estremità superiore del filo è fissata sopra una verga d'acciaio temperato, fatta a forma di coltello, posata sopra un piano d'agata; sicchè l'attrito è quasi insensibile. Tale a un dipresso era il pendolo immaginato da Borda (fig. 16).

me la distanza del centro di gravità del pendolo composto, dal centro di sospensione; m rappresenta il momento d'inerzia (1) della massa di questo pendolo, riferito ad un asse parallelo all'asse di sospensione, e che passa per il centro di gravità; tutto diviso per la massa totale.

(1) Per momento d'inerzia s' intende la somma dei prodotti delle molecole di un corpo per i quadrati delle loro distanze da un asse di data situazione.

Le oscillazioni di un pendolo divengono successivamente sempre minori, sicchè infine il pendolo si trova in riposo. Tal distruzione della velocità del pendolo è particolarmente prodotta dalla resistenza dell'aria, la quale rende più lunga la semioscillazione discendente, e più corta l'ascendente (*a*), quasi di egual quantità; e quindi la durata d'un'oscillazione intera nell'aria, differisce pochissimo da quella che avrebbe luogo nel voto. Ma poichè le oscillazioni del pendolo divengono successivamente più deboli, e poichè il tempo dipende dalla grandezza dell'arco percorso, ne risulta che l'isocronismo è alterato; ma ben poco sensibile è questa alterazione, e può anco rilevarsi col calcolo.

Applicazione del Pendolo alla Gravità

25. Abbiamo già veduto, che le oscillazioni del pendolo sono determinate dall'azione della gravità: dunque debbon essere più o meno rapide, secondo che più o meno potente è questa azione. È chiaro che tale intensità può dedursi dal numero delle oscillazioni fatte in un dato tempo da un pendolo di data lunghezza.

Infatti l'analisi dà $T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, dove *T* è il tempo di un'oscil-

lazione infinitesima; *l* la lunghezza del pendolo; *g* l'intensità della gravità, o il doppio dello spazio percorso da un corpo nel primo minuto secondo della sua caduta, π il rapporto della circonferenza al diametro; e poichè la lunghezza e la durata son due elementi che si misurano con la massima esattezza, così nel pendolo abbiamo un mezzo rigoroso per calcolare l'intensità della gravità. Se in questa formula si sostituisca la vera lunghezza di un pendolo che batta i secondi in un luogo dato, per esempio a Parigi, la quale in tal caso sarebbe ^{0m}99384, il valore costante di $\pi = 3,14159$, e $T = 1$, si avrà $g = 9,868$.

Dalla precedente formula si rileva. 1.º Che i tempi delle oscillazioni sono come le radici quadre delle lunghezze dei pendoli, e in ragione inversa delle radici quadre delle intensità della gravità;

2.º Che per due pendoli di diversa lunghezza, e soggetti all'azione della gravità nello stesso luogo, le durate delle oscillazioni son proporzionali alle radici quadre delle lunghezze;

3.º Che se il pendolo si trasporti in luoghi diversi, le durate delle oscillazioni, sono in ragione inversa delle radici quadre delle intensità della gravità in questi luoghi;

(a) Bouguer fu il primo che osservò, che la durata d'un'oscillazione intera è la stessa nel voto e in un mezzo resistente. In seguito Poisson sottopose all'analisi tal questione, (*V. Journ. de l'Ec. polyt.*, t. 15.)

4.° Che i quadrati dei numeri d'oscillazioni fatte dallo stesso pendolo o da due pendoli d' egual lunghezza, nello stesso tempo, in luoghi diversi, son proporzionali alle intensità della gravità.

26. L' intensità della gravità diviene tanto più debole, quanto è maggiore la distanza dalla superficie della Terra. Infatti Bouguer ha osservato, che prendendo per unità la lunghezza del pendolo a secondi all' equatore e al livello del mare, questa lunghezza doveva ridursi a $0^m,9992$ a Quito alto 2857 metri; sul Pichincha alto 4744 metri, a $0^m,9988$; ed in tutti e tre i luoghi, le intensità della gravità sono come le lunghezze del pendolo, (n.° 25).

27. Per mezzo del pendolo possiamo ancora assicurarci della variazione della gravità a diverse latitudini del globo. Richer riconobbe una tal variazione nel 1672. Vide che un orologio, il quale era stato regolato a Parigi sul tempo medio, a Caienna ritardava ogni giorno d' una quantità costante; e da ciò concluse, che l' intensità della gravità ivi era minore. La stessa osservazione fece Bouguer a S. Domingo, a Quito, ec; ed è stata poi confermata da un gran numero di viaggiatori; sicchè è ormai noto, che quanto più cresce la distanza dall' equatore, tanto più lungo deve essere il pendolo, perchè faccia oscillazioni della stessa durata. La gravità cresce dunque dall' equatore ai poli; infatti, poichè si allunga il pendolo, le oscillazioni diverrebbero più lente, se restasse la stessa la sua intensità. La tavola seguente dà un'idea di questa variazione (a).

LATITUDINI

LUNGHEZZA DEL PENDOLO

Equatore	0°	$0^m,990925$
	20°	$0,991528$
Parigi	48° 50' 14"	$0,993846$
	60°	$0,994791$
	80°	$0,995924$

Per mezzo di osservazioni di questo genere è stato trovato, che il valore assoluto della gravità cresce di $\frac{1}{175}$ dall' equatore ai poli; il qual numero è maggiore di $\frac{1}{289}$ che noi trovammo

(a) L' intensità della gravità si trova con la formula

$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$; T è eguale a 1, π ed l son note in numeri, e quindi si deduce g .

esaminando l'influenza della forza centrifuga sull'intensità della gravità. Questo fatto, che risulta da molte osservazioni, prova dunque evidentemente, che il diametro della Terra all'equatore è più lungo che ai poli (a). Così due cause tendono a indebolir l'azione della gravità all'equatore, cioè una maggior forza centrifuga, e un maggiore allontanamento dal centro del globo (b).

28. L'esperienza ci fa vedere ancora, che qualunque sia la materia del pendolo, purchè resti costante la lunghezza, il tempo delle oscillazioni è lo stesso; la qual cosa confermò, che tutti i corpi sono egualmente sollecitati dalla gravità, come già dimostrammo con esperienze dirette (n.º 10) (c).

(a) Il diametro del globo all'equatore è 12753968 metri, e ai poli è 12712648.

(b) Dalle esperienze fatte per mezzo dei pendoli, e dalle misure trigonometriche, la forma della Terra risulta la stessa.

(c) Generalizziamo e presentiamo più rigorosi i risultamenti ottenuti relativamente alla lunghezza l del pendolo. La lunghezza del pendolo a secondi cresce in proporzione del quadrato del seno della latitudine; sicchè se si indichi con l la lunghezza del pendolo all'equatore, e con y l'accrescimento totale al polo, si avrà generalmente $\text{pendolo} = l + y \text{ sen}^2 l$.

Lo schiacciamento, secondo la teoria, è eguale a $\frac{5}{2}$ del rapporto della forza centrifuga alla gravità, meno l'eccesso della lunghezza del pendolo al polo sulla sua lunghezza all'equatore, diviso per quest'ultima lunghezza. Inoltre il primo rapporto è $\frac{1}{289}$, dunque

$$\text{schiacciamento} = \frac{5}{2} \times \frac{1}{289} - \frac{y}{l} = 0,00865 - y.$$

Per determinare il coefficiente y , adottiamo lo schiacciamento medio $\frac{1}{290}$, che risulta dalle ripetute esperienze di Frécyet, Sabine e Duperrey, e avremo:

$\text{schiacciamento} = \frac{1}{290} = 0,00865 - y$, dal che si ha $y = 0,0052022$. In

tal caso la formula precedente del pendolo diviene $l + 0,0052022 \text{ sen}^2 l$; la quale, per la latitudine $48^\circ 50' 14''$ dell'Osservatorio di Parigi, dà 1,00294846. Vediamo ora per qual fattore si debba moltiplicare questo risultamento, per aver la lunghezza del pendolo misurato da Borda. Questi a Parigi trovò la lunghezza del pendolo a secondi nel voto $440^1, 5593 = 0^m, 9938266$. Aggiungendovi $0^m, 0000197$ per la riduzione al livello del mare, si avrà $0^m, 9938463$, lunghezza del pendolo a secondi sessagesimali nel voto, al livello del mare, e a $48^\circ 50' 14''$ di latitudine: quindi si troverà $1,00294846 \times 0^m, 993846 = 0^m, 9934633$: il fattore $0^m, 993846$ è precisamente quello per il quale bisogna moltiplicare la formula generale $l + 0,0052022 \text{ sen}^2 l$, per ridurla in parti di metro. Eseguendo questa operazione avremo finalmente $\text{Lunghezza del pendolo sessagesimale} = 0^m, 993246 + 0^m, 005155 \text{ sen}^2 l$, secondo Borda, e adottando lo schiacciamento $\frac{1}{290}$.

Applicazione del Pendolo agli Orologi

29. Galileo, verso il 1602, fu il primo ad osservare, che i piccoli archi di un pendolo sono sensibilmente percorsi in tempi eguali. Questa scoperta gli fece concepire l'utile idea di applicare questa regolarità alle osservazioni astronomiche e fisiche; ma Huyghens fu quegli che l'applicò agli orologi.

Si sa che un orologio è formato dalla riunione di molte ruote, che s'incastano le une nelle altre; e i denti di esse sono in numero proporzionale alle divisioni adottate per la misura del tempo. Sono poi disposte in maniera, che quando una è messa in moto, tutte le altre pure si muovono. Intorno ad uno degli assi si avvolge una corda, alla quale è attaccato un peso che serve a far girare tutte le ruote (*fig. 17.*), e che le farebbe girare troppo precipitosamente, se non ne venisse regolato il corso per mezzo d'un pendolo.

La ruota alla quale è attaccato il pendolo, nell'arte di fare orologi, si chiama ruota di riscontro. Questa è tagliata diversamente dalle altre, in modo che il suo moto possa esser diretto da due palette o ale fissate al pendolo moderatore. La *fig. 18* rappresenta l'apparecchio: CD è lo scappamento; e dalla figura stessa si vede, che quando il pendolo è in una situazione verticale e in riposo, le due estremità C e D dello scappamento si interpongono fra i denti della ruota, e fermano il moto. Ma se si allontana il pendolo dalla verticale, anco di una minima quantità, la ruota divenuta libera, obbedisce all'azione del peso che la fa girare, finchè il pendolo la trattiene con l'interposizione dello scappamento. In un apparecchio ben disposto, questo accade quando il pendolo è nel punto più basso. Il pendolo pure si fermerebbe, se la celerità acquistata non gli facesse percorrere un arco eguale a quello che ha già percorso: dunque si allontana di nuovo, il peso fa di nuovo girare la ruota, e così di seguito. Si vede chiaramente, che senza il pendolo il moto del peso sarebbe accelerato, come quello di tutti i corpi sottoposti all'azione della gravità; ma il pendolo col suo scappamento lo rimette continuamente in stato di riposo; dimanierachè non ha mai altra velocità, che quella impressagli dalla gravità nel piccolo intervallo d'una mezza oscillazione. Per tal disposizione si concepisce egualmente, come il pendolo, non ostante l'attrito e la resistenza dell'aria, continua il suo moto, poichè l'azione del peso, ad ogni oscillazione, gli rende la velocità che ha perduta. La lunghezza del pendolo è tale, che il tempo d'un'oscillazione è un secondo. Questo strumento però non sarebbe perfettamente regolare, se l'asta non restasse sempre della stessa lunghezza, non ostante la variazione continua della temperatura presso alla superficie della terra; il che si ottiene per mezzo

d'ingegnosi processi immaginati dagli artisti e dai dotti, e che indicheremo nell' Articolo delle dilatazioni.

Dell' equilibrio prodotto dalla composizione di più forze applicate ad uno stesso punto materiale o a più punti materiali connessi fra loro invariabilmente: del centro delle forze parallele: del centro di gravità.

3o, L' azione di molte forze che agiscono insieme sopra uno o più punti materiali, presenta due casi, che è necessario considerare. Può accadere che queste forze comunichino un moto al sistema, e che distruggendosi fra loro, lascino il corpo in riposo. Questo riposo, prodotto dalla compensazione di più forze, si chiama *equilibrio*.

Due forze eguali applicate in direzioni opposte in un medesimo punto materiale, presentano il caso più semplice d'equilibrio: se le due forze sono diseguali, il punto materiale si muoverà nel senso della più energica, come se fosse sollecitato da una forza eguale alla differenza di quelle.

Il caso dell' opposizione diretta è il solo, in cui sia possibile l' equilibrio fra due forze eguali. Se le loro direzioni fanno un certo angolo, i loro sforzi cospirano in parte, e il punto materiale è sollecitato da una sola forza, la direzione e l' intensità della quale son determinate con la regola del parallelogrammo delle forze (n.º 18).

La risultante di due forze ha una proprietà singolare, e importantissima a conoscersi. Le linee CD, CE (fig. 19) abbassate da un punto qualunque della risultante AB, perpendicolarmente sulle direzioni delle due componenti AD, AE, hanno una lunghezza che è in ragione inversa dell' intensità delle forze verso le quali si dirigono. Per es. se le forze p , q son rappresentate dai numeri 4, 5, le perpendicolari CD, CE saranno come 5 : 4; la qual proprietà si dimostra con la Geometria. Da questo rapporto visibilmente risulta, che il prodotto dell' espressione numerica di ciascuna forza per la lunghezza della perpendicolare corrispondente, è un numero costante; ossia $p \times DC = q \times CE$. Si chiama *momento statico* di una forza relativamente ad un punto C, il prodotto di questa forza per la lunghezza della perpendicolare abbassata da questo punto sulla sua direzione.

Il caso però di un sol punto materiale è un caso astratto, ma giova nondimeno l' osservarlo per giungere ai casi più composti che i corpi presentano. Non v'è alcun corpo, le diverse parti del quale sieno collegate fra loro in un modo invariabile, ma per la rigidezza che è propria dei corpi nello stato di solidità, le loro parti si trasmettono scambievolmente l' impressione delle forze che sollecitano alcune di esse. In quanto ai

liquidi, l'impenetrabilità delle parti che sono a contatto, regola la repartizione delle forze che ad esse vengono applicate (1).

Per es.: sieno due forze p , q situate (fig. 20) in uno stesso piano, e applicate nei punti a , a' d'un corpo solido. Per aver la loro risultante bisogna considerare, che il punto d'applicazione d'una forza, può esser trasportato in un punto qualunque della sua direzione, purchè il punto sia connesso col primo per mezzo di una linea inflessibile. Ora le due forze, poichè per supposizione sono nello stesso piano, si incontreranno in un punto c ; e però per avere l'intensità e la direzione della risultante, basterà costruire sulle direzioni ac , $a'c$ un parallelogrammo.

Se le due forze son parallele, la soluzione del problema è la stessa, perchè questa regola di statica è indipendente dall'angolo che fanno le direzioni delle due forze, e quindi ha luogo anco quando l'angolo è nullo. Parimente dicemmo di sopra, che le lunghezze delle perpendicolari CD , CE (fig. 19) abbassate da un punto della risultante AB sulle direzioni delle componenti p , q , sono in ragione inversa di queste; ed è lo stesso il rapporto per le forze parallele (fig. 21). Per avere il punto c d'applicazione della risultante, bisognerà dividere aa' in due parti reciprocamente proporzionali alle intensità delle forze p , q ; e la risultante r sarà eguale alla loro somma; e quindi per stabilir l'equilibrio, basterà applicare nel punto c una forza r' eguale, ma diretta in senso contrario.

Se le due forze son dirette in senso contrario (fig. 22), la risultante sarà eguale alla lor differenza, agirà nel senso della più energica, e il suo punto d'applicazione sarà fuori dei punti d'applicazione delle componenti. Si osservi che qui si considerano le due forze diverse in intensità e nello stesso piano; mentre se fossero eguali o se agissero in piani diversi, non avrebbe luogo una risultante, e in tal caso bisognerebbe distruggere ciascuna forza separatamente.

Ora che sappiamo trovar la risultante di due forze, nei casi possibili, siamo in grado di comporre un numero qualunque di forze. Se tutte le forze son parallele e dirette nel medesimo senso, primieramente si comporranno due forze, quindi la risultante trovata, con un'altra, e così di seguito; e la risultante finale sarà parallela alla direzione comune. Se le forze agiscono in parte in un senso e in parte in un altro, si cercherà la risultante particolare

(1) In quanto ai liquidi, per l'estrema mobilità e sfericità delle loro molecole, quelle che sono a contatto con le molecole urtate, vengono a riempire lo spazio che quelle mosse lasciano vuoto; e però non possono seguire la direzione impressa in quelle, e quindi non può, come nei solidi, muoversi tutta la massa.

delle une e delle altre, e le due resultanti saranno eguali o diseguali; nel primo caso non vi sarà resultante, e nel secondo la resultante sarà eguale alla loro differenza. Il punto d'applicazione di essa si troverà con la solita regola indicata di sopra; e applicandovi una forza eguale e diretta in senso opposto, il sistema sarà mantenuto in equilibrio.

31. Per far comprendere cosa si intenda per *centro di gravità*, diciamo qualche cosa del *centro delle forze* parallele. Sia pertanto determinato il punto A d'applicazione della resultante di un certo numero di forze parallele (*fig. 23*). Se tutte le forze senza cambiare d'intensità e senza cessare d'esser *parallele*, prendono tutte insieme un'altra direzione, la loro resultante resterà della stessa grandezza, e solamente cambierà di direzione, e passerà a traverso del corpo in una direzione diversa. In statica si dimostra che tutte le resultanti determinate in tal modo, concorrono in un sol punto A, che si chiama *centro delle forze parallele*. Ora è chiaro, che se si fissa questo punto, l'equilibrio sarà stabilito, qualunque sia la direzione delle forze.

Applichiamo questi resultamenti ai gravi. La gravità agisce perpendicolarmente alla superficie della Terra: un corpo dunque è sollecitato da un numero infinito di forze parallele e perpendicolari al luogo d'osservazione; e quindi gli effetti parziali della gravità di tutte le particelle compongono una somma, di cui la resultante è il *peso* di questo corpo; la qual resultante, qualunque sia la situazione del corpo, secondo ciò che abbiamo detto, dovrà passare per un punto unico; e questo punto unico è il *centro di gravità* del corpo.

Se questo punto è fisso, si potrà far girare il corpo intorno ad esso, senza che sia rotto l'equilibrio. Sussisterà pure l'equilibrio, quando il punto fisso si troverà sulla retta verticale che passa per il centro di gravità del corpo.

Si comprende egualmente, che un filo all'estremità del quale è fissato un corpo, resterà verticale nel caso d'equilibrio, e che il suo prolungamento passerà per il centro di gravità del corpo. Questo piccolo apparecchio si chiama *filo a piombo*, e serve, come è noto, a moltissimi usi, come ad assicurarsi della verticale di un muro, a determinare il centro di gravità d'un corpo, ec. Per determinar questo centro, si sospende successivamente il corpo per due punti diversi; ed è chiaro, che il centro stesso deve trovarsi sul prolungamento del filo di sospensione a traverso del corpo in ciascuna esperienza, poichè non può esistere equilibrio, se il filo non passa per il centro di gravità: dunque si troverà nel punto di concorso di due direzioni del filo.

La situazione del centro di gravità nei corpi *omogenei*, dipende soltanto dalla loro figura. Se i corpi sono *eterogenei*, cioè tali che tutte le loro parti non sieno simili, per determinarne il cen-

tro di gravità bisogna sapere come vi è distribuita la materia. Per esempio, il centro di gravità d' un areometro si trova nella parte inferiore, perchè questo strumento in generale è essenzialmente formato di un tubo, che nella sua parte inferiore è pieno di mercurio o di piombo, sostanze molto più dense del vetro. Del resto, la dottrina del centro di gravità appartiene alla statica, e noi ne diamo qui soltanto un'idea, perchè ci sarà utile in seguito. Per ora citiamo alcune semplici conseguenze. Un corpo solido posato sopra un piano orizzontale è in equilibrio, se la verticale che passa per il suo centro di gravità incontra il piano in uno di quei punti sui quali posa il corpo, o nello spazio compreso fra questi punti. Un uomo si regge ritto, finchè la verticale che passa per il suo centro di gravità, cade nello spazio quadrangolare compreso nel contorno esterno dei suoi piedi; e con tutti i moti che egli fa quando è vicino a cadere, tende a rimettersi in situazione ritta. L'arte del ballerino a corda, la maniera di assicurare la stabilità dei grandi carriaggi ec. si riferiscono pure alla teoria del centro di gravità: ma questa teoria non può svilupparsi se non per mezzo del calcolo.

Di alcune Macchine semplici

32. Abbiamo già data la definizione della quiete, del moto assoluto e relativo, e spiegato cosa si intenda per risultante di molte forze. Passiamo ora alle particolarità relative alle macchine.

In generale si chiama macchina uno strumento adattato a trasmettere l'azione di una o più forze. La forza che si adopra, è la *potenza*; e la forza che si vuol vincere, o a cui si vuol solamente fare equilibrio, è la *resistenza*. La potenza e la resistenza non sono però opposte l'una all'altra direttamente, poichè allora non sarebbe possibile l'equilibrio, se non nel caso dell'eguaglianza delle due forze. Lo sforzo della resistenza si scompone in modo, che uno o più punti fissi possano sopportare una porzione della sua energia; e con tal disposizione si ottiene che forze disegualissime possono farsi equilibrio fra loro, come vedremo a suo luogo.

Vi sono alcune macchine che servono di elementi per altre macchine. Diamone alcune nozioni elementari, per quanto lo richiede lo scopo che ci siamo prefissi. Le principali sono: la leva, il piano inclinato, la puleggia, la vite, il caneo e l'argano.

Della Leva

33. Una verga *men* (fig 24) inflessibile, e sostenuta da un punto fisso *c*, forma ciò che si chiama *leva*. Il punto fisso *c* si chiama *ipomoclio* o *punto d'appoggio*. Si vede chiaramente, che

le forze diseguali p , r applicate alle estremità m , n possono farsi equilibrio. Se le due forze p , r son parallele, le distanze mc e cn comprese fra il punto d'appoggio e il punto d'applicazione di ciascuna forza, si chiamano i bracci della leva di queste forze.

La potenza sia rappresentata da p , la resistenza da r : perchè vi sia equilibrio, bisogna e basta che la risultante delle due forze passi per il punto d'appoggio c ; e a tale effetto si dimostra, che deve aversi $p : r :: cn : cm$; cioè che nel caso d'equilibrio della leva, la potenza e la resistenza sono in ragione inversa dei bracci della leva, o delle loro distanze dal punto d'appoggio. Da ciò risulta, che per mezzo della leva, una debole forza può fare equilibrio ad una forza molto considerevole, e anco vincerla.

Il peso sostenuto dal punto d'appoggio, è espresso dalla risultante delle forze p e q ; e nel caso precedente è eguale alla loro somma: e se le due forze fossero dirette in senso contrario (fig. 25), la risultante sarebbe eguale alla lor differenza.

Si distinguono tre generi di leva: leva di primo genere si dice quando il punto d'appoggio è fra i punti d'applicazione delle forze; leva di secondo genere, quando la resistenza è fra il punto d'appoggio e la potenza; leva di terzo genere, quando la potenza è fra il punto d'appoggio e la resistenza.

34. La bilancia (fig. 26) è una leva di primo genere. La bilancia ordinaria deve avere i suoi due bracci di leva eguali, perchè due pesi che si fanno equilibrio sieno eguali. Questa condizione fortunatamente non è necessaria nelle bilance destinate alle ricerche, giacchè sarebbe impossibile ottenerla con molta esattezza.

Il metodo dei doppi pesi è totalmente indipendente dalla disegualianza dei bracci della bilancia. Questo consiste nel collocare in un piatto della medesima il corpo di cui vuol sapersi il peso, e stabilirne l'equilibrio con monizione o con qualunque altra materia. Ottenuto questo equilibrio, si sostituiscono al corpo pesi noti; fino a riottenere l'equilibrio di nuovo; e questi pesi indicano il vero peso del corpo, perchè al par di questo fanno equilibrio ad un'egual massa di materia. Faremo vedere altrove con l'esperienza, come si può tener conto di tutte le cause, per le quali uno stesso corpo pesato in diversi tempi, sulla stessa bilancia, non comparisce di egual peso.

La figura 26 rappresenta un modello della bilancia di Fortin. La leva o flagello AB è d'acciaio temperato, e abbastanza consistente da non piegarsi sensibilmente per lo sforzo dei pesi che deve sostenere. Le due porzioni AC , BC , al di qua e al di là del punto G , centro di gravità del flagello, devono essere egualissime. Il punto C di sospensione è un poco sopra il centro di gravità, dimanierchè il flagello tende sempre a tornare nella situazione più stabile. Perchè il flagello sia molto mobile, si fa il

pezzo C di sospensione in forma di coltello, e di acciaio ben temperato, e si fa posare sopra un piano parimente d'acciaio tirato a pulimento. Per vedere anco i minimi moti del flagello, si fissa un ago CK perpendicolare ad AB, il quale nel caso d'equilibrio corrisponde con la sua estremità allo zero d'un arco di circolo segnato in K.

Per ottenere pesi esatti, bisogna osservare due cose. La prima è di render la bilancia molto sensibile, il che si ottiene facendo molto acuto il taglio del coltello di sospensione, e riducendo al maggior possibile pulimento il piano d'acciaio sul quale riposa: inoltre, affinché il coltello e il piano d'acciaio non si alterino per effetto della continua pressione, si dispongono sotto i bracci della leva due forcelle F, F', le quali negli intervalli delle esperienze li sostengono in modo da impedire qualunque specie di attrito: esse si alzano e si abbassano per mezzo di manovelle. La seconda è, che i punti di sospensione S, S' sieno rigorosamente gli stessi in due operazioni consecutive, giacchè la forza necessaria per far equilibrio ad una resistenza è tanto più debole, quanto più lungo è il braccio della leva a cui si applica (n.º 33). E siccome non vi è nulla che nell'operazione ci avverta dello spostamento dei punti di sospensione, il che porterebbe a gravi errori, così, per evitare un tale inconveniente, l'artista ha disposto le cose in modo, che la sospensione si fa per mezzo di coltelli incrociati d'acciaio durissimo (*fig. 27*). (1).

Del Piano inclinato.

35. Cosa sia il piano inclinato, l'abbiamo già detto nell'articolo delle leggi di gravità (*fig. 5 e 7*).

Un grave, se è libero, non può sostenersi se non con una forza eguale al suo peso; ma sopra un piano inclinato, una forza minore basterà.

Sia un corpo HK posto sul piano inclinato CB (*fig. 28*).

(1) La leva può anche formarsi ad angolo, quale si usa nel moto di alcune trombe, de' campanelli etc., e produce lo stesso effetto, perchè le due braccia nel girare, trovandosi oblique alle direzioni della potenza e della resistenza, l'obliquità loro è uguale da una parte e dall'altra, e però resta lo stesso il rapporto delle distanze dell'ipomoclio dalle direzioni delle forze. Del resto oltre la bilancia descritta, la *stadera*, le *forbici* ec., son esempj di leva di primo genere; le *verghe* con cui solleviamo qualche peso, fissandone un'estremità in un punto di un piano immobile, ed applicando all'altró la potenza, il *coltello da panattiere*, la *scala*, i *remi*, nel maneggiare i quali abbiamo ad un'estremità l'acqua per punto d'appoggio ec., son esempj di leva di secondo genere; finalmente esempj di leva di terzo genere sono le *pinzette*, i *nostri organi del moto* etc. poichè i muscoli nel raccorciarsi avvicinano tra loro i proprii punti d'attacco, che son vicini alle articolazioni, intorno alle quali esiste un moto di rotazione.

Per il suo centro di gravità G , si conduca la verticale GR : questa rappresenterà lo sforzo della gravità applicata in questo punto. Scomponiamo, secondo la regola del parallelogrammo delle forze, questa risultante in due altre forze, una GD parallela, l'altra GF perpendicolare al piano: questa sarà distrutta dalla resistenza del piano stesso, e resterà solo la prima, la quale agirà per fare strisciare il corpo, e sarà alla risultante nel rapporto di GD a GR ; oppure come l'altezza AC alla lunghezza CB del Piano, per la similitudine dei triangoli GDR , ACB . Tale è il rapporto che deve esistere fra la potenza applicata nella direzione DG e il peso del corpo, per impedire che questo strisci lungo il piano. Con un piano inclinato adunque si può far muovere un peso molto considerevole, per mezzo d'una forza molto minore; e però spesso viene impiegato nelle Arti.

Della Vite

36. La teoria della vite (*fig. 29*) è connessa con quella del piano inclinato. La vite è un cilindro AB , rivestito d'una *spira saliente*, aderente alla sua superficie (1). Il pezzo EE si chiama *chiocciola*, l'interna superficie della quale è scanalata in modo simile alla spira HKL , e in questa chiocciola entra la vite. Quando vi è introdotta, bisogna che la scanalatura sia esattamente empita dalla spira; per la qual disposizione la vite non può avanzarsi nel senso della sua lunghezza, se non girando intorno a se stessa. O la vite è fissa, e mobile la chiocciola (*fig. 29*), o viceversa (*fig. 30*); e in tutti i casi la potenza agisce all'estremità d'una leva EF ; e potenza tanto minore vi vorrà, quanto più lungo sarà il braccio della leva al quale è applicata, e quanto più stretti saranno i *passi* della vite. Col calcolo si dimostra, che in questa macchina *la potenza sta alla resistenza, come il passo della vite alla circonferenza del circolo, che la potenza tende a far descrivere al suo punto d'applicazione.*

Della Puleggia

37. La puleggia è una ruota circolare, scanalata nella sua periferia, e attraversata nel suo centro da un asse, intorno al quale può girare (*fig. 31*). Se l'asse è tenuto fisso, *la puleggia si dice fissa*, e se l'asse è libero, *la puleggia si dice mobile*; e in questo caso essa può muoversi nello spazio mentre gira intorno al suo asse.

(1) La parte prominente di questa spira si chiama *pane* della vite; e gl'intervalli fra un pane e l'altro, si chiamano *passi* della vite.

Consideriamo la puleggia fissa. Una corda flessibile ABCD sia passata nella scanalatura della puleggia, e abbracci una porzione della sua circonferenza. Se applichiamo all'estremità A la potenza, e la resistenza all'estremità D, le forze agiranno secondo le tangenti, ed è chiaro che non vi sarà equilibrio se non nel caso di eguaglianza fra la potenza e la resistenza. La risultante di due forze passa per il centro della puleggia, ed è distrutta dalla resistenza dell'asse. Inoltre, se queste forze son parallele, l'asse soffre uno sforzo eguale alla loro somma. Nella puleggia fissa si può cambiare la direzione di una forza senza alterarne l'intensità (1).

Nella puleggia mobile, (fig. 32) la corda è attaccata per un'estremità ad un ostacolo invincibile F; all'altra estremità è applicata la potenza P; e finalmente il peso da sollevarsi è sospeso all'estremità H dell'uncino della puleggia. Il punto F esercita un'azione eguale alla forza P, applicata all'altra estremità. Vi sarà dunque equilibrio, se la resistenza è eguale alla risultante di due forze eguali a P. Se le due forze son parallele, sarà la resistenza $R=2P$; ed è questo il caso più favorevole alla potenza.

38. La riunione di più puleggie fisse o mobili si chiama *taglia o polipasto*. In varie maniere si possono combinare queste puleggie, il che dipende generalmente dall'uso a cui questa macchina deve servire. Le principali son quelle rappresentate dalle fig. 33 e 34; ma quella rappresentata dalla fig. 33 è la più vantaggiosa alla potenza. In questa tutte le puleggie son libere, eccettuata la puleggia A, alla quale è applicata la potenza.

Col calcolo si trova, che per ottener l'equilibrio, la potenza deve essere eguale alla resistenza divisa per 2^n nella prima disposizione, e per $2.n$ nella seconda, chiamando n il numero delle puleggie mobili; sicchè con una taglia di tre puleggie, una forza P può far equilibrio ad una resistenza $2^3 P = 8P$. Nella fig. 34 le tre puleggie superiori son fisse; le tre inferiori son mobili; ed essendo $n=3$, si ha $P = \frac{R}{2 \times n} = \frac{R}{6}$.

Dell' Argano

39. Si chiama *argano, burbera o verricello* una macchina,

(1) Cioè, quantunque con questa macchina non si risparmi potenza, il vantaggio consiste nel potere applicare la potenza stessa più comodamente. Così se per sollevare direttamente un peso di lib. 100 è necessaria una forza parimente di lib. 100, altrettanto se ne richiede servendosi della puleggia, ma in questo caso vi è il comodo maggiore di sollevarlo tirando dall'alto in basso ec.

che consiste in un cilindro d'un diametro qualunque, al quale è fissata una ruota d'un diametro maggiore, il centro della quale è nell'asse del cilindro, e il suo piano è perpendicolare ad esso. Le fig. 35, 36, 37 rappresentano le forme più comuni di questa macchina. Il cilindro AB termina con due cilindri più piccoli chiamati *perni*, i quali sono incassati in appoggi fissi, in modo che il cilindro non ha moto libero se non intorno al suo asse. Sul cilindro si avvolge una corda, che è fissata al medesimo per un'estremità; e all'altra estremità è applicato il peso R da muoversi. La potenza agisce in un punto qualunque della gran ruota, tangenzialmente alla sua superficie (fig. 35). Qualche volta la potenza è applicata ad una manovella (fig. 36); ma se la direzione di questa manovella è perpendicolare al raggio del cilindro AB, esiste sempre lo stesso rapporto fra la potenza e la resistenza. In statica si dimostra, che per ottenere l'equilibrio con questa macchina, la potenza deve stare alla resistenza, come il raggio *cm* del cilindro sta al raggio ED della ruota, o alla lunghezza della manovella FH; cioè si ha

$$P : R :: cm : ED \text{ ovvero } FH.$$

Siccome in pratica la corda ha sempre un diametro considerevole, così bisogna aggiungere il raggio di questa al raggio del cilindro a misura che si avvolge a questo. Tal circostanza scema alquanto il vantaggio della potenza.

Delle Proprietà generali dei Fluidi

40. In generale si distinguono i fluidi in liquidi e in fluidi elastici. I primi cambiano pochissimo di volume, per quanto considerevoli sieno le pressioni alle quali vengano assoggettati: i secondi al contrario son suscettivi di esser ridotti a volumi che sono sensibilmente in ragione inversa delle forze che li comprimono; in conseguenza i primi sono stati chiamati fluidi incompressibili.

La gran mobilità delle molecole d'un fluido, forma il carattere principale di esso, come si rileva nell'acqua, nell'alcool, nell'aria atmosferica, ec.

Dell'Equilibrio dei Fluidi incompressibili

41. *Principio dell'eguaglianza di pressione.* Questo principio sul quale è fondata l'idrostatica, è una conseguenza della perfetta mobilità delle molecole dei liquidi, come ben si comprende *a priori*, e come pur si dimostra con l'esperienza diretta. Se per esempio si prenda un vaso cubico o di qualunque altra forma (fig. 38), e si ponga uno stantuffo ad ogni faccia, si vedrà che

se si applichi ad uno di questi stantuffi una forza qualunque premente contro la massa dell'acqua, bisognerà applicare forze eguali anche agli altri, per far equilibrio al primo, se tutti hanno base eguale; ed applicar forze proporzionali alle basi, se queste sono diverse.

Qui si astrae dalla gravità del liquido, poichè per un liquido pesante, la pressione è variabile, ed è tanto maggiore, quanto più basso è il punto della parete sottoposta alla compressione; dimanierachè ciò che abbiamo detto relativamente all' eguaglianza della pressione in tutti i sensi, non deve intendersi che delle pressioni esercitate sul liquido da una forza qualunque. Per vedere l' influenza del peso del liquido, basta fare nelle pareti d' un vaso più aperture ad altezze diverse; e si vedrà, che la velocità con cui esce il liquido è tanto maggiore, quanto l' apertura è più vicina alla base. Che se l' apertura superiore del vaso è libera, l' atmosfera eserciterà la sua pressione a traverso del liquido, e produrrà un effetto eguale su tutti i punti delle pareti, ma la pressione prodotta dalla gravità del liquido sarà variabile.

42. Preso un sifone di egual diametro in tutti i punti, ed empitolo di un liquido fino a un certo segno, è chiaro che anco per sola simmetria, affinchè sussista l' equilibrio, il liquido resterà allo stesso livello in ambedue i bracci (*fig. 39*). Ma ciò accade egualmente se i due bracci sono di diametro diverso (*fig. 40*), dal che risulta che la pressione di un liquido non dipende che dalla sua altezza; e quindi essa è eguale sulle basi dei recipienti (*fig. 41*). La figura delle pareti non influisce nulla sulla pressione; sicchè questa sarà sempre la stessa, finchè sieno eguali le altezze, la natura del liquido e l' estensione della base. Questo è ciò che si chiama *Paradosso idrostatico*. Così si spiega una curiosa esperienza, che consiste nel far crepare un vaso pieno (*fig. 42*) per mezzo di un tubo di poche linee di diametro, pieno egualmente. La pressione non dipende che dall' altezza; dunque quella che eserciterà il liquido del tubo, sarà assolutamente eguale alla pressione che eserciterebbe un altro cilindro del diametro del vaso. Su questa proprietà è fondata ancora la *Pressa idraulica*, che in questi ultimi tempi è stata applicata a tanti usi. (Vedi la *tromba premente*).

Se i due bracci del sifone contengono due liquidi diversi, e non mescolati, le altezze saranno in ragione inversa delle densità. Su questa proprietà sono stati costruiti alcuni areometri a sifone, dai quali però non si ottengono che indicazioni poco approssimate alla verità.

43. Dalla natura dei fluidi risulta, che se si decompone la pressione esercitata su ciascun punto di una parete in due forze, una orizzontale, l' altra verticale, le forze orizzontali d' uno stesso livello si distruggono, e però il vaso resta in riposo; sic-

chè se si faccia un foro in una delle pareti, la pressione divenendo nulla in questo punto, il vaso sarà spinto in senso contrario dall'effetto della pressione opposta. Ad un tubo di due pollici di diametro incirca, si adatti un fondo di rame, al quale sieno fissati due tubi piegati ad angolo retto (*fig. 43*), e si empia d'acqua tutto l'apparecchio. Se questo si sospenda quindi ad un filo di lino o di seta, o si posi sopra un pernio, esso resterà in una situazione fissa: ma se quindi si aprano i due robinetti R, R', il liquido sgorgherà, e l'apparecchio prenderà un moto di rotazione in senso contrario. Anco fissando un vaso cilindrico sopra un pezzo di sughero galleggiante sull'acqua, si vedrebbe il vaso muoversi in senso opposto alla sezione che fosse stata fatta nella parete verticale.

44. *Principio d'Archimede.* Un corpo immerso in un fluido, perde del suo peso una quantità eguale al peso del volume del fluido spostato.

Per ben comprendere questo principio, supponiamo una massa d'un fluido in equilibrio, e isoliamo col pensiero dalla massa totale una massa m : le pressioni orizzontali provate dalla massa m si distruggono, e la risultante delle pressioni verticali è eguale e direttamente opposta al peso di questa medesima massa.

Se questa massa si consolidasse, senza cambiar di densità, l'equilibrio non sarebbe disturbato; e se nel suo posto si ponesse un corpo di densità maggiore, non potrebbe più esistere equilibrio, e il corpo caderebbe; ma il suo peso scemerebbe del peso di un egual volume di fluido.

Per verificare questo risultamento, si fissa al piatto d'una bilancia un cilindro sodo, e sul piatto medesimo un cilindro voto, che abbia la capacità interna perfettamente eguale al volume del cilindro sodo, e quindi si stabilisce l'equilibrio: s'immerge poi il cilindro sodo nell'acqua, e da ciò nasce rottura d'equilibrio della bilancia, il qual equilibrio si ristabilisceempiendo d'acqua il cilindro voto che è sul piatto. Ora il volume di quest'acqua è eguale al volume del corpo immerso; dunque il peso di essa equivale al peso perduto dal corpo (*fig. 44*). (1)

Se il corpo è più leggero del fluido, salirà finchè il peso del fluido spostato sia eguale al suo.

45. Una massa di liquido libera, sollecitata da una forza di gravità diretta verso il suo centro, non può stare in equilibrio, se non quando le risultanti sieno normali alla sua superficie; e questa massa diverrebbe di forma sferica. Questo sarebbe il caso del mare se la Terra fosse in riposo: la rota-

(1) Questo è il principio su cui è fondata la teoria delle *gravità specifiche*.

zione della Terra non fa che accumulare all'equatore una maggior quantità di materia; e la curva è sempre sensibilmente sferica. Quindi è, che nei tempi più favorevoli, le navi non si scorgono al di là di sei leghe di distanza. Ma attesa la grandezza del raggio del Globo, le forze normali dei punti poco distanti sono sensibilmente parallele, e però nelle nostre vasche la superficie dell'acqua è quasi piana.

Questa proprietà ha suggerita l'idea della *livella a acqua*, strumento che serve a determinare un piano tangente alla superficie della Terra. Esso è formato (*fig. 45*) di un tubo orizzontale, terminato con due bracci verticali A e B, ed è pieno d'acqua quasi totalmente, dal che è nato il suo nome.

46. È stata ancora costruita la *livella a bolla d'aria*. In un tubo alquanto convesso (*fig. 46*) si introduce un liquido, ordinariamente colorato, lasciandovi una bolla d'aria, la quale per la sua leggerezza deve sempre trovarsi nella parte più alta del tubo. Lo strumento è buono, se quando è sopra un piano orizzontale, il mezzo della bolla d'aria corrisponde sempre allo zero della divisione segnata sul tubo stesso, per qualunque verso esso venga voltato.

La storia delle densità o *gravità specifiche* e degli areometri è naturalmente collegata col principio d'Archimede; ma poichè l'esperienze debbon riferirsi ad una stessa temperatura, per ottenere risultamenti esatti, non tratteremo di questo argomento, se non dopo avere esposta la teoria del calore. Per la stessa ragione ci riserbiamo a parlare allora anco della pressione atmosferica.

Compressibilità dei Liquidi

47. Fin dal 1650 gli Accademici di Firenze istituirono esperienze per provare se l'acqua era compressibile. Empita di questo liquido una palla d'oro, e sottopostala ad una forte compressione, videro il liquido filtrare a traverso dei pori del metallo, e però credettero di poter concludere che l'acqua era incompressibile; ma tal conseguenza è falsa, come fra poco vedremo.

Non tutti i Fisici erano del sentimento degli Accademici fiorentini; anzi molti di loro, appoggiandosi alla proprietà che ha l'acqua di trasmettere il suono, per questo appunto la riguardavano come elastica, e però come compressibile. Molte prove furon fatte in varii paesi, ma i processi non erano diretti in modo da rendere i risultamenti indipendenti dall'estensione del vaso: quindi quantunque la diminuzione apparente del volume del liquido fosse considerevole, l'effetto non poteva attribuirsi, almeno interamente, alla compressione.

Kanton fece le esperienze in modo, che il vaso conservasse il suo volume. Questo vaso (*fig. 47*) consiste in un tubo da termometro ordinario, nel quale è introdotto il liquido: la colonna liquida è terminata con una piccola colonna di mercurio, che serve d'indice. Kanton pone quindi il termometro aperto sotto una campana, nella quale fa il voto per mezzo della macchina pneumatica. Osserva quindi l'altezza del liquido: vi fa rientrare a un tratto l'aria, e vede che appena entra l'aria, il liquido del tubo, qualunque sia, si abbassa non poco sotto il primitivo livello. E poichè il vaso è premuto egualmente al di fuori e al di dentro, così non può produrre veruna modificazione sulla compressione del liquido. In tal modo Kanton trova 0,000046 del volume primitivo per la compressione d'un'atmosfera. OErstedt ponendo questo medesimo apparecchio in una provetta, ossia un tubo curvato in forma di U, chiuso da una parte e pieno d'acqua, e facendovi scendere uno stantuffo per mezzo di una vite, ha trovato 0,000045. Perkins in Inghilterra ha fatto egli pure su questo argomento molte ingegnossissime ricerche, a molte centinaia di atmosfere; e dalle sue esperienze rileva la compressibilità dell'acqua quasi eguale a quella trovata da Kanton. È dunque ormai incontrastabile la compressibilità dei liquidi. Il mercurio è molto meno compressibile dell'acqua; e più compressibili di questa sono l'alcool, l'etere solforico, ed altri simili liquidi.

L'apparecchio di OErstedt non ci sembra abbastanza esatto, poichè egli non avverte se il piccolo indice penetra o no nel liquido in tempo dell'esperienza. Potrebbe in vece di quello adoprarsi un altro apparecchio rappresentato dalla *fig. 48*. Quando il tubo sia immerso nella macchina da compressione, l'aria della parte CD separerà sempre il piccolo indice *m* dal liquido circostante, sicchè la penetrazione di questo indice nel liquido del tubo *mn*, non produrrà errore veruno, perchè è sempre noto il volume sul quale si opera (1). In vece poi della provetta a acqua, sarà più opportuna una provetta a mercurio.

(1) Quando nel precedente apparecchio l'indice si trovava fra due masse d'acqua, questa esercitava su quello azione e reazione eguale; e quindi secondo l'A. restava sempre il dubbio se l'indice penetrasse nella massa inferiore e superiore. Ora che dalla parte superiore ha l'aria che esercita una forza di pressione diversa, se si vede abbassare, o condensarsi realmente l'acqua senza penetrarvi, o penetri in parte nei suoi pori, produce sempre un restringimento, ossia una compressione nell'acqua sottoposta. In tutti i casi però anche nell'esperienza di OErstedt ci sembra che apparisca egualmente chiaro il fenomeno; e tutto al più il risultamento non sarà esatto, relativamente alla colonna sottoposta, a motivo della doppia massa d'acqua sulla quale opera il mercurio.

De' Tubi capillari

48. La teoria dei fenomeni capillari non può trattarsi completamente, senza il soccorso dell'analisi sublime. Ci basterà adunque di esporre primieramente il fenomeno sperimentale, e le principali circostanze che lo accompagnano, e quindi daremo un'idea delle cause di questi fenomeni.

È un fatto provato da molto tempo, che quando si immerge in un liquido un tubo di piccol diametro, il livello nell'interno di esso è diverso dal livello all'esterno; e quando il tubo è suscettivo di esser bagnato dal liquido, il livello interno è ancora più alto, come si osserva immergendo un tubo sottile di vetro liscio nell'acqua, nell'alcool, ec. Se il tubo non è suscettivo di esser bagnato dal liquido in cui viene immerso, il livello dell'interno è più basso dell'esterno; come si osserva immergendo nel mercurio un tubo bagnato, o nell'acqua un tubo unto.

I fenomeni capillari sono assolutamente indipendenti dalla pressione atmosferica, poichè sono gli stessi nell'aria e nel voto.

Sotto il nome di fenomeni capillari, non si comprendono solamente quelli che si osservano nei tubi stretti, ma molti altri ancora, che son prodotti dall'attrazione esercitata a piccolissime distanze.

Le azioni che producono i fenomeni capillari, non si esercitano che a distanze piccolissime. Per dimostrarlo in un modo sperimentale, si immergano nell'alcool o nell'acqua molti tubi di vetro di egual diametro interno, ma di pareti di grossezza diversa; e si vedrà che il liquido si alza in tutti alla medesima altezza. Parimente se si immergano in un liquido due palle, una vota, di vetro sottile, l'altra di vetro sodo, ed ambedue di egual diametro, egual quantità di liquido s'eleverà intorno all'una e all'altra. A queste esperienze si possono aggiungere ancora i resultamenti che si ottengono dai dischi. Si sa che un disco di vetro, di metallo, ec., posto sulla superficie d'un liquido, non può esserne sollevato se non con un peso superiore al suo: il qual eccesso di peso, che dipende dall'attrazione esercitata dalla materia del disco sul liquido, è lo stesso, qualunque sia la grossezza del disco medesimo. Così pure in due tubi di egual diametro, bagnati interamente con un liquido in cui poi vengano immersi, il liquido si alza allo stesso livello, di qualunque natura sia la loro sostanza.

Clairaut avea data una teoria matematica dei fenomeni capillari, ma incompleta. Laplace ha trattato questo argomento con tutta l'estensione; e indicheremo qui i principali resultamenti ai quali dall'analisi è stato condotto questo illustre Geometra.

E primieramente si osservi, che un liquido in riposo esercita

sopra se stesso un' azione indipendente dalla gravità terrestre, la qual' azione tende a far entrare nell' interno del liquido le molecole situate alla sua superficie, e che produrrebbe realmente questo effetto, se non vi si opponesse la resistenza che resulta dalla impenetrabilità. I calcoli di Laplace dimostrano, che se per una circostanza qualunque, la superficie divien concava o convessa, come accade nei tubi capillari, l' azione del liquido sopra se stesso è diversa da quella che era nel caso di una superficie piana.

Sia F l' azione d' una superficie piana, ed R il raggio d' una superficie convessa sferica, l' azione della quale è maggiore della prima, e sarà espressa da $F + \frac{C}{R}$; l' azione di una superficie

concava del medesimo raggio sarà $F - \frac{C}{R}$, essendo C una quantità costante; sicchè la differenza fra l' azione di una superficie piana e quella d' una superficie sferica, è in ragione inversa del raggio della sfera. Il primo caso è quello dell' acqua, dell' alcool e degli altri liquidi che bagnano perfettamente il vetro: il secondo è quello del mercurio.

Partendo da questi dati matematici, è facile trovare la ragione fisica che determina l' ascensione o l' abbassamento dei liquidi nei tubi capillari. Supponiamo infatti che la colonna di liquido in un tubo A termini in un menisco concavo (fig. 49): figuriamoci un secondo tubo, le pareti del quale, infinitamente sottili, sieno il prolungamento della superficie interna del primo: supponiamo inoltre che il tubo si ripieghi per la parte inferiore in modo da venire a terminare in B alla superficie libera del liquido. Il tubo $ACDB$ è premuto ai suoi due orifizii A e B da due forze diseguali; una in B è l' azione di un corpo che termina in superficie piana, l' altra in A , che è quella di un corpo il quale termina in superficie concava; ma questa è più debole, dunque perchè sussista l' equilibrio, bisogna che il liquido sia più elevato nel tubo capillare AC : e poichè nei tubi capillari il raggio del menisco è quello del tubo stesso, ne segue che l' altezza della piccola colonna sarà in ragione inversa del diametro del tubo. Questo resultamento infatti è conforme alle esperienze di molti Fisici, e specialmente a quelle esattissime di Gay-Lussac.

ESEMPII Diametro dei tubi in millimetri	ELEVAZIONE IN MILLIM.	
	Acqua	Alcool
1,294	23,163	9,182
1,904	16,586	6,084

la densità dell'alcool era 0,820 e la temperatura dei liquidi 8° 5 linee.

Se la superficie del liquido fosse convessa, resulterebbero effetti contrarii; poichè l'azione esercitata dalla superficie convessa essendo maggiore di quella esercitata dal piano, il liquido dovrà abbassarsi sotto il livello (*fig. 50*), e l'altezza della colonna sarà in ragione inversa del diametro del tubo; e qui pure l'esperienza è perfettamente concorde con la teoria.

Con la medesima teoria si spiega l'ascensione dell'acqua nell'intervallo di due cilindri concentrici, tra piani e in tubi conici; e si spiega egualmente la forma sferica che prendono le gocce dei liquidi, la curva d'un liquido fra due lastre di vetro alquanto inclinate, ec. Per esempio, se si introduca in un tubo conico di vetro una goccia d'acqua o d'alcool, essa prenderà una forma concava alle due estremità; e poichè l'azione di una superficie è in ragione inversa del suo raggio, è chiaro che il liquido si avanzerà verso il vertice (*fig. 51*).

Vi sono moltissimi fatti prodotti dalla stessa causa dei fenomeni capillari: per esempio, la rapida ascensione dell'acqua in un corpo poroso, come zucchero in pane, mattone, ec. immersi vi; per la stessa ragione l'acqua si eleva nei muri, nei mucchi di sabbia, ec. (*a*)

Moto dei liquidi

49. Il Torricelli scoprì, che un liquido, comechè composto di molecole mobilissime, mentre per un piccolo orifizio sgorga determinato dal suo proprio peso soltanto, nell'escire dall'orifizio ha una celerità eguale a quella che acquisterebbe un grave cadente con libera caduta dalla superficie superiore fino al livello dell'orifizio medesimo. E questo effetto non cambia, quando la superficie superiore e la superficie dell'orifizio sono premute egualmente; dunque anco all'aria libera è lo stesso. Così se la colonna è 15 metri, la celerità al principio dello sgorgo sarà (*n.º 16*) $\sqrt{2 g \cdot S}$ = $\sqrt{2 \cdot 9^m, 8 \cdot 15}$.

Una tal verità è stata messa in chiarissima vista da Girard con varie Memorie sullo sgorgo dei liquidi, nelle quali egli deduce conseguenze molto più estese di quelle che prima di lui erano state dedotte da Dubuat e Gerstner. Egli fa vedere in generale, 1.º che sotto qualunque pressione un dato volume d'acqua sgorga nello stesso numero di secondi, tanto se l'orifizio per il quale

(*a*) Per la teoria completa dei tubi capillari si veggano le Mem. di Laplace, in supplemento alla Meccanica celeste. Si veggia pure una nota di Lehot, molte Mem. di Girard, una Mem. di Navier, alcune Osservazioni di Petit, ec. (*Ann. ch. et phys.* t. 4, 5, 6.)

esce è immerso nell'aria, quanto se è immerso nel liquido, 2.° che in generale, nei tubi suscettivi di esser bagnati, ad una più alta temperatura la quantità di liquido sgorgato in un dato tempo, è maggiore: per es. l'acqua a 84° sgorga con una velocità quattro volte maggiore che a 0.°: 3.° alla stessa temperatura, diversi liquidi hanno diverse velocità, le quali variano appunto in rapporto delle temperature; e a parità di circostanze, l'acqua dà un prodotto maggiore di ogni altro liquido (V. *An. de Chim. et Phys.* t. 1 e 4.)

50. Ciascun punto del fluido e delle pareti del vaso che lo contiene, prova una pressione quasi eguale al peso della colonna fluida che è sopra il suo livello, con l'aumento delle forze estranee applicate alla superficie superiore. Questa pressione è la stessa che in stato di riposo, e da essa ricevono la velocità le molecole che sgorgano. Con l'esperienza si prova (*fig. 52*) che esse non acquistano una velocità massima, se non dopo un tempo alquanto considerevole.

Del resto le *clepsidre*, ossia *orologi a acqua* degli antichi, eran fondate sulla legge dello sgorgo dei liquidi. Infatti da quanto abbiamo detto di sopra (n.° 49), si comprende la possibilità di dividere un vaso pieno di liquido in parti tali, che restino votate in tempi eguali. In varie forme si costruivano questi orologi; ma a noi basta aver indicato il principio della lor costruzione.

La figura descritta dal getto dell'acqua sgorgante, sarebbe una parabola nel voto; ma resta alquanto alterata dalla resistenza dell'aria.

51. Per sapere la quantità di fluido sgorgato bisogna moltiplicare la velocità per la superficie dell'orifizio; e il prodotto sarà il numero cercato per l'unità di tempo. In pratica però si ottiene un effetto eguale a $\frac{5}{8}$ dell'effetto calcolato, la qual

differenza dipende dal restringimento prodotto all'uscita del getto, e che si chiama *contrazione della vena fluida*. La vena conserva qualche tempo lo stesso diametro, e quindi si allarga in forma di spazzola mescolandosi con l'aria. Una tal contrazione è prodotta dalla differenza delle velocità: infatti le molecole che partono dagli orli dell'orifizio, hanno in principio una velocità minore di quelle che parton dal centro; e la loro velocità cresce a misura che esse si avvicinano alla *sezione contratta*, ossia alla sezione della vena contratta (1). Allora tutte

(1) L'acqua deve sgorgare con maggior velocità verso il mezzo dell'orifizio, che verso gli orli, perchè in questi è ritardata dall'attrito che essi producono. Da un dato orifizio adunque, in un tempo dato, sgorgerà una quantità minore d'acqua, che se tutti i fili acquee avessero una velocità uniforme, e ciò tanto più, quanto più stretto sarà

le molecole dal centro fino alla superficie hanno una velocità sensibilmente eguale che differisce pochissimo dalla calcolata. Su questo argomento si possono consultare l'opera di Belidor con le note di Navier, e la memoria di Hachette, inserita negli *An. de Chim. et Phys.* 1817-1818, ec.

Sembra che la sezione contratta sia appunto l'orifizio che dee considerarsi: infatti adattando un tubo simile ed eguale alla porzione della vena fluida compresa fra l'orifizio e la sezione contratta, il prodotto dello sgorgo è lo stesso. Questo accordo ha suggerito un mezzo indiretto ma esatissimo, per misurare la sezione contratta, il quale consiste nel paragonare il prodotto dello sgorgo sotto una pressione costante e per un orifizio noto, col prodotto che si avrebbe secondo la legge del Torricelli. Dal rapporto di questi due prodotti, si ha quello della sezione contratta alla superficie dell'orifizio, e poichè questa è nota, così conosceremo l'altra.

La costanza del livello è una condizione rigorosamente necessaria per l'esattezza delle esperienze di questo genere; la qual condizione facilmente si osserva, facendo venire nel vaso una corrente continua di liquido, l'eccesso del quale sgorga per un orifizio preparato nella parte superiore del vaso stesso. Si può ancora far uso d'un mezzo ingegnoso immaginato da Prony. Questo consiste nel metter un galleggiante nel vaso in cui si vuol conservare un livello costante: a questo galleggiante si fissa in qualche modo il vaso che riceve il liquido sgorgato; di maniera che esso tanto più si immerge quanto più è il liquido sgorgato, e nell'immergersi riempie press' a poco lo spazio che occupava il volume d'acqua sparito (*fig. 53*).

Si osservi ancora, che la porzione della vena la quale non è ancora disunita per effetto della mescolanza dell'aria, sembra in un perfetto riposo; che il getto, qualunque sia la forma dell'orifizio, descrive visibilmente una parabola; che gli altri elementi della vena contratta, son modificati dalla forma dell'orifizio. L'altezza poi del liquido, e la forma dei tubi aggiunti, influiscono singolarmente sul prodotto dello sgorgo: così, la quantità di liquido sgorgato sarà minore se la parete è convessa dalla parte del liquido (*fig. 54*), e maggiore nel caso contrario (*fig. 55*).

Si chiama *pollice d'acqua* la quantità d'acqua sgorgata da un orifizio circolare d'un pollice di diametro, sotto la pres-

l'orifizio, perchè le circonferenze dei cerchi essendo fra loro come i diametri, mentre le superficie sono come i quadrati dei medesimi, i piccoli orifizii avendo maggior circonferenza in proporzione dei più grandi, ritarderanno più la velocità dell'acqua, relativamente alla quantità che dovrebbe sgorgarne.

sione di sette linee sopra il suo centro. La quantità d'acqua che sgorga in un minuto dall'orifizio d'un pollice di diametro, è 28 \mathcal{E} , o 13^{lit}, 706; il che equivale a un cilindro d'un pollice di diametro, e lungo 880 pollici.

Se si vuol sapere in pollici d'acqua la portata d'un ruscello, basterà ricever l'acqua che esso somministra in un minuto, e dividere la sua quantità per 28 libbre e il quoziente esprimerà il numero cercato di pollici d'acqua.

Spesso è impossibile trovar direttamente la quantità d'acqua sgorgata, e in tal caso si supplisce con l'osservarne la velocità. A tal effetto, si getta sulla superficie dell'acqua una palla di tal densità, che vi si immerga quasi completamente; per es. una palla di cera, alla quale si unisce un corpo anco più denso, con un orologio a secondi se ne osserva la velocità in un minuto; e dividendo questo numero per 880, si ha il numero dei pollici d'acqua che in un minuto somministrerebbe una sezione circolare di un pollice.

Questo calcolo però dovrà esser relativo alla superficie, perchè è stato provato, che la velocità d'un acqua profonda non è la stessa alla sua superficie e nel suo interno.

Quanto abbiamo detto fin qui relativamente al pollice, si riferisce ad una pressione di sette linee: per un'altezza diversa si ricorre alla regola del Torricelli, dalla quale si sa, che la portata è proporzionale alla radice quadra dell'altezza; 28 pollici di pressione, darebbero un prodotto doppio, 63 uno triplo ec.

52. Diciamo qualche cosa dei getti d'acqua. Sia un vaso ABCD (fig. 56) pieno d'acqua fino all'altezza AB: il liquido che sgorga per E ha una velocità eguale a quella che avrebbe un corpo che cadesse da questa altezza: dunque deve elevarsi ad un'altezza EF eguale ad AB. Tale infatti è l'altezza che si osserva nel voto, ma nell'aria è molto minore, per motivo della resistenza che questa gli oppone. Ecco la formola dedotta dalle esperienze di Mariotte: chiamando H, H' le altezze di due serbatoi, e h, h' quelle a cui si vogliono elevare i getti d'acqua, si ha la proporzione $H - h : H' - h' :: h^2 : h'^2$. Sapendosi per esempio che un'altezza di 5 piedi e 1 pollice produce un getto di 5 piedi, si voglia sapere l'altezza d'un serbatoio capace di produrre un getto di 100 piedi. Sostituendo nella formola citata questi valori, avremo 5^{pi.} 1^{pol.} — 5 : X — 100 :: 5² : 100², da cui si ha X = 133 $\frac{1}{3}$ piedi, altezza da darsi al serbatoio, per avere un getto di 100 piedi. Perchè per altro questa regola sia concorde con l'esperienza, bisogna dare al getto una piccola obliquità, affinché il liquido che ricade verso la terra, non indebolisca la velocità del getto ascendente.

53. Mongolfier, inventore degli aerostati, ha tratto partito

dalla velocità che acquista un liquido in moto, per costruire una macchina semplicissima e molto ingegnosa, a cui ha dato il nome di *ariete idraulico*. Questa macchina (*fig. 57*) è composta di un tubo orizzontale AB che riceve l'acqua da un serbatoio AC, e che termina con uno slargamento circolare ecc: queste aperture *c, c, c* son chiuse dall'alto in basso da palline sferiche, le quali son tenute immediatamente sotto le aperture per mezzo di cordicelle o nastri. MN è una campana di ferro fuso, nel fondo della quale sono alcune cavità, che comunicano col tubo verticale EF destinato a condurre l'acqua all'altezza voluta; *k, k* sono aperture tenute chiuse da palline simili a *c, c, c*, e nella stessa maniera. Finalmente G è un piccolo serbatoio d'aria, che comunica col tubo orizzontale AB; e questo è un perfezionamento fatto alla macchina dal figlio dell'inventore. Tutta la macchina poi è tenuta solidamente fissa o con muramento o con incassatura. Per modelli ad uso dei gabinetti di Fisica, la campana MN, il serbatoio C e il condotto EF sono di vetro, affinchè sieno visibili gli effetti.

Vediamo ora l'azione della macchina. Il liquido che scende dal serbatoio, sgorga primieramente per le aperture *c, c, c*, ma presto queste aperture restan chiuse dalle palline. Il liquido così trattenuto tutto a un tratto, esercita una pressione contro tutte le parti interne della macchina, e solleva le palline *k, k*, e però una certa quantità d'acqua passa nella campana; quest'acqua cade nelle indicate cavità, e sale nel tubo EF. Dopo questo primo effetto, il liquido perde gran parte della sua velocità, e le valvole *k, k* si chiudono per effetto del loro proprio peso. Le valvole *c, c, c* si aprono in virtù del loro peso, e della reazione delle pareti del tubo orizzontale, e quindi riprendono gli stessi effetti. Il corso dell'acqua per il tubo verticale, come pure l'azione delle valvole resterebbe interrotta, se non vi fosse l'aria dell'interno della campana, la quale essendo compressa dal liquido introdotto, rende continuo lo sgorgo dell'acqua. Del resto, l'ariete idraulico è stato adoprato in molte circostanze.

Di alcuni strumenti di uso più comune

54. Gli strumenti più frequentemente adoprati nelle ricerche scientifiche, sono il termometro, il barometro, l'igrometro, il microscopio, la macchina pneumatica, la bilancia, il verniero, la vite, il comparatore e lo sferometro. Della bilancia abbiamo già parlato (n.º 34); parleremo in altro luogo dei primi cinque, e qui tratteremo soltanto degli ultimi quattro, che sono principalmente destinati a misurar l'estensione.

Il verniero è così detto dal nome del Geometra francese che lo ha inventato. Sia un regolo AB (*fig. 58*) diviso in dieci parti, e si voglia sapere la lunghezza d'una data linea CD: sovrapposta

questa sul regolo, occuperà un certo numero di divisioni, per es. 9, più una frazione di divisione; ed appunto questa frazione si cerca di calcolare rigorosamente. A tal fine si costruisce un altro regolo diviso in parti più piccole di quelle del primo, sicchè 10 di queste parti occupano 9 divisioni di quello (fig. 59). Soprapposti questi due regoli in modo che due delle loro estremità A. H coincidano, la prima divisione di H K sarà addietro della prima divisione di AB di $\frac{1}{10}$ D (chiamando D una divisione di AB), la seconda, di $\frac{2}{10}$ D, e così di seguito. Ora si faccia scorrere il regolo H K (fig. 60) in modo che la sua prima divisione corrisponda alla prima di AB. È chiaro che la sua ultima divisione nel tempo stesso si sarà avanzata di $\frac{9}{10}$ D: essa si avanzerà pure di $\frac{1}{10}$ D se si applica la seconda divisione di HK sulla seconda di AB. Se ora il punto D del regolo C D cadesse in K, avremmo la sua lunghezza, che sarebbe 9 divisioni di AB più $\frac{1}{10}$ di divisione. Se il punto D cadesse fra due decimi, si valuterebbe la frazione approssimativamente. Più esatta sarebbe l'operazione, se il verniero occupasse un maggior numero di divisioni del regolo AB; ma bisogna contenersi dentro un certo limite, perchè una troppo minuta divisione renderebbe difficile l'osservare la perfetta coincidenza delle parti.

Questo strumento si applica con egual facilità alle divisioni circolari. In molti casi il verniero striscia a incastro, lungo il regolo, come si usa nelle tavolette dei barometri e qualche volta si fissa ad una vite, affinchè il suo moto sia lento ed unito.

Della Vite

55. La vite si adopra spesso per dividere in parti eguali una lunghezza data, per valutare distanze piccolissime ec. Così si usa per suddividere le grandi divisioni dei tubi termometrici in parti di egual capacità; ma in tal caso si suppone eguale il diametro in tutta la lunghezza di ciascuna gran divisione, che può contenere dieci o più gradi. È necessario che i passi della vite destinata a questo uso sieno regolarmente e uniformemente distanti (fig. 61). Per verificare questa condizione, si divide in parti uguali la testa circolare CD e se ne riferisce il corso a un indice fisso AB. Così se la divisione circolare sia di 400 parti, girandola per una di queste parti, si farà avanzar la vite $\frac{1}{400}$ di passo; cioè, per es., di $\frac{1}{400}$ di millimetro, se il passo è un millimetro. Una vite ben fatta percorrerà sempre spazii eguali in egual numero di giri.

Dello Sferometro

56. La vite disposta in una certa maniera, è stata adoprata per misurare la curva de' vetri sferici e la grossezza delle lastre;

ed in questa disposizione è stata chiamata *sferometro* (fig. 62). In sostanza, questo non è che la vite precedentemente considerata, posta in una situazione verticale. Lo sferometro è composto di tre bracci d'acciaio orizzontali: alle estremità di essi sono tre aste verticali, parimente d'acciaio, che vanno assottigliandosi in basso, fino a terminare in tre punti a, a, a : nel centro è la vite; e questa e le tre punte a, a, a , posano sopra un piano di vetro.

Per mezzo di questo strumento si conosce facilmente se una superficie di vetro è piana. Si dispone il tutto in modo, che quando la punta c della vite tocca la superficie del vetro, anche le tre punte de' piedi sieno a contatto col piano di vetro, sul quale sta tutto l'apparecchio. Se si faccia strisciare un poco, ci accorgeremo della minima disegualianza della superficie, dalla minore stabilità dell'apparecchio; e dalla natura del suono che produrrà, perchè questo sarà molto diverso da quello che vien prodotto quando le quattro punte a, a, a, c posano tutte sul vetro. Se si vuol riscontrare l'eguaglianza di curva di una lente, si mettano a contatto di questa le quattro punte, osservando che la punta c sia nel centro di essa; e quindi per mezzo del moto di rotazione dello strumento, apparirà la minima differenza di curva, con i medesimi indizii di sopra. In quanto alla grossezza d'una lastra, può misurarsi col moto della vite CD . Se nell'operazione vi sia da temere, che la lastra che si sperimenta venga alterata, si porrà sopra un'altra lastra con le faccie perfettamente parallele.

Questo strumento, quale lo abbiamo descritto, fu inventato da Cauchois: un altro di forma diversa, ma destinato ad usi analoghi, e chiamato con lo stesso nome, era già stato descritto da L. R. D (*Journ. de Phys.* 1776), il quale lo destinava specialmente per misurare i raggi della curva delle lenti concave e convesse, al qual uso l'hanno pur fatto servire Rochon e altri fisici.

L'applicazione dello sferometro a questo uso è fondata sopra una proposizione di Geometria; cioè, il seno retto OP (fig. 63) è medio proporzionale fra il seno verso AO e la parte OB del diametro compresa fra il seno verso e la circonferenza. Tutto consiste dunque nel misurare il diametro CD e la grossezza EF di un vetro lenticolare (fig. 64). Il primo è il doppio del seno retto, e il secondo è il doppio del seno verso. In virtù della stessa proporzione, si avrà OB , e in conseguenza AB doppia del raggio di curvatura della lente.

Del Comparatore

57. Il comparatore serve a provare l'eguaglianza di due lungherie, o a riconoscere la loro differenza, se sono diseguali. Que-

sto strumento è composto di un regolo metallico AB forte e dritto (*fig. 65*). All'estremità A è un pezzo che serve d'appoggio per i regoli che si paragonano; un telaio mobile percorre al regolo per tutta la sua lunghezza, e si fissa per mezzo di viti il punto conveniente. A questo telaio è adattato un grosso pernio, intorno al quale gira una leva ad angolo *bac* a bracci molto diseguali. Il moto del braccio *ac* è indicato da un verniero. Or se si vogliono paragonare due regoli, se ne situa uno sul comparatore, in modo che sia appoggiato contro il pezzo A, e si porta il braccio *b* a contatto con l'altra estremità: allora si fissa il telaio, e si nota il punto della division circolare ove si ferma l'estremità *c*. Quindi si leva il regolo, e si sostituisce l'altro, senza toccare il telaio, e per mezzo di una molla F si spinge il braccio *b*, e si procura che si applichi esattamente contro il regolo. Se l'estremità *c* corrisponde alla stessa divisione, i due regoli sono eguali altrimenti son diseguali, e può rilevarsene la differenza. Per es., se l'estremità *c* ha corso per 3 linee, e il braccio *ac* sia dieci volte più lungo del braccio *ab*, la differenza dei due regoli sarà $\frac{3}{10}$ di linea.

DEL CALORE

Spiegazione del Termometro

58. Un corpo solido presenta una resistenza, quando si vuol dividere in parti; la qual resistenza, diversa nei diversi corpi, prodotta dall'attrazione, sarebbe sicuramente maggiore, se le molecole fossero soggette a questa sola forza: ma il calore sparso nell'interno di tutti i corpi, tende continuamente ad allontanarne le parti, che li compongono, e così equilibra più o meno gli effetti dell'attrazione molecolare. Questa causa ignota dei fenomeni del calore, è stata chiamata per lungo tempo col nome di fuoco, o materia del calore; ma nella moderna chimica è stata chiamata col vocabolo di *calorico*, vocabolo generalmente adottato.

Il calorico è talmente sottile, che vana è riuscita finora ogni indagine dei fisici per provarne la materialità, ossia per ridurlo in stato di palpabile; e incerta è pure l'esistenza del calorico considerato come sostanza. Anzi molti fisici distinti l'hanno messa in dubbio, supponendo invece che il calore non sia che l'effetto di un moto interno, il quale determini il ravvicinamento o lo allontanamento delle molecole secondo le circostanze.

Di queste due ipotesi noi adotteremo quella, con la quale si ammette la materialità del calorico, perchè è la più comoda per la spiegazione dei fatti, e perchè per essa più facilmente si concepiscono. Dopo aver poi esaminati i fenomeni del calore, potremo più facilmente discutere l'una e l'altra.

Il calorico è un fluido sottilissimo, che penetra in tutti i corpi ed accresce in generale il loro volume a misura che si accumula in essi; dai quali poi esce continuamente in forma di raggi. Se due corpi si trovino alla presenza uno dell'altro, accadono tali baratti di calorico fra loro, che presto ne resulta l'eguaglianza o l'equilibrio di temperatura. La *temperatura* d'un corpo dipende dalla tendenza, che il calorico contenuto in esso ha ad escirne; e questa temperatura è più o meno alta, secondo che maggiore o minore è questa tendenza.

59. Sono stati imaginati alcuni strumenti detti *Termometri*, per mezzo dei quali si può misurare la temperatura dei corpi. Chiunque sia l'inventore del Termometro, o Galileo, o l'olandese Drebbel, è certo che ebbe origine sul finire del secolo decimo sesto. Il Termometro di Drebbel consisteva in un tubo terminato con una piccola palla piena d'aria: s'immergeva la parte aperta del tubo nell'alcool colorato, che entrava in esso a misura che per mezzo del calore si dilatava l'aria della pallina: si applicava poi questo piccolo apparecchio sopra una tavoletta divisa, e si giudicava del freddo e del caldo dall'ascensione

e dall'abbassamento della colonna liquida. Abbastanza visibili appariscono i difetti d'un tale strumento. Gli Accademici del Cimento formarono ben presto un termometro della forma (degli ordinarii termometri a alcool; e col togliere da esso ogni influenza barometrica, l'avevano molto perfezionato; ma il loro strumento non aveva alcun punto fisso, sicchè non era paragonabile nè con se stesso, nè con gli altri strumenti costruiti col medesimo metodo. Newton nel 1701 vedeva la necessità d'un intervallo costante, e per punti estremi del suo termometro prese l'acqua bollente ed il ghiaccio, quando si fonde, e si servì dell'olio di lino. Sembra che anco Amontons verso l'istessa epoca prendesse il punto dell'acqua bollente per termine fisso.

Réaumur costruì il suo termometro nel 1730; si servì di un alcool, che ognuno poteva procurarsi del medesimo grado di purità in tutti i tempi ed in ogni paese, e che dalla congelazione dell'acqua fino al punto del suo massimo riscaldamento senza bollire, si dilatava $\frac{1}{100}$ del suo volume a zero: inoltre ogni grado della sua scala era la millesima parte della capacità della pallina e del tubo fino a zero. Per graduare il suo termometro si serviva dello stesso metodo con cui in oggi si dividono i tubi destinati a misurare i gas. Ben conobbe le condizioni, alle quali deve soddisfare un buon termometro; ma la congelazione artificiale dell'acqua, e la più alta temperatura, a cui possa arrivar l'alcool senza bollire, non sono termini tanto fissi quanto egli supponeva. Deluc ha contribuito molto al perfezionamento del termometro, sostituendo il mercurio all'alcool, e prendendo per punti fissi il ghiaccio quando si fonde, e l'acqua bollente. Per i termometri però destinati a determinare i grandi freddi, si fa uso dell'alcool che non gela a nessun freddo noto, mentre il mercurio si congela a -39° .

60. Indichiamo ora la costruzione del termometro quale presentemente si costruisce. Prima di tutto bisogna scegliere un tubo che in tutta la sua lunghezza abbia uniforme il diametro interno. Si versa pertanto una piccola colonna di mercurio nel tubo; e se questo metallo occupa lo stesso intervallo in un punto qualunque, il tubo sarà perfettamente cilindrico: ma di rado si trova questa perfezione in tubi anco di un mezzo piede soltanto. È vantaggioso adunque il poter dividere un tubo in parti di egual capacità; e ciò si ottiene introducendovi una colonna di mercurio che ne riempia più della metà; se quindi, voltando il tubo, si porta in n l'estremità della colonna di mercurio, che era in b , (fig. 66) quella che era in m si troverà un poco al di là del centro a . Ora è chiaro che le due porzioni ma , nb sono eguali in capacità, e però si troverà il vero mezzo del tubo, dividendo la porzione ab in due parti di egual capacità; ora questo intervallo è così piccolo che senza errore sensibile può ri-

guardarsene il diametro come eguale in tutta la sua lunghezza. Basterà dunque prender la metà della linea ab , e il punto di divisione sarà il vero punto di mezzo del tubo. Si potrà operare nella stessa maniera relativamente a ciascuna metà, e così di seguito; sicchè il tubo intero sarà esattamente diviso in parti di egual capacità.

Questo ingegnoso metodo proposto da Gay-Lussac è molto più comodo di quello di Reaumur, specialmente per i tubi di piccolo diametro, ai quali quest'ultimo non è applicabile.

Mi sia permesso però di accennare un altro metodo che io ho spesso adoprato. Questo consiste nell'introdurre nel tubo che si vuol graduare una colonna di mercurio eguale a un decimo in circa della sua lunghezza. Sia ab (*fig. 67*) questa colonna: si segmino in modo visibile i punti a e b , si porti quindi l'estremità a in b e l'estremità b in d : è chiaro che le due parti ab , bd sono eguali in capacità, e sarà lo stesso di tutte le altre parti ottenute in questa maniera. Il resto si compie col metodo precedente. Varii termometri, da me costruiti in questa maniera, sono riesciti perfettamente concordi fra loro.

Ad una delle estremità del tubo graduato (*fig. 68*) si forma una pallina o un cilindro R, ed all'altra un tubo più largo AB. Si scalda primieramente il tubo in tutta la sua lunghezza per ben prosciugarlo: quindi per il tubo AB si versa mercurio asciutissimo, l'aria si condensa per effetto del raffreddamento, e il mercurio cade nel serbatoio. Si posa il termometro sopra una graticola inclinata, si circonda di carboni accesi, e si fa bollire il mercurio per scacciare totalmente l'aria e l'umido che restano aderenti alle pareti interne del tubo. Quando il mercurio ha bollito abbastanza ed è poi raffreddato, si vota il tubo superiore; si riscalda il mercurio che resta, per farne escire una porzione, e si fonde alla lucerna l'estremità del tubo, osservando di presentarlo alla fiamma nel momento in cui il mercurio, il quale si ritira in virtù della contrazione che prova, è vicinissimo al punto che si vuol fondere. Così si esclude tutta l'aria dal tubo capillare, reputata fin qui molto nociva alla perfezione dello strumento. Ma da che il Canonico Bellani ha richiamata per la prima volta l'attenzione dei fisici sulla variazione dello zero del termometro a mercurio, e da che le osservazioni di Flaugergues sulla elevazione che la pressione atmosferica fa provare col tempo allo zero termometrico, è stata confermata dai fisici, conviene lasciare nell'estremità superiore del tubo un piccolo serbatoio B pieno d'aria (*fig. 69*): si chiude adunque, quando il mercurio è in A, limite della scala del termometro. Quest'aria così lasciata, facendo sempre sensibilmente equilibrio, con la sua elasticità, alla pressione dell'atmosfera, impedisce la variazione del serbatoio R, e in conseguenza lo spostamento dello zero. Che

se la colonna di mercurio venga a dividersi per l'introduzione di una bolla d'aria, basta rovesciare il termometro con forza, e presto l'aria ritorna nel piccolo serbatoio B. Determiniamo ora i punti fissi della scala di questo strumento.

Lo zero si ottiene nel modo seguente. S'immerge nella neve tutta la parte del termometro che contiene mercurio; osservando però che la temperatura circostante sia superiore a zero, perchè possa cominciare a fondersi la neve, e quindi dare una temperatura costante.

Si sa che la liquefazione di un corpo accade sempre alla stessa temperatura. Dall'altra parte è un fatto generale di cui svilupperemo in seguito le conseguenze, che ogni volta che un corpo comincia a fondersi conserva una temperatura costante fino alla sua totale fusione; e tutto il resto del calore serve al cambiamento di stato. Questo punto della fusione della neve o del ghiaccio, è più certo di quello della congelazione artificiale dell'acqua: il primo ha luogo alla stessa temperatura in tutti i tempi e in tutti i luoghi; il secondo presenta molta incertezza, giacchè l'esperienza ha provato, che l'acqua pura in certe circostanze può restar liquida fino a 12.° sotto lo zero.

Il secondo punto fisso è quello dell'acqua bollente, giacchè un termometro che vi si immerga, rimane stazionario per tutto il tempo dell'ebullizione; e questo fatto è tanto generale quanto quello della fusione della neve, se non che bisogna indicare alcune precauzioni necessarie ad assicurare l'esatta determinazione di questa temperatura. E primieramente l'acqua deve essere perfettamente pura, al che basta una sola distillazione. Quindi bisogna che il vaso nel quale si opera sia di metallo, giacchè vetro o porcellana farebbero provare alla temperatura dell'acqua bollente una variazione di temperatura di uno o due gradi e più ancora. Lo strato in ebullizione non deve oltrepassare i due pollici, affinchè il vapore che si forma nel fondo del vaso non debba sollevare che una piccola colonna. Bisogna inoltre consultare lo stato del barometro, giacchè l'acqua non arriva all'ebullizione a 100° se non quando l'altezza del mercurio nel barometro è a 0^m, 76. Quando quest'altezza è minore o maggiore di 0^m, 76, la temperatura dell'acqua bollente è inferiore o superiore a 100. Ma poichè si conosce la variazione della temperatura corrispondente a un cambiamento dato nell'altezza barometrica, si può sempre col calcolo ridurre il punto dell'acqua bollente alla pressione di 0^m, 76 (a). Nel prender lo zero della scala abbiám detto esser necessario circondare di neve tutta la parte del termometro, che contiene mercurio. Per avere il secondo punto, è necessario egualmente dare la temperatura

(a) Secondo il Rev. D. Wollaston, 27^{mm} di pressione corrispondono a un grado centigrado.

dell'acqua bollente a tutta la colonna, per il che basterà immergere il termometro nel vapore, poichè è un fatto osservato, che un piccolo strato di liquido in ebullizione è alla stessa temperatura del vapore che se ne svolge.

Per eseguire comodamente quest'operazione, si costruisce un vaso a doppio fondo, di latta o meglio di rame (*fig. 70*); la parte A B contiene l'acqua: a questa prima parte è adattato un tubo HK formato di molti pezzi incastrati fra loro e che possono separarsi a piacere: il termometro viene introdotto per l'apertura O. Dalla sola disposizione di questo apparecchio si vede, che il serbatoio e la colonna di mercurio sono interamente immersi nel vapore, l'eccesso del quale esce per le aperture laterali *m, n*. Il punto a cui si ferma il mercurio, non oltrepassa che pochissimo il turacciolo a traverso del quale è introdotto il termometro, sicchè tutta la colonna ha sensibilmente la temperatura dell'acqua, e inoltre si può alzare o abbassar lo strumento a piacere.

È raro che i due punti fissi corrispondano a divisioni intere, ed è più raro ancora, che l'intervallo fra questi due punti sia eguale a 100 divisioni; sicchè bisogna fare una tavola per ogni termometro costruito in questa maniera. Per i termometri destinati alle arti e agli usi della vita, basta dividere in cento parti di egual lunghezza l'intervallo compreso fra i due punti fissi, senza graduazione preliminare. In tutti i casi i gradi son presi positivamente al di sopra dello zero, e negativamente al di sotto.

Questo termometro quale lo abbiamo descritto, è conosciuto sotto il nome di termometro centigrado. Se l'intervallo compreso fra il ghiaccio e l'acqua bollente è diviso in 80 parti, si avrà il termometro volgarmente detto termometro di Réaumur. Questi due termometri si usano generalmente in Francia, in Spagna e in Italia.

Il termometro usato in Inghilterra e in Germania è diviso diversamente. Questo è pure a mercurio, e fu proposto da Fahrenheit nel 1724. Esso ha per termini fissi il calore dell'acqua bollente, e il freddo prodotto da una mescolanza di parti eguali di sal marino e di neve. L'intervallo compreso fra questi due punti è diviso in 212°; e il 32^{mo} grado corrisponde al nostro zero.

Lo zero però di questo termometro ha qualche grado d'incertezza; poichè vedremo all'articolo dei freddi artificiali, che è necessaria la combinazione di molte circostanze, perchè una mescolanza frigorifica produca il medesimo grado di freddo in due operazioni diverse. Nel costruire però un tal termometro, i Tedeschi seguono lo stesso metodo da noi indicato, e segnano con 32 il punto del ghiaccio quando si fonde, e con 212 il punto dell'acqua bollente.

Il termometro usato nei paesi settentrionali non differisce dal centigrado che in quanto alla divisione. Esso è a mercurio; la

temperatura dell'acqua bollente è segnata con 150; quella del ghiaccio con zero. La divisione proposta da Delisle nel 1733, la quale non aveva che un punto fisso, cioè quello dell'acqua bollente, non è più in uso.

Crediamo superfluo ricorrere al calcolo, per dimostrare che due termometri costruiti sulla medesima scala e con masse diseguali di mercurio devono esser concordi, poichè ciascun grado essendo la centesima parte della dilatazione dallo zero all'acqua bollente, i due termometri immersi nella stessa sorgente di calore indicheranno necessariamente il medesimo numero di gradi.

Spesso è utile il tradurre nel linguaggio del nostro termometro i resultamenti di osservazioni fatte con gli altri termometri. Ciò è facilissimo, giacchè 80° gradi di Réaumur, 180 di Farenheit, 150 di Delisle, corrispondendo a 100 gradi del termometro centigrado, basterà una semplice proporzione per ottenere la trasformazione voluta. Per esempio, si vogliano ridurre 65 gradi di Réaumur in gradi centigradi; si avrà $80 : 100 :: 65 : x = 65 \times \frac{100}{80} = 81^{\circ}, 25$.

Bisogna osservare però di toglier prima 32 dal numero dei gradi di Farenheit: così per sapere a qual grado centigrado corrisponde il 115^m di Far. si farà la proporzione $212 - 32 : 115 - 32 :: 100 : x = 46^{\circ}, 11$.

Nell'articolo della *Meteorologia*, si parlerà più opportunamente del termometro adattato per conoscere il massimo e il minimo grado di temperatura; e nell'articolo delle *Dilatazioni* avrà luogo una più completa teoria del termometro, e dei varii pirometri destinati a più alte temperature (a).

Termometro Differenziale

61. Vi sono alcune circostanze in cui il termometro, quale lo abbiamo descritto, non può servire. Per esempio, quando si

(a) Sieno K, e K' le dilatazioni apparenti di una stessa sostanza, contenuta in uno stesso involuppo, alle temperature t, t' ; D, D' sieno le dilatazioni assolute della stessa sostanza; d, d' le dilatazioni assolute della materia dell'involuppo: avremo $K = D - d$; $K' = D' - d'$. Se il rapporto fra le dilatazioni assolute della sostanza e dell'involuppo fosse il medesimo a tutte le temperature, avremmo

$$D : D' :: d : d', \text{ e di qui } D - d : D' - d' :: D : D'$$

Nel qual caso le dilatazioni assolute essendo proporzionali alle dilatazioni apparenti, le temperature indicate da un termometro a involuppo, sarebbero uguali a quelle della sostanza contenuta nel medesimo, ma ciò non accade, come risulta dalla tavola seguente, dedotta dalla Memoria di Dulong e Petit, citata di sopra

Termometro a aria.	300°
Termometro a mercurio.	307, 64
Mercurio.	314, 15

tratta di misurare il calore riunito per mezzo di riflessione nel fuoco di uno specchio, le indicazioni del termometro ordinario, che è pur sensibile alle variazioni del mezzo circostante, sarebbero erronee. Leslie ha imaginato uno strumento che egli chiama *Termometro differenziale*, l'andamento del quale è indipendente dalla temperatura del mezzo che lo circonda, ed ha la forma di U. (fig. 71), ogni braccio del quale termina con una pallina. Una di queste è da lui chiamata *palla focale*, perchè occupa il fuoco dello specchio riflettente. Se questa pallina venga riscaldata, l'aria del suo interno si dilata, e spinge verso l'altra palla una colonna d'acido solforico colorato. Si gradua questo termometro, fissando una differenza di 10 gradi fra le temperature delle due palle, e a tal fine si lascia la palla focale a contatto con l'aria, e si circonda l'altra con una spugna umida, finchè resulti fra loro la differenza di 10 gradi. Si vede facilmente che questo strumento può rendersi più o meno sensibile.

Il *Termoscopio* di Rumford (fig. 72) non è che il termometro differenziale in dimensioni più grandi. Fra poco esporremo alcune esperienze nelle quali questi strumenti sono indispensabili per trovare veri resultamenti.

Proprietà generali del Calore

62. 1.° Il calore emana da tutti i corpi in forma di raggi. Ciò può verificarsi ponendo intorno ad un corpo caldo, in qualunque situazione, un termometro sensibile, il quale con la dilatazione del liquido che contiene indica l'assorbimento del calore. Nè tale effetto può attribuirsi alla propagazione per parte del mezzo circostante, poichè questa trasmissione ha luogo egualmente nel vuoto, e a distanze eguali produce sempre l'istesso effetto, qualunque sia la situazione del termometro.

2.° Il calore si riflette come la luce, facendo l'angolo d'incidenza uguale all'angolo di riflessione. Per rendere evidente questa proprietà, si collocano due specchi sferici concavi, l'uno in faccia all'altro, e in modo che abbiano il loro asse comune. Questa esperienza s'intenderà facilmente, rammentandosi che il fuoco d'uno specchio sferico è nel mezzo del raggio. Così un raggio luminoso mm' (fig. 73) cadendo in m parallelamente all'asse dei due specchi, si riflette e passa per il punto F , metà del raggio BC ; e lo stesso accade di tutti gli altri raggi paralleli all'asse BB' : e se si misurano gli angoli $FmC, m'mC$, si troveranno perfettamente uguali. Ora poichè l'effetto di un corpo caldo posto nel fuoco F' del secondo specchio, si riconcentra quasi totalmente nel fuoco F del primo, il calore deve fare nella sua riflessione un angolo eguale all'angolo d'incidenza. Il corpo freddo però non si riscalda per effetto d'una trasmissione diretta, poichè posto in un

altro punto H più vicino al corpo caldo, si riscalda assai meno. Antichissima è questa esperienza, e Mariotte ne fece menzione nel 1717 nel suo trattato dei colori, e Dufay nel 1726 fece vedere che si poteva pure infiammare un corpo combustibile alla distanza di più di 50 piedi, e che il calore attraversava questo intervallo in un istante impercettibile. Noi citeremo un' esperienza di Davy la quale può eseguirsi nel voto. Questa consiste nell' unire le due estremità di una pila voltaica con un pezzo di carbone *c*, posto nel fuoco di uno specchio *mn* (fig. 74) (vedi la Pila) Prestissimo il carbone diviene incandescente, e riscalda un termometro sensibilissimo, la pallina *a* del quale è nel fuoco di un altro specchio *m' B'*. Il corpo caldo è posto in maniera, che l'effetto prodotto sul termometro non può attribuirsi al moto dell' aria, poichè questo fluido riscaldandosi divien più leggiero, e quindi tende ad elevarsi. Dall'altra parte il voto può farsi nel largo tubo che contiene questo apparecchio (*Elements of Chem. phil.* vol. 1).

3.° L'intensità del calore è in ragione inversa del quadrato della distanza. Dall'esperienza si rileva, che l'intensità scema rapidamente, ma con tal legge che con facilità può rendersene ragione, supponendo un corpo caldo posto nel centro di molte sfere concentriche; ciascuna di queste sfere presa separatamente riceverà sulla sua superficie la stessa quantità di calore: e poichè le loro superficie sono proporzionali ai quadrati dei loro raggi, che sono le distanze del corpo caldo dalle loro superficie, risulta che l'intensità del calore sopra ognuna di queste sfere, sarà in ragione inversa del quadrato del suo raggio o della distanza dalla sua superficie al corpo caldo, il che appunto volea dimostrarsi.

4.° Il calore raggiante penetra in tutti i corpi: più di tutto sono state fatte ingegnose ricerche sul passaggio di esso per le sostanze diafane, e noi indicheremo qui i più importanti risultati.

Il calore oscuro dei nostri fuochi non attraversa il vetro se non difficilmente (*Mariotte*, tom. I, p. 228); e anzi sembra che quello che emana da un matraccio pieno di acqua bollente, non lo attraversi in nessuna maniera. Laroche, pochi anni fa dimostrò, che il calore passando a traverso di sostanze diafane, perde tanto meno quanto più alta è la temperatura dei corpi dai quali emana. Dalla seguente tavola si rileva la proporzione decrescente di tali perdite.

7.° L'azione repulsiva del calore, che produce la dilatazione, secondo l'esperienze di Fresnel, sembra che agisca essa pure a distanze sensibili.

DELLE DILATAZIONI

63. Tutti i corpi cambiano di volume al cambiar di temperatura; e nelle esperienze bisogna aver riguardo a queste variazioni di dimensioni. Importantissima infatti è la cognizione esatta di questi cambiamenti, poichè senza questa non avremmo che un'idea molto imperfetta del termometro, e sarebbe assolutamente impossibile intendere a fondo la teoria del calore. Fermiamoci dunque su questo argomento, e primieramente esponiamo i modi con cui si determinano queste dilatazioni, e quindi citeremo le principali applicazioni.

Dilatazione dei Gas

64. Cominceremo dai gas, perchè questi corpi presentano una gran regolarità nella loro dilatazione. Tutti infatti si dilatano nella stessa maniera e in egual quantità; e il loro coefficiente di dilatazione ha lo stesso valore per ciascun grado della scala termometrica. Per determinarne con precisione la dilatazione, bisogna conoscere il volume sottoposto all'azione del calore. A questo fine si sceglie un tubo graduato simile a quello del termometro, e vi si salda una pallina o un cilindro. Si trova la capacità della pallina e quella di una divisione del tubo, pesando l'apparecchio prima vuoto, poi pieno di mercurio fino alla prima divisione, e finalmente pieno dello stesso metallo. Si osservi di far bollire il mercurio per scacciarne l'aria e l'acqua che aderiscono alle pareti del vetro. Sia p il peso dell'apparecchio vuoto, p' il peso dell'apparecchio pieno di mercurio fino alla prima divisione, $p' - p$ sarà il peso del mercurio contenuto nella pallina: sia p'' il peso dell'apparecchio totalmente pieno di mercurio, $p'' - p'$ rappresenterà il mercurio contenuto nel tubo dopo la prima divisione; e se n è il numero delle divisioni, $\frac{p'' - p'}{n}$ sarà la quantità di

mercurio contenuto in ciascuna divisione. Con questa operazione abbiamo dunque il rapporto fra la capacità di una divisione del tubo, e quella della pallina, presa fino alla prima divisione, e anco fino a una divisione qualunque. Il gas sottoposto all'esperienza deve essere asciuttissimo (a), al che si

(a) Se il gas non fosse prima prosciugato, il vapore dell'aria contenuto nella pallina si depositerebbe in parte in stato di ghiaccio, quando la cassetta fosse alla temperatura di 0°, e questo ghiaccio si ridurrebbe in vapore ad una temperatura più alta.

giunge fissando al tubo pieno di mercurio un altro tubo più largo, contenente cloruro di calcio fuso (*fig. 77*). Si rovescia questo piccolo apparecchio, si scuote, il mercurio cade, e l'aria entra nel tubo, prosciugata nel passare per il cloruro: si opera poi in modo da lasciare nel tubo una piccola colonna di mercurio, che resti a piccola distanza dalla pallina, quando questa è immersa nel ghiaccio, al che si giunge facilmente con un poco di pratica. Ora resta da elevarsi il gas a diverse temperature. Si pone pertanto il tubo orizzontalmente in una cassetta di latta piena primieramente di ghiaccio, e poi di acqua ad una temperatura di 10° , 20° , ec. fino a 100° , osservando d'immergere il tubo in ciascuna operazione fino all'indice *m*. La temperatura dell'acqua è data da più d'un termometro. Nel fare questa esperienza con qualunque gas, si vede che l'indice, per un egual numero di gradi, percorre un egual numero di divisioni: dunque la dilatazione è una stessa frazione del volume a zero. Questo modo di operare è stato eseguito quasi contemporaneamente da Dalton in Inghilterra, e da Gay-Lussac in Francia: il primo ha trovato 0,00372, e il secondo 0,00375 per la dilatazione corrispondente ad ogni grado centigrado. Il numero di Gay-Lussac, che combina con quello dato dall'astronomo Tobia Mayer per l'aria, sembra che sia il vero numero.

L'aria umida, nello stesso apparecchio, si dilata al pari dell'aria asciutta; in egual maniera pure si dilata il vapore di etere solforico: quindi è molto probabile che tutti i vapori abbiano lo stesso coefficiente di dilatazione dei gas permanenti.

Charles aveva conosciuto da molto tempo l'egual dilatazione dei gas, come lo dichiara ancora Gay-Lussac nella sua memoria, ma non aveva osservato nè i gas solubili, nè l'estensione della dilatazione. Dulong e Petit hanno confermato i risultamenti precedenti, e si sono assicurati che la dilatazione si mantiene uniforme fra -36° e $+300^{\circ}$; e Davy ha parimente provato, che il coefficiente di dilatazione dell'aria non cambia nè per rarefazione nè per condensazione di questo fluido. Le nozioni precedenti bastano per metterci in grado di fare sul volume dei gas tutte quelle correzioni, le quali non dipendono che dal cambiamento di temperatura.

1.^a *Esempio.* Portare a 45° un volume di 35^{lit} , 55 d'aria presa a zero. Qualunque volume si dilata 0,00375 per ogni grado; 35^{lit} , 55, da 0° a 45° si dilateranno $0,00375 \times 45 \times 35$, 55, cioè 5^{lit} , 999 per la dilatazione totale, la quale, aggiunta al volume 35^{lit} , 55 dà 41^{lit} , 549 per il volume dilatato a 45° .

2.^a *Esempio.* Ridurre a 0° un volume di gas di 153^{lit} , 27 preso a 36° , 5. Poichè il coefficiente di dilatazione 0,00375 è relativo al volume zero, non si può portare che su questo ultimo volume. Supponiamolo noto, e sia *V*: da zero a 36° , 5 sarebbe ac-

cresciuto di $V \times 0,00375 \times 36,5$, e sarebbe divenuto $V \times 1,137$; ma è eguale a 153,27; dunque bisogna dividere 153,27 per 1,137 per avere il volume a zero; e facendo l'operazione si ha $134^{lit}, 815$.

3.° *Esempio. Ridurre a $36^{\circ},25$ il volume $83^{lit},547$ preso a $11^{\circ},23$.* Si cerca primieramente il volume a zero operando come nel secondo esempio; e si trova che bisogna dividere 83,547 per $1 + 0,00375 \times 11,23$, ossia per 1,042, il che dà $80^{lit}, 179$. Quindi per portare quest'ultimo volume a $36^{\circ},25$, bisogna operare come nel primo esempio, cioè moltiplicarlo per $1 + 0,00375 \times 36,25$, ossia per 1,136; e si trova $91^{lit}, 083$ (a).

In questi tre esempi son compresi tutti i casi che può presentare la ricerca sui volumi dei gas.

Dilatazione dei Liquidi

65. La dilatazione dei liquidi e dei solidi è ben lungi dalla semplicità che abbiamo trovata in quella dei gas; poichè ogni liquido ha una *dilatazione particolare, e il coefficiente che la esprime cresce al crescer della temperatura*.. Ben facile sarebbe il determinare le dilatazioni dei liquidi, se potessimo procurarci un vaso trasparente, e che conservasse la stessa capacità a qualunque temperatura; giacchè in tal caso basterebbe formare con ogni liquido un termometro, e portarlo a temperature diverse. Ma poichè qualunque materia o trasparente o opaca varia di volume al variar di temperatura, bisogna ricorrere a un processo che dia la dilatazione dei liquidi indipendentemente dai cambiamenti di capacità del vaso che li contiene. Dulong e Petit (*Ann. Chim. et Phys. t. 17.*) si son serviti di un metodo che soddisfa a questa condizione. Esso è fondato su quel principio d'Idrostatica, che quando due colonne liquide sono in comunicazione per mezzo di un tubo laterale, le loro altezze verticali sono in ragione inversa delle loro densità ($n^{\circ} 42$); sicchè circondando di ghiaccio una delle colonne, elevando l'altra ad una nota temperatura, e misurando l'altezza di ciascuna colonna, si ha tutto ciò che bisogna per conoscere la dilatazione assoluta del liquido sottoposto all'esperienza, il che si prova con un calcolo molto semplice. (b).

(a) Se V è il volume del gas ad una temperatura t , e si voglia portare ad un'altra temperatura t' , dagli esempj addotti si vede, che primieramente si ha il volume a zero dividendo V per $1 + 0,00375t$. Moltiplicando questo risultamento per $1 + 0,00375t'$, si ha $V \frac{(1 + 0,00375t')}{1 + 0,00375t}$.
volume cercato alla temperatura t' .

(b) Sieno h e h' le altezze delle colonne alle temperature t , t' ; d e d' le densità corrispondenti; si ha $h : h' :: d' : d$. Ma d e d' sono in ragione inversa dei volumi V e V' che una stessa massa di liquido occuperebbe alle temperature t e t' , dunque avremo $d' : d :: V : V'$,

Questo metodo è stato indicato per la prima volta da Boile. Le altezze delle colonne erano determinate da un indice che si faceva scorrere lungo un regolo verticale fisso. La temperatura si rilevava per mezzo di un termometro a aria e di un termometro a mercurio sensibilissimo. Dai risultamenti dell'esperienza resta dimostrata, relativamente al mercurio, la legge generale che abbiamo indicata, cioè che il coefficiente della dilatazione cresce al crescer della temperatura.

Temperatura del termometro a aria.	Dilatazioni assolute medie del mercurio.	Temperature indicate dalla dilatazione del mercurio supposta uniforme.
0°	0	0
100	$\frac{1}{5550}$	100
200	$\frac{1}{5425}$	204,61
300	$\frac{1}{5300}$	314,15

La prima colonna contiene le temperature dedotte dalla dilatazione dell'aria; la seconda le dilatazioni assolute del mercurio, fra zero e ciascuna delle temperature indicate nella prima colonna. La terza comprende le temperature ottenute nella supposizione della dilatazione uniforme. La dilatazione del mercurio

e di qui $h' : h :: V' : V$, e per conseguenza $\frac{h'-h}{h} = \frac{V'-V}{V}$. Ora

$\frac{V'-V}{V}$ esprime la dilatazione del liquido per l'intervallo di temperatura $t'-t$ e per l'unità di volume, e poichè questa espressione è eguale ad $\frac{h'-h}{h}$, e le altezze h' ed h sono indipendenti dal cambiamento di volume sofferto dal tubo nell'esperienza, deve esser lo stesso di $\frac{V'-V}{V}$; dunque $\frac{h'-h}{h}$ rappresenta la dilatazione assoluta del liquido.

In generale la dilatazione dei liquidi è stata rappresentata dalla formula $D = at + bt^2 + ct^3$. Le costanti a , b , c si determinano per tre temperature diverse, s'introducono i valori numerici nella formula e le dilatazioni date dalla formula per le temperature comprese fra quelle che hanno servito alla determinazione delle costanti, sono assai d'accordo con l'esperienza.

determinata dalle esperienze precedenti, poco diversa da $\frac{1}{17}$, dilatazione trovata da Lavoisier e Laplace, ci sembra esatta quanto possa desiderarsi.

La cognizione della dilatazione del mercurio è indispensabile in moltissime esperienze, specialmente nelle osservazioni barometriche; e ci servirà inoltre in seguito per determinare la dilatazione del vetro e quindi dei metalli.

Uniremo qui alcune tavole di dilatazione delle quali i risultati non son forse molto precisi, ma è utile però il conoscerli.

Tavola della dilatazione di alcuni liquidi per l'intervallo fra zero e l' acqua bollente.

Acqua	$\frac{1}{17}$.
Acido idroclorico (d^{th} 1,137)	$\frac{1}{17}$.
Acido nitrico (d^{th} 1,40)	$\frac{1}{8}$.
Acido solforico (d^{th} 1,85)	$\frac{1}{17}$.
Alcool (d^{th} 0,817)	$\frac{1}{9}$.
Etere solforico	$\frac{1}{14}$.
Olii di oliva e di lino	$\frac{1}{12}$.
Essenza di terebinto	$\frac{1}{14}$.
Acqua saturata di sal marino	$\frac{1}{10}$.

Tavola dei gradi indicati dai termometri costruiti con diversi liquidi. (Ricerche sulle modificazioni ec. pag. 271.)

Mercurio	Olio d'oliva	Olio es- senz. di Camu- milla	Olio es- senz. di Timo	Alcool	Acqua saturata di sal marino	Acqua
80°	80	80	80	80	80	80
75	74,6	74,7	74,3	73,8	74,1	71
70	69,4	69,5	68,8	67,8	68,4	62
65	64,4	64,3	63,5	61,9	62,6	53,5
60	59,3	59,1	58,3	56,2	57,1	45,8
55	54,2	53,9	53,3	50,7	51,7	38,5
50	49,2	48,8	48,3	45,3	46,6	32,0
45	44,0	43,6	43,4	40,2	41,2	26,1
40	39,2	38,6	38,4	35,1	36,3	20,5
35	34,2	33,6	33,5	30,3	31,3	15,9
30	29,3	28,7	28,6	25,6	26,5	11,2
25	24,3	23,8	23,8	21,0	21,9	7,3
20	19,3	18,9	19,0	16,5	17,3	4,1
15	14,4	14,1	14,2	12,2	12,8	1,6
10	9,5	9,3	9,4	7,9	8,4	0,4
5	4,7	4,6	4,7	3,9	4,2	0,2
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
— 5				— 3,9	— 4,1	
— 10				— 7,7	— 8,0	

Per quanto sia importantissima questa tavola, più utile assai però sarebbe stata, se Deluc avesse indicato i pesi dei liquidi contenuti nei diversi termometri, perchè in tal caso se ne sarebbero dedotte le dilatazioni assolute.

66. Gay-Lussac ultimamente ha fatto nuove ricerche sulla dilatazione dei liquidi, e specialmente sull'acqua pura, sull'alcool, sull'etere solforico e sul solfuro di carbone, tutti perfettamente purificati. Ha supposto il volume di ciascun liquido rappresentato da 1,000 al suo punto d'ebullizione, ed ha valutato il volume corrispondente alle temperature inferiori.

Tavola dei Resultamenti

Abbassamento di temperatura in gradi cent.	CONTRAZIONE			
	Acqua	Alcool	Solfuro di carbone	Etere
0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	3,34	5,55	6,14	8,15
10	6,61	11,43	12,01	16,17
15	10,50	17,51	17,98	24,16
20	13,15	24,34	23,80	31,85
25	16,06	29,15	29,65	39,14
30	18,85	34,74	35,06	46,42
35	21,52	40,28	40,48	52,06
40	24,10	45,68	45,77	58,77
45	26,50	50,85	51,08	65,48
50	28,56	56,02	56,28	72,01
55	30,60	61,01	66,14	78,38
60	32,42	65,96	61,21	
65	34,02	70,74		
70	35,47	75,48		
75	36,70	80,11		

Da questa tavola si vede che la contrazione di ciascun liquido scema a misura che si allontana dal punto d'ebullizione, che l'alcool e il solfuro di carbone si dilatano egualmente, e che come ha osservato Gay-Lussac, questi due liquidi portati alle rispettive temperature dell'ebullizione, producono volumi eguali di vapore (*Ann. de Chim. et de Phys.*, t. II. p. 130). Da ciò sembra che esista una certa dipendenza tra la dilatazione di un liquido e il volume del vapore che esso produce.

Dilatazione dei Solidi

67. Poichè piccolissime sono le dilatazioni dei corpi solidi, bisogna usare processi molto rigorosi per misurarle. Molte ricerche sono state fatte su queste dilatazioni; ma gli strumenti adoprati, comechè imperfetti per la maggior parte, sono stati motivo di

errori. Esporremo qui i principali processi, con tanta particolarità, quanta è necessaria per ben concepirli, e aggiungeremo poi i principali risultamenti, che per essi si sono ottenuti.

1.° *Processo.* Lavoisier e Laplace hanno fissato (*fig. 78*) in situazione orizzontale la sbarra metallica CD, di cui volevano conoscere la dilatazione, contro un piano di vetro AB, il quale era tenuto in una situazione verticale invariabile. L'altra estremità della sbarra era appoggiata egualmente contro una lastra di vetro FK, mobile intorno ad un asse orizzontale in O; e l'estremità F di questa lastra faceva muovere un canocchiale diretto sopra una mira PR posta ad una gran distanza. L'allungamento di una linea della sbarra metallica sottoposta all'esperienza, faceva percorrere al canocchiale, quando la mira era situata a 100 tese di distanza, 744 linee, il che rendeva facile dividere la linea in 744 parti, e quindi poteva valutarsi una dilatazione di $\frac{1}{744}$ di linea.

La sbarra la quale era lunga sei piedi, era portata dalla temperatura del ghiaccio che si fonde a quella dell'acqua bollente. L'errore prodotto dalla dilatazione delle due lastre di vetro poteva trascurarsi, relativamente alla dilatazione della lunghezza della sbarra.

I due illustri Accademici Francesi hanno sperimentato tutti i metalli conosciuti all'epoca delle loro esperienze (1782).

*Tavola delle dilatazioni lineari secondo l' esperienze
fatte da LAPLACE, e LAVOISIER*

N O M I DELLE S O S T A N Z E	DILATAZIONE LINEARE dal termine della congela- zione dell' acqua fino all' acqua bollente	
	In frazioni ordinarie	In frazioni decimali
Cristallo di Saint-Gobin.	$\frac{1}{1123}$	0,0008909
Tubo di vetro senza piombo. . . .	$\frac{1}{1142}$	0,0008756
Tubo di vetro senza piombo. . . .	$\frac{1}{1114}$	0,0008976
Altro tubo di vetro senza piombo.	$\frac{1}{1090}$	0,0009174
Flint-inglese.	$\frac{1}{1046}$	0,0008117
Vetro di Francia con piombo. . .	$\frac{1}{1147}$	0,0008718
Rame.	$\frac{1}{581}$	0,0017173
Rame.	$\frac{1}{604}$	0,0017123
Ottone.	$\frac{1}{536}$	0,0018782
Ottone.	$\frac{1}{529}$	0,0018903
Ferro dolce battuto.	$\frac{1}{819}$	0,0012205
Ferro rotondo passato per filiera.	$\frac{1}{812}$	0,0012350
Acciaio non temperato.	$\frac{1}{927}$	0,0010791
Piombo.	$\frac{1}{381}$	0,0028484
Stagno dell' Indie , o di Mèlac. .	$\frac{1}{816}$	0,0019379
Stagno di Falmouth.	$\frac{1}{462}$	0,0021730
Argento di coppella.	$\frac{1}{524}$	0,0019084
Argento alla bontà di Parigi. . .	$\frac{1}{524}$	0,0019084
Oro.	$\frac{1}{682}$	0,0014661
Oro alla bontà di Parigi non rincotto.	$\frac{1}{648}$	0,0015504
Detto rincotto.	$\frac{1}{661}$	0,0015128
Platino (secondo Borda).	$\frac{1}{1167}$	0,0008569

Questi risultamenti non erano stati pubblicati dagli Autori, ma sono stati conservati dalle cure della Sig. Lavoisier.

2.^o Processo di Ramsden, che unisce molta semplicità , e molta esattezza. La sbarra metallica è lunga 5 piedi , ed è posta

orizzontalmente in una cassetta di rame piena d'acqua, la quale riscaldata per mezzo di dodici lumi a alcool entra facilmente in ebullizione. Due cassette di legno sono disposte parallelamente alla cassetta di rame, e in ciascuna è posta una sbarra di ferro fuso: ad ognuna delle due estremità di queste sbarre è un microscopio mantenuto in una situazione orizzontale, e perpendicolare alla sbarra, ed uno di questi microscopii è munito di un micrometro. In principio le tre sbarre sono all'istessa temperatura, per esempio a zero, e ciascun microscopio è diretto nel tempo stesso sulle estremità delle tre sbarre. Se ora venga riscaldata quella ch'è nella cassetta di rame, mentre le altre due restano all'istessa temperatura, col soccorso dei microscopii si potrà misurare il suo allungamento. (*Philosoph. Transact.* v. 75, p. 480). A tal fine si metteranno al medesimo livello le tre estremità da una stessa parte, e dal cammino che percorrerà il microscopio dell'estremità opposta della sbarra di rame, per trovarsi sulla retta che riunisce le estremità corrispondenti delle due sbarre di ferro fuso, si giudicherà della dilatazione.

68 La dilatazione di volume si determina con un processo più semplice di quelli descritti per le dilatazioni lineari, e può essere molto preciso. Dulong e Petit se ne sono serviti, e l'hanno esposto nella sopraccennata memoria. Per far uso di un tal processo bisogna prima conoscere la dilatazione assoluta del mercurio, e quella di un corpo solido, per esempio del vetro: quest'ultima è la differenza fra la dilatazione assoluta, e la dilatazione apparente del mercurio; sicchè se D , d rappresentino le dilatazioni assoluta e apparente del mercurio, e V la dilatazione assoluta del vetro, si avrà $d = D - V$, ossia $D = d + V$.

Questi sperimentatori si sono serviti di un tubo lungo 6 decimetri, della capacità di circa 700 grammi di mercurio, chiuso ad una delle sue estremità, e dall'altra terminato con un tubo capillare, la capacità del quale era una piccola frazione della capacità totale. Questo apparecchio era portato successivamente da zero a 100, 200, 300 gradi; e la quantità di mercurio, che usciva dal tubo in ciascuna operazione, indicava la dilatazione apparente. Infatti sia P il peso totale del mercurio contenuto nel tubo a

zero; sia P' il peso del volume escluso dal calore, $\frac{P'}{P - P'}$ è il

rapporto fra il peso del volume uscito dal tubo, e il peso del volume che resta, il qual rapporto esprime la dilatazione per t gradi; e quindi dividendo per t si avrà la dilatazione del mercurio per l'unità di volume, e per l'unità di temperatura. Abbiamo qui sostituito i pesi ai volumi, il che può sempre farsi, perchè ad una stessa temperatura i pesi restano proporzionali ai volumi.

La dilatazione apparente si ottiene ancora in un'altra maniera.

Supponiamo per esempio che sia noto il rapporto fra la capacità di una divisione del tubo di un termometro, e quella della pallina fino a zero: sia p la quantità di mercurio contenuto in una divisione, e sia P il peso totale del mercurio contenuto nella pallina: se ora per un numero t di gradi il mercurio si dilati n divisioni, la dilatazione apparente per l'unità di volume e di temperatura sarà $D = \frac{p n}{P t}$.

Osservazione. Si ottengono gli stessi resultamenti con tubi di qualunque grossezza; il che prova che il volume interno di un vaso ha una dilatazione eguale a quella di un simil volume della materia di cui il vaso è composto.

Tavola dei resultamenti

Temperature dedotte dalla dilatazione dell'aria	Dilatazioni apparenti medie del mercurio	Dilatazioni assolute del vetro in volume	Temperature dedotte dalla dilatazione del vetro, supposta uniforme
100	$\frac{1}{6480}$	$\frac{1}{38700}$	100
200	$\frac{1}{6378}$	$\frac{1}{36300}$	213,2
300	$\frac{1}{6318}$	$\frac{1}{32900}$	352,9

Il numero $\frac{1}{6480}$ della dilatazione apparente è un poco minore di $\frac{1}{6469}$ dedotto dalle esperienze di Lavoisier e Laplace: ma forse essi hanno ottenuto una dilatazione un poco maggiore del vero, per non aver fatto bollire il mercurio nel vaso di cui si son serviti.

La terza colonna contiene i resultamenti che esprimono la dilatazione cubica del vetro, i quali sono la differenza fra i numeri della seconda colonna e la dilatazione assoluta del mercurio, trovata precedentemente.

La quarta fa vedere le temperature che indicherebbe un termometro di vetro, graduato fra lo zero e l'acqua bollente.

Conosciuta la dilatazione assoluta del mercurio e quella del vetro, facilmente si determina la dilatazione cubica degli altri corpi. Si voglia per esempio la dilatazione del ferro: s' introduce un piccolo cilindro di questo metallo in un tubo, il quale si empie poi

di mercurio che si fa bollire per scacciarne l'aria e l'umido. Si lascia quindi raffreddare il mercurio, e si riempie il tubo di questo metallo ridotto alla temperatura di zero gradi; ed esponendolo quindi a diverse temperature, e pesando il mercurio escluso ogni volta, si giunge a conoscere la dilatazione del ferro, poichè il volume escito è eguale alla somma delle dilatazioni del ferro e del mercurio, detrattane la dilatazione del vetro. Per eseguir questo calcolo, bisogna conoscere il volume di ogni corpo, il che si ottiene dividendone il peso per la sua densità a zero. La capacità del tubo è eguale alla somma dei volumi del ferro e del mercurio (a).

Se il metallo è tale da potere essere alterato dal mercurio, basta ossidarlo alquanto sulla superficie, o coprirlo con un leg-giero strato di vernice.

69. Conosciuta in questo modo la dilatazione d'un corpo solido, si determina facilmente la dilatazione di tutti gli altri, osservando l'andamento d'un pirometro formato da due regoli uniti inalterabilmente ad una delle loro estremità (fig. 79). Questo è il pirometro usato da Borda e Deluc.

Nelle esperienze di Dulong e Petit, due sbarre lunghe 12 decimetri, larghe 25 millimetri e grosse 4, erano unite per una delle loro estremità per mezzo di una traversa di ferro, sulla quale eran fissate con forti viti. Alle estremità d'ogni regolo era un'asta d'ottone, che sorgeva in principio verticalmente, e poi si ripiegava orizzontalmente. Le braccia orizzontali erano munite una di una scala divisa in quinti di millimetro, e l'altra di un verniero. Poichè la dilatazione lineare che si otteneva in questa maniera non era che la differenza fra le dilatazioni dei due metalli, e poichè l'una era nota, così se ne deduceva l'altra (b).

Questi due regoli immersi in un bagno d'olio, si portavano a diverse temperature, non trascurando nessuna delle necessarie precauzioni. Facendo questa esperienza con una lastra

(a) Sieno V, V', V'' i volumi del ferro, del mercurio, e la capacità totale del tubo; K, K', K'' le dilatazioni del ferro, del mercurio e del vetro; t la temperatura contata cominciando da zero: avremo $V K t + V' K' t - V'' K'' t = m$, essendo m la quantità di mercurio esclusa dal tubo. E se ai volumi si sostituiscono i pesi, la formula

diventerà $\left(\frac{P}{D} K + \frac{P'}{D'} K' - \left(\frac{P}{D} + \frac{P'}{D'} \right) K'' \right) t = \frac{P''}{D''}$, nella quale tutto è noto eccettuato K .

(b) Sia L la lunghezza comune delle due sbarre, C il coefficiente noto di dilatazione lineare di un metallo, X il coefficiente incognito dell'altro metallo, t la temperatura, N lo spazio percorso dall'indice; avremo $C L t - X L t = N$, dal che si deduce il valore di X .

di ferro, unita successivamente a lastre di rame e di platino, si son trovati i numeri seguenti (a).

Temperatura del termometro a aria	Dilatazioni me- die assolute del ferro	Dilatazioni me- die assolute del rame	Dilatazioni medie assolute del platino
100	$\frac{1}{28200}$	$\frac{1}{19400}$	$\frac{1}{37700}$
300	$\frac{1}{22700}$	$\frac{1}{17700}$	$\frac{1}{36300}$

70. I coefficienti trovati per il vetro, per il platino, per il rame e per il ferro, provano che la dilatazione dei solidi riferita al termometro a aria, è crescente, ma disegualmente per ognuno di essi. Se si costruissero termometri con regoli della stessa materia di questi, e si graduassero al solito, al di là di 100° darebbero temperature più elevate che il termometro a aria. Dalle tavole precedenti si deducono i seguenti rapporti.

Termometro a aria	Ferro	Rame	Platino	Vetro
0	0	0	0	0
100°	100°	100°	100°	100°
300°	372°,6	328°,8	311°,6	352,9(b)

Si vede che le indicazioni del termometro di platino sarebbero le più vicine a quelle del termometro a aria. Si vede parimente che la dilatazione del vetro è crescentissima, poichè a tre-

(a) Col metodo del numero 69 si hanno le dilatazioni lineari; e triplicandole, si avranno le dilatazioni cubiche. Per giustificare questa operazione sia 1 il lato di un cubo: se per effetto del calore questo lato divenga $1+d$, il cubo diverrà $1+3d+3d^2+d^3$; ma si ridurrà a $1+3d$, poichè d essendo una frazione piccolissima, $3d^2+d^3$ può trascurarsi; sicchè la dilatazione totale del cubo sarà $3d$, cioè tripla della dilatazione lineare.

(b) Sia T la temperatura del termometro a aria, t la temperatura corrispondente del termometro formato con una di queste sostanze, K, K' i coefficienti di dilatazione fra 0° e 100°, e fra 0° e T , è chiaro che si avrà $K : K' :: T : t = \frac{T \times K'}{K}$. Nel caso del ferro si ha $K = \frac{1}{28200}$

e $K' = \frac{1}{22700}$, e si trova $t = 372°,6$.

cento gradi del termometro a aria, il termometro di vetro indicherebbe $352^{\circ},9$. Ecco perchè il nostro termometro a mercurio non segna che $307^{\circ},64$ quando il termometro ad aria è a 300 , mentre il mercurio preso separatamente darebbe $314^{\circ},15$, come lo prova la tavola della dilatazione di questo metallo.

71. Per evitar poi la correzione per parte dell' asta del termometro che non è a contatto col corpo di cui si cerca la temperatura, si determina questa temperatura in un'altra maniera. Invece di misurare immediatamente l' aumento di volume di una massa costante di materia, come si fa nei termometri ordinarii, si determina la perdita di peso che prova una massa di mercurio capace di empire un vaso di vetro a zero, quando il vaso è immerso nel liquido di cui si vuol conoscere la temperatura. Si prende pertanto un tubo lungo alcuni decimetri, terminato in tubo capillare, sicchè può trascurarsi senza errore sensibile la quantità di mercurio contenuta in questo.

Sia P il peso totale del mercurio contenuto nel vaso a 0 ; p il peso della porzione di questo liquido che esce dal tubo, quando

si porta da 0 a t ; $\frac{P}{P-p}$ sarà la dilatazione apparente che ab-

biamo trovata eguale a $\frac{1}{6480}$: avremo dunque $\frac{P}{P-p} = \frac{t}{6480}$, o

$t = \frac{6480 p}{P-p}$. Per esempio un tubo contenga $610^{\circ},223$ di mercurio

a zero; immerso in un bagno d' olio perda del suo peso $24^{\circ},863$: si domanda la temperatura che indicherebbe il termometro a mercurio, se fosse stato immerso nel medesimo bagno; e col calcolo si trova $275^{\circ},23$.

72. Del resto da quanto abbiamo detto di sopra apparisce, che nessun termometro o solido o liquido è paragonabile con se stesso, poichè la dilatazione di queste sostanze cresce al crescere della temperatura. La variazione della dilatazione è in generale tanto maggiore quanto il corpo è più vicino alla temperatura che lo fa cambiare di stato. Se v è sostanza che abbia un coefficiente di dilatazione costante, forse non è che l' aria, l' azoto, l' ossigene e l' idrogene, i soli corpi ai quali non è stato possibile far cambiare stato per via di pressione o di freddo: debbono dunque riferirsi tutte le temperature al termometro a aria. Ma la costruzione più facile e l' uso più comodo del termometro a mercurio fanno sì che i Fisici lo adoprano in quasi tutte le esperienze.

È dunque necessario paragonare l' andamento di questi due strumenti. Già Gay-Lussac avea fatto vedere che essi sono concordi fra il ghiaccio che si fonde e l' acqua bollente; e Dulong e

Petit hanno ultimamente proseguito questo paragone fra -36° e $+360^{\circ}$, ed ecco i rapporti da essi trovati :

Temperature indicate dal termometro a mercurio	Temperature indicate dal termometro a aria, e corrette per la dilatazione del vetro
-36° 36°
0° 0°
100° 100°
150° $148^{\circ},70$
200° $197^{\circ},05$
250° $245^{\circ},05$
300° $292^{\circ},70$
360° $350^{\circ} (a).$

(a) Indichiamo il modo di determinare col calcolo le alte temperature per mezzo del termometro a aria. A tale effetto si adopra un tubo del diametro dei tubi da barometro, terminato con tubo corto e di piccolissimo diametro: questo ultimo tubo esce dal bagno di cui si vuol conoscere la temperatura; e siccome esso non partecipa del calor del bagno, la sua capacità deve esser trascurabile. Quando il termometro a aria ha acquistato la temperatura del bagno, si chiude alla lucerna l'estremità del tubo capillare, e si nota l'altezza del barometro. Si leva il tubo, e si lascia raffreddare in una stanza, dove sia costante e nota la temperatura. Quando il tubo è ridotto alla temperatura della stanza, s'immerge la sua estremità sottile in un bicchiere contenente mercurio asciuttissimo, si rompe questa estremità, si nota l'altezza del barometro e l'altezza della colonna di mercurio entrato nel tubo, si pesa il tubo con la colonna di mercurio, poi s'empie, e così pieno si ripesa, si nota la temperatura della stanza, e così si hanno tutti i dati necessarj per trovare la temperatura indicata dalla dilatazione dell'aria.

Sia (fig. 80) $BC=h$ l'altezza del mercurio nel tubo, sia P' il peso del mercurio di questa colonna, sia P il peso del mercurio che empie tutto il tubo alla temperatura t ; $P-P'$ sarà il peso del mercurio che ha un volume eguale al volume dell'aria fredda. Chiamando T la temperatura elevata contata sul termometro a mercurio, H' e H le altezze del barometro nel momento in cui si chiude il tubo e in cui si prende il peso del mercurio elevato nel tubo, X la temperatura del termometro a aria, α il coefficiente della dilatazione dei gas, K' il coefficiente del vetro fra zero e t , K lo stesso fra zero e la temperatura T , ambedue contate sul termometro a mercurio;

$\frac{P}{d} \frac{(1+KT)}{(1+K't)}$ è la

capacità del vaso alla temperatura T del termometro a mercurio, $\frac{(P-P')(H-h)(1+\alpha X)}{d(1+\alpha t)H'}$ è il volume dell'aria alla temperatura X del

termometro a aria, il qual volume empie la capacità del tubo: avremo

dunque l'equazione $\frac{(P-P')(H-h)(1+\alpha X)}{(1+\alpha t)H'} = \frac{P(1+KT)}{1+K't}$; dal che si ha

Pirometro

73. Quando le temperature da determinarsi son superiori a 400, o 500°, bisogna rinunziare ai vasi di vetro, perchè alla tem-

$$X = \frac{PH' (1 + KT) (1 + at) - (P - P') (H - h) (1 + K't)}{a (P - P') (H - h) (1 + K't)}$$

I valori numerici delle diverse lettere che entrano in questa formula sono:

$$P = 350,224; H = 0,757; H' = 0,752; T = 275^{\circ},23;$$

$$P' = 129,254; h = 0,125; t = 15^{\circ},23; a = 0,00375;$$

$$P - P' = 220,970; H - h = 0,632; 1 + at = 1,057113;$$

$$K = \frac{1}{32908}; K' = \frac{1}{38700}; 1 + KT = 1,00837;$$

$$1 + K't = 1,000394;$$

$$PH' (1 + KT) (1 + at) = 280,73619;$$

$$(P - P') (H - h) (1 + K't) = 159,70799;$$

la differenza fra queste due quantità = 141,02820;

$$a (P - P') (H - h) (1 + K't) = 0,52390;$$

$$X = \frac{141,02820}{0,52390}; \text{ dal che si rileva, che il termometro a aria indica}$$

soltanto 269°,18, mentre il termometro a mercurio indica 275°,23.

Se si faccia $K = K'$, il che non porta che a un piccolo errore, e

si osservi che $\frac{1 + KT}{1 + Kt}$ è eguale sensibilmente a $1 + K(T - t)$, e se

ad a si sostituisca il suo valore $\frac{1}{266,7}$, avremo

$$X = \frac{PH' (1 + K(T - t) / 266,7 + t)}{(P - P') (H - h)} = 266,7.$$

Indichiamo un altro metodo. Il tubo (fig. 81) pieno d'aria ha una disposizione diversa da quella del tubo nel metodo precedente, perchè il tubo strettissimo che è saldato ad esso, è piegato ad angolo retto, e pesca in una tazza piena di mercurio. Quando il tubo pieno d'aria è arrivato alla temperatura del bagno, si porta sotto l'estremità inferiore del tubo verticale una cassetta piena di mercurio bene asciutto. Si nota l'altezza del barometro esterno, e quando l'aria dell'interno è perfettamente raffreddata, si prende l'altezza del mercurio nel tubo verticale, e si nota ancora l'altezza del barometro. Si può dunque calcolare quale sarebbe stata la dilatazione dell'aria se avesse conservata la stessa elasticità.

Per far questo calcolo con esattezza, bisogna prima misurare la depressione capillare nel tubo verticale, per aggiungerla all'altezza del mercurio in questo tubo. Bisogna prima determinare ancora il diametro del tubo verticale, poichè l'aria della porzione di questo tubo che si empie di mercurio, e la temperatura del quale è quasi costante, rientra in parte nel tubo largo.

Sia h l'altezza del barometro in tempo dell'esperienza; T la tem-

peratura di circa 500° si fondono. Allora si sostituiscono ai termometri ordinarii, termometri formati di corpi solidi poco fusibili che si chiamano *Pirometri*.

Non descriveremo tutti i pirometri più o meno ingegnosi immaginati dai fisici, perchè tutti in generale imperfetti, a motivo del gran numero di parti di cui sono composti.

Il più semplice pirometro è quello che porta il nome di Borda, ed è formato di due lame di metalli disegualmente dilatabili (*fig. 83*).

peratura dell'aria calda contata sul termometro a mercurio; t quella dell'aria fredda; h' l'altezza del mercurio sollevato nel tubo; i il volume del tubo AB; r quello del tubo AC; b l'altezza totale del tubo verticale; K la dilatazione del vetro nell'intervallo delle temperature estreme dell'esperienza, contate sul termometro a mercurio.

Sia d la densità dell'aria alla temperatura t e alla pressione h ; e d' la sua densità alla temperatura T , e alla stessa pressione. Il peso dell'aria contenuta alla temperatura massima T del bagno sarà rap-

presentato da $(1+K(T-t))d'+dr$. (Si prende $1+K(T-t) = \frac{1+KT}{1+Kt}$)

Il volume d'aria raffreddata essendo $(1+r\frac{b-h'}{b})$ alla pressione

$h-h'$, diverrà $(1+r\frac{(b-h')}{b})\frac{(h-h')}{h}$ alla pressione h ; il peso di que-

sto volume sarà $(1+r\frac{(b-h')}{b})\frac{(h-h')}{h}d$, il peso dell'aria calda è eguale

al peso dell'aria raffreddata, perchè è la stessa aria: dunque si ha

$$(1+r\frac{(b-h')}{b})\frac{(h-h')}{h}d = (1+K(T-t))d'+rd.$$

Sostituendo a $\frac{d'}{d}$ il suo eguale $\frac{1+at}{1+aT'}$ T' essendo contato sul termometro a aria, sarà

$$\left(1+K(T-t)\left(\frac{1+at}{1+aT'}\right)\right) = \left(1+r\frac{(b-h')}{b}\right)\frac{(h-h')}{h} - r.$$

Tutto è noto in questa equazione, eccettuato T' , che quindi si può dedurre. Dulong e Petit si son serviti di questo secondo mezzo, per trovare i rapporti fra i gradi del termometro a aria e quelli del termometro a mercurio, ed hanno ottenuto gli stessi resultamenti che col metodo precedente (*Journ. de l'Ecole pol. t. XI, p. 200.*)

Nella stessa maniera si potrebbero determinare le temperature superiori a quella della fusione del vetro. Basterebbe adoprare una sfera di platino AB (*fig. 82*), alla quale fosse adattato un tubo parimente di platino BHK, che terminasse con un tubo di vetro KE. Si porrebbe la sfera nel fuoco di cui si volesse conoscere la temperatura; si porterebbe l'estremità del tubo E nel mercurio, e si conoscerebbe la temperatura per mezzo della formola precedente.

Questo strumento lascia qualche incertezza sulle sue indicazioni a temperature superiori a 350° , perchè oltre questo termine è ignota la legge di dilatazione dei metalli. Tuttavia, tenendo conto dell' aumento del coefficiente di dilatazione, con questo pirometro si otterrebbero temperature più esatte che con qualunque altro. Esso è composto d' una lastra di rame e d' una lastra di platino, lunghe circa 4 metri, e di forma poco dissimile da quella che rappresenta l' indicata, e di cui Borda e gli altri astronomi francesi si sono serviti come misura lineare nelle grandi operazioni geodesiche ultimamente eseguite.

Un altro pirometro, che è rappresentato dalla *fig. 84* è pur fondato sulla disegual dilatazione di due metalli. ACB è un' asta di metallo rettilinea; l' altra asta curva ADB è formata d' un metallo più dilatabile. Il cambiamento di temperatura fa variare la forma dell' arco ADB, e queste variazioni si rendono sensibili per mezzo d' una leva ad angolo FCL, il corso della quale è indicato da un arco graduato *pr.* Questo strumento indica approssimativamente le basse e le alte temperature; ma la complicazione di questa leva e delle aste di diverse specie, fa sì che le sue indicazioni non riescono molto esatte. Questo pirometro è noto sotto il nome di pirometro di Regnier.

Quantunque gli strumenti di questo genere non presentino sufficiente precisione, per doversi riguardare come rigorosissime le loro indicazioni, tuttavia non cessano d' essere qualche volta utilissimi. Per esempio, se si vuole che la temperatura d' un forno di porcellana non oltrepassi certi limiti, vi si pone uno di questi strumenti, e si dirige il fuoco in maniera, che l' estremità del braccio CL della leva corrisponda sempre alla stessa divisione dell' arco *pr.* Brongniart usa questo metodo nella sua bella manifattura di porcellane di Sevres.

Il pirometro di Wedgwood, famoso artista inglese, differisce essenzialmente da tutti gli altri pirometri. La parte principale di questo strumento è un prisma d' argilla. Questa sostanza acquista una contrazione tanto maggiore, quanto più alta è la temperatura a cui viene esposta (1). Primieramente

(1) Ecco l' uso di questo strumento. Si prepara un prisma, o anco un cilindro di argilla pura, e dopo averlo esposto ad un vivo calore si riduce a tal misura, che entri esattamente fra i due regoli fuo al punto segnato zero. Se si voglia sapere a qual temperatura si fonde un dato metallo, si prende questo prisma, e dopo essersi assicurati che entra esattamente fra i regoli a zero, o in caso diverso dopo aver preso ricordo del grado al quale arriva, si pone nel crogiuolo dove è il metallo da sperimentarsi; e dopo che questo è fuso, si ritira il prisma, e lasciandolo raffreddare si presenta di nuovo fra i due regoli dello strumento, dove si inoltra per un maggiore o minor numero di gradi,

si fa strisciare il prisma d'argilla fra due regoli metallici *ab, cd* (*fig. 85*) divisi in parti eguali ed inclinati fra loro. La lunghezza comune di questi due regoli è 30 centimetri; la differenza fra le distanze delle due estremità è circa 3^{mm}.; la distanza media è 10^{mm}; ciascun regolo è diviso in 240 parti, e ciascuna parte si chiama grado; lo zero è a livello del maggiore slontanamento dei regoli, e corrisponde quasi a 500° centigradi, e ciascun grado equivale a 72° centigradi. Per rendere lo strumento più facilmente portabile, suol dividersi in due parti.

Il pirometro di Wedgwood è necessariamente difettoso, e non serve che a dare deboli approssimazioni delle temperature. Si trova che

	Wedg.	Gr. centig.
L'argento si fonde a	28	2516
L'oro	32	2804
Il ferro	150	11300

Non riportiamo qui alcun altro numero relativo al pirometro di Wedgwood, perchè riputiamo molto erronee, e in generale molto inferiori al vero le indicazioni di questo strumento.

Di tutti i pirometri quello che nel presente stato della scienza ci sembrerebbe preferibile, sarebbe il pirometro a aria, costruito con una palla vota di platino, alla quale fosse adattato un tubo di vetro. È vero che la dilatazione del platino sarebbe una causa d'errore; ma poichè la legge di questa dilatazione è nota da 0 a 360°, così col calcolo si potrebbe estendere fino a 500, 600 e più gradi, e in tal modo rendere ben piccolo l'errore.

Dal paragone dei diversi termometri, fatto di sopra, si rileva quanto sia importante la cognizione delle dilatazioni di essi. Facciamone ora qualche applicazione alle arti.

secondo la temperatura che ha provata, ed il restringimento che ne è risultato. È chiaro che la diversità di questi restringimenti indica la diversità di temperatura dei diversi metalli, ridotti allo stato di fusione.

(a) In questa contrazione dell'argilla per effetto del calore, non bisogna vedere una contraddizione alla legge comune della dilatazione dei corpi. Questo fenomeno dipende da una combinazione più intima degli elementi; e quando per l'energia del calore questa combinazione è completa, l'argilla segue la legge generale, cioè si dilata al caldo e si contrae al freddo.

Pendolo compensatore

74. È noto che la dilatazione e la contrazione dei metalli prodotte dalle variazioni di temperatura, sono le cause principali dell'irregolarità del moto degli orologi. Se la verga del pendolo si allunga, l'orologio ritarda; ed accelera nel caso contrario. La lunghezza d'un pendolo è la distanza fra il punto di sospensione ed il centro d'oscillazione, il qual centro è un punto, in cui si concepisce riunita tutta la massa in moto. Ora le diverse parti dell'asta si possono combinare in modo da compensare gli effetti del caldo e del freddo.

Il pendolo usato in Francia generalmente è della forma rappresentata dalla *fig. 86*. La verga di questo pendolo è formata di due metalli, cioè di ferro e di rame. La dilatazione delle aste di ferro tende ad accrescere la lunghezza del pendolo, e la loro contrazione a scemarla; e le aste di rame, come anco si rileva dalla figura, producono un effetto contrario. Col calcolo si trova che le lunghezze totali delle aste devono essere in ragione inversa delle dilatazioni lineari dei due metalli; e primieramente si soddisfa approssimativamente a questa prima condizione, quindi si compie la compensazione per mezzo di ripetute prove, portando il pendolo a diverse temperature, da quella del ghiaccio che si fonde fino a quella dell'acqua bollente.

Graham, famoso orologiaio inglese, aveva proposto di formare l'asta del pendolo con un tubo di vetro, da riempirsi in parte di mercurio (*fig. 87*). Poichè la dilatazione di questo metallo è molto maggiore di quella del vetro, una piccola quantità basterebbe per compensare i cambiamenti della lunghezza del tubo di vetro. Il centro d'oscillazione di tutta la massa di questo pendolo è nella colonna di mercurio, perchè il suo è molto maggiore del peso del tubo. Per l'elevazione di temperatura, la dilatazione del tubo fa abbassar questo centro, ma quella del mercurio l'alza: e così può stabilirsi un pendolo ben compensato. Esso però non è in uso in Francia.

La *fig. 88* rappresenta un apparecchio di compensazione inventato nel 1738 da Giuliano Leroi orologiaio francese. Sopra un sostegno orizzontale CC è posato un tubo AB d'ottone; e all'estremità A di questo tubo è fissata l'estremità d'una verga di ferro AEG. Questa verga è interrotta in *hk*, ove essa è composta d'un piccolo telaio *hk* formato di due lame flessibili, il qual telaio passa nella fessura *pq* fatta nel sostegno CC. La lunghezza dell'asta del pendolo è dunque realmente GB: con questa disposizione la dilatazione del tubo tende a far salire la lente G, mentre la dilata-

zione dell' asta la fa scendere (*a*); ma questo mezzo di compensazione è stato abbandonato, perchè accresce inutilmente il volume degli orologi.

75. Anco opponendo dilatazione a dilatazione sono giunti i meccanici a rendere il moto del cronometro quasi perfettamente costante e regolare. In questo nuovo metodo di compensazione si usano lame doppie. Ecco alcune particolarità sopra le medesime.

Sia una lama rettilinea (*fig. 89*) formata d'una lama di rame AB e d'una di platino CD. Supponiamo che per mezzo di viti si fissino queste l'una all'altra in un modo invariabile ad una determinata temperatura. Questa lama composta perderà la sua rettilineità al minimo cambiare di temperatura: elevandosi questa, essa si curverà in modo che la lama di rame più dilatabile, e in conseguenza divenuta maggiore di quella di platino, abbraccerà questa nella sua concavità (*fig. 90*), ed accadrà l'opposto, se la temperatura si abbassa (*fig. 91*).

Ora si comprende, che se a traverso dell' asta d' un pendolo si disponga una simil lama, che porti una piccola massa ad ognuna delle sue estremità, si potrà combinare la lunghezza della lama e il peso delle masse in modo, che la distanza tra il punto di sospensione e il centro d' oscillazione del sistema sia costante (*fig. 92*). Biot e Mathieu si sono serviti d' un orologio fatto con questa compensazione, e l' hanno trovato molto regolare.

76. Negli orologi il regulator del moto è un bilanciante ABC (*fig. 93*): questo è mosso da una molla spirale RR'. Se cambia la temperatura, la forza della molla, le dimensioni del bilanciante e della molla cambiano egualmente, ed in conseguenza l'orologio o ritarda o accelera. Per evitare appunto questo inconveniente sono state fissate al bilanciante le lame compensatrici P e P' terminate in masse d' oro; e a forza di prove fatte a diverse temperature, si viene in fine a stabilire una completa compensazione.

77. I famosi Breguet, a ragione rinomati per tutta l' Europa per i loro cronometri, hanno fatto una bellissima applicazione delle lame compensatrici alla costruzione d' un termometro, che è sensibilissimo. La parte principale di questo strumento è un elice (*fig. 94*) formata di tre lame sottilissime di me-

(*a*) Supponiamo che questo apparecchio ad una certa temperatura, per esempio a zero, abbia le convenienti dimensioni.

Sia *a* la lunghezza del tubo AB, *b* la lunghezza totale AG, ed *l* la lunghezza variabile BG: avremo $l = b - a$. Ad una temperatura *t*, se *f* e *c* sieno i coefficienti di dilatazione lineare del ferro e del rame avremo $l(1+f) = b(1+f) - a(1+c)$. Così se *l'* sia la lunghezza del pendolo alla nuova temperatura, sarà $l' = b - a + (bf - ac)$; e poichè bisogna che sia $l' = l$, sarà $bf = ac$; cioè le lunghezze del tubo di rame e dell' asta di ferro, per la compensazione devono essere in ragione inversa delle dilatazioni lineari di questi due metalli.

talli disegualmente dilatabili, elevate ad un' alta temperatura, e quindi unite per via di pressione; e tutte e tre queste lame d'argento, d'oro e di platino sovrapposte, non formano insieme che una grossezza di $\frac{1}{16}$ di millimetro. L'elice è fissata per la parte superiore ad un sostegno d'ottone, che per la sua forma la lascia perfettamente isolata; l'estremità inferiore porta un ago orizzontale equilibrato da un peso: quest' elice composta di metalli diversamente dilatabili, deve torcersi o storcersi secondo la variazione della temperatura, e nel muoversi portar seco l'ago che percorre le divisioni d'un circolo orizzontale. Questo circolo è scavato nel centro affinché l'aria non provi veruno ostacolo a rinnovarsi intorno all' elice.

Nella costruzione dell' elice a tutto rigore basterebbe sovrapporre due metalli, per esempio il platino e l' argento; ma poichè questa lama facilmente potrebbe rompersi ad un improvviso cambiare di temperatura, quei celebri artisti hanno posto fra il platino e l'argento un terzo metallo, quale è l'oro, d'una dilatabilità media.

Si conosce il valor di ciascun grado di questo termometro, paragonando il suo corso con quello d'un buon termometro a mercurio. L'esperienza prova che l'ago per cambiamenti eguali di temperatura percorre archi eguali; sicchè questo strumento è paragonabile con se stesso e con gli altri strumenti costruiti sugli stessi principii. Quanto sia sensibile questo termometro metallico lo dimostra la seguente esperienza. Gli autori lo posero sotto un recipiente di 5 litri di capacità alla temperatura di 19 gradi centigradi; fecero il voto con la maggior prontezza possibile, ed il termometro a mercurio non scese che 2.°, mentre l'ago dell' elice passò da $+ 19^{\circ}$ a $- 4^{\circ}$ centigradi. Lasciarono quindi rientrar l'aria, e l'indice andò fino a $+ 50^{\circ}$ centigradi, mentre il termometro a mercurio proseguì a scendere alquanto; tanto era stato lento a prendere la temperatura dell'aria rarefatta. Questa sensibilità già sì grande, può ridursi anco maggiore accrescendo le dimensioni dell'elice, senza accrescerne la massa. (*Ann. ch. t. 5.*)

Il principal vantaggio di questo strumento non è nella sua sensibilità, ma nella prontezza delle sue indicazioni. Anco un termometro a mercurio può rendersi più sensibile, ma non potrà mai acquistare neppure la decima parte della prontezza che ha questo, nel ridursi all'equilibrio di temperatura col mezzo circostante.

La forma indicata dalla *fig. 94* è la più comune; ma invece di piegar ad elice la lama composta, si potrebbe farla di forma spirale, come la rappresenta la *fig. 95*.

Cambiamento di stato dei corpi.

78. I corpi in generale possono presentarsi sotto tre stati; solido, liquido e gassoso. Così il solfo, l'iodio, la canfora son solidi alla temperatura della superficie della terra; ma ad una temperatura più alta, queste sostanze divengon liquide e ancor gassose.

Ogni corpo cambia stato ad una temperatura particolare: così il solfo divien liquido a 109° , e passa allo stato di vapore a 300° incirca: il ghiaccio si fonde a 0° , e si volatilizza a 100° : il mercurio si fonde a -40° , e si trasforma in vapore a $+360^{\circ}$.

Prima del 1757 era ammesso universalmente, che quando un corpo era giunto alla temperatura della sua fusione, una piccola quantità di calore che vi si aggiungesse, bastava per fonderlo totalmente. Ma il celebre Black rilevò la falsità di tale opinione, e con fatti incontestabili dimostrò, che un corpo solido nel momento della sua trasformazione in liquido, assorbe una maggiore o minor quantità di calore, senza che venga per questo accresciuta la sua temperatura; e che se il corpo liquido, per qualunque circostanza, ripassa allo stato solido, perde il calore che ha assorbito nel fondersi. Il calore assorbito da un corpo nel cambiare stato, e che non contribuisce ad elevarne la temperatura, si chiama calore *latente*.

79. Per acquistiar un' idea del calore necessario alla fusione dei corpi, si prendano due globi eguali in peso e in volume, e in uno si ponga una data quantità di ghiaccio a 0° , e nell'altro una quantità eguale d'acqua parimente a 0° , e si pongano ambedue i globi in una stufa. Tenendo dietro al cambiamento che accade nella temperatura di queste sostanze, si vede che quando l'acqua è arrivata a 75° , il ghiaccio è totalmente fuso, senza che sia punto cambiata la sua temperatura. Eppure i due globi sono nelle stesse circostanze; dunque una data quantità di ghiaccio, per passare allo stato liquido, richiede una quantità di calore capace di portare un egual peso d'acqua da 0° a 75° . Lo stesso accade mescolando una quantità di ghiaccio a 0° con un'egual quantità di acqua a 75° , giacchè infine resulta una mescolanza tutta liquida alla temperatura 0° ; dove chiaro apparisce, che tutto il calore perduto dall'acqua nell'abbassarsi a zero, serve alla fusione del ghiaccio.

80. Se in quest'ultima esperienza, invece di prender l'acqua a 75° , si prende ad una temperatura superiore di pochi gradi a quella del mezzo circostante, e si mescola con una quantità sì piccola di ghiaccio, che tutto possa restar fuso, e crescere in temperatura, dalla temperatura della mescolanza si dedurrà facilmente il numero che esprime il calore latente del ghiaccio.

Sia M il peso dell'acqua, T la sua temperatura, m il peso del ghiaccio, t la temperatura della mescolanza: mt rappresenterà la quantità di calore preso dall'acqua, proveniente dalla fusione del ghiaccio, ed $M(T - t)$ la quantità di calore perduto dall'acqua. Poichè il primo prodotto è molto diverso dal secondo, bisogna aggiungergli il calore assorbito dal ghiaccio nella sua fusione. Se ora x rappresenti il numero di gradi del calore latente, per l'unità di peso, mx sarà il calore latente per il peso m . Si potrà dunque stabilire l'equazione, secondo la condizione indicata di sopra, e si avrà $mt + mx = M(T - t)$, dalla quale si ha il valore di x .

81. Il calore assorbito nella fusione del ghiaccio o di qualunque altro corpo solido, deve ricomparire quando il liquido ritorna nel suo stato primitivo. Fra le diverse maniere di render visibile questo sprigionamento di calore, la seguente è una delle più semplici. Si prenda un tubo lungo 5 o 6 pollici, e di $\frac{2}{3}$ di pollici di diametro, pieno d'una soluzione di solfato di soda saturata fra i 30 e i 40 gradi, e chiuso dopo l'ebullizione d'una porzione del liquido. Questa soluzione, come vedremo in un'altra circostanza, può esser agitata senza cristallizzarsi; ma se si rompe l'estremità sottile del tubo, la soluzione si converte subito in massa solida, e il calore che se ne sprigiona è tale, che è sensibile al tatto.

L'acqua pure, nel momento della sua congelazione, abbandona tutto il calore che il ghiaccio richiede per fondersi; e questo sprigionamento continuo di calore, finchè dura la congelazione dell'acqua, fa sì che qualche chilogrammo di questo liquido non divien solido, se non dopo essere stato esposto lungo tempo ad un freddo vivissimo.

Dal vedere la gran quantità di calore assorbito nella fusione del ghiaccio, rileviamo la ragione per cui masse anco piccole di ghiaccio restano molto tempo nell'aria senza fondersi, quantunque sieno continuamente involte in un'atmosfera, la temperatura della quale è assai più alta di quella del ghiaccio che si fonde.

Tavola dei punti di fusione delle principali sostanze

Mercurio a —	30°	Bismuto	283
Ghiaccio	0	Piombo	322
Fosforo	40	Cadmio	400 incirca
Iodio	107	Potassio	58
Solfo	109	Sodio	90
Stagno	213		

Nitro
Potassa
Soda
Zinco
Antimonio
Sal marino
Cloruro di potassio
Cloruro di calcio
Vetro

quasi alla temperatura rossa

Argento
Rame
Oro
Cobalto
Nikel

forte temperatura rossa

Gesso
Fosfato di calce
Cromo
Ferro
Manganese
Terraglia comune

le più alte temperature delle
fornaci

Palladio
Platino
Uranio
Titanio
Cerio
Rodio
Osmio
Iridio
Calce
Silice o sabbia pura
Barite secca
Porcellana dura
Terra gres

infusibili al fuoco delle fornaci

fusibili da una corrente di gas
ossigene e idrogene

Conversione dei liquidi in vapori

82. Nella volatilizzazione dei liquidi compariscono fenomeni analoghi a quelli che abbiamo osservati nella fusione dei solidi. L' aumento della temperatura d' un liquido, per mezzo del calore che riceve, ha un limite, che è la temperatura della sua ebullizione ; e quando un liquido arriva a questo punto, ha acquistata

una forza elastica capace di vincere la pressione alla quale è sottoposto. Così l'acqua a 100° può sollevare il peso dell'atmosfera.

83. Finchè dura la volatilizzazione d'un liquido, la temperatura resta costante; e tutto il calore che vi si introduce, non fa che accelerare l'evaporazione e renderla più abbondante; ma un termometro immerso in questo liquido, indica sempre la stessa temperatura. Crediamo inutile d'avvertire, che qui si parla d'un liquido omogeneo, sicchè la porzione che si volatilizza è eguale nella sua composizione a quella che non è peranco volatilizzata.

84. Cerchiamo ora di determinare per mezzo d'esperienze questa gran quantità di calore, necessaria per la formazione del vapore. E primieramente prendiamo l'acqua per esempio. Questo liquido arrivato a 100° , che è la temperatura della sua ebullizione, sotto la pressione media dell'atmosfera, per volatilizzarsi richiede una quantità di calore capace di portare da 0° a 535° un egual peso d'acqua, se con qualche mezzo se ne potesse impedire l'evaporazione, oppure solamente da 0° a 100° una quantità d'acqua eguale a 5,35 volte il suo peso. Per provare questa proprietà del vapore, si metta un poco d'acqua pura in una storta AB (*fig. 96*), si scaldi a poco a poco quest'acqua finchè si volatilizzi, e si riceva il vapore in un vaso HK che contenga 5,35 volte la quantità d'acqua della storta; e si vedrà che dopo la volatilizzazione dell'acqua della storta, e la sua condensazione nel vaso, il termometro immerso in questo segnerà 100° . Il vapore condensato conserva egualmente 100° ; dunque non ha perduto che il calore latente, il quale ha alzate a 100° 5,35 parti d'acqua a zero, e che quindi avrebbe alzate 535° la temperatura d'una parte di questo liquido eguale in peso al vapore.

85. Per quanto semplicissima sia questa esperienza, tuttavia per determinare il calore latente del vapore con maggior precisione, si riceve in una maggior massa d'acqua fredda, contenuta in un vaso di rame. AB (*fig. 97*) è il vaso che somministra il vapore, CD il serpentino nel quale questo viene a condensarsi; il serpentino è circondato da una nota quantità d'acqua, come noto pure è il peso della cassa di rame; *mn* è un parafulco per difender la cassa dall'azione del fornello, e l'apertura O serve a lasciar passare dalla storta l'aria, spinta fuori dal vapore. Facendo l'esperienza con questo apparecchio, si può determinare con molta esattezza il calore latente del vapore dell'acqua, notando diligentemente il peso del vapore condensato e il peso dell'acqua fredda, la temperatura del vapore prima e dopo la condensazione, e la temperatura dell'acqua fredda al principio dell'esperienza.

Il calcolo è eguale a quello che abbiám fatto per il ghiaccio. Sieno *m* e *T* la massa e la temperatura del vapore, *M* e *t* la massa e la temperatura dell'acqua fredda, *T'* la temperatura della me-

scolanza; e il valore di X , calore latente dell'unità di massa di vapor d'acqua, si dedurrà dall'equazione $m(T-T') + mX = M(T'-t')$.

Farò l'applicazione di questa formola ad una delle mie esperienze. M è = 15956, 30 grammi; la cassa e il serpentino di rame pesano 3107^s, 3: e poichè la capacità del rame relativamente all'acqua è 0,0950, questa massa di rame rappresenta 295^s, 19 d'acqua; quindi la quantità totale d'acqua da riscaldarsi è 16251^s, 49. La massa m del vapore condensato era 204^{sr}, 8; il vapore era a 100°, la temperatura dell'acqua fredda era a 22°, e la mescolanza presentò 29°, 58. Il vapore ha perduto $100 - 29,58 = 70°, 42$ di temperatura; l'acqua ha guadagnato $29,58 - 22 = 7°, 58$. Da ciò si deduce che il calore latente del vapor d'acqua sotto la pressione media dell'atmosfera, è 531,07.

Il numero 535 citato di sopra, è il medio di molte esperienze analoghe. Da questa enorme quantità di calore latente del vapore d'acqua è stato tratto partito per riscaldare gli stabilimenti di lavoro, o i bagni delle tintorie, ec., per cuocere i commestibili, per imbiancare le tele, per seccare la polvere, ec.

Soggetto di utile curiosità mi è sembrato il determinare il calore latente dei vapori, dei quali ci son più note le proprietà. A tal effetto mi son servito di acqua, alcool, etere solforico, essenza di terebinto, tutti in stato della massima purità; e l'apparecchio adoprato in queste ricerche era simile al precedente. Per mettere i Fisici in stato di paragonare queste esperienze con altre che potessero farsi sul medesimo soggetto, caratterizzerò ciascun liquido, indicando le sue proprietà principali.

Temperature d'ebullizione		Densità	Calori specifici
Alcool	78,8	0,793	0,622
Etere solfor.	35,5	0,715	0,522
Essenza	156,8	0,872	0,462

Ripetendo più volte con ciascuno di questi liquidi l'esperienza descritta di sopra, ho ottenuto i seguenti resultamenti.

Tavola dei risultamenti

	Calore totale	Calori latenti	Calori totali in acqua	Calori latenti in acqua	Densità dei vapori a 0°	Densità nei punti d'ebulliz.
Acqua	631	531	631	531	0,623	0,451
Alcool	410,7	331,9	255,5	207,7	1,613	1,258
Etere solf.	210	174,5	109,3	90,8	2,586	2,280
Essenza	323	166,2	149,2	76,8	5,010	3,207

I numeri delle due prime colonne son quelli che si otterrebbero condensando ciascun vapore con un liquido freddo della stessa natura: le altre due colonne rappresentano gli stessi risultamenti paragonati con l'acqua, la capacità della quale è presa per unità.

Osservando la terza e la quarta colonna si rileva, che un liquido, arrivato al punto in cui è per entrare in ebullizione, richiede tanto meno calore per ridursi in vapore, quanto questo vapore è più denso; come pure si rileva, che i calori latenti dei diversi vapori, sono visibilmente in ragione inversa delle densità, prese nei punti d'ebullizione dei liquidi corrispondenti, ossia, che volumi eguali di vapori diversi, alle temperature d'ebullizione dei liquidi che li producono, contengono quantità eguali di calore latente.

Simili prove fatte sul solfuro di carbone, il vapore del quale ha una densità espressa da 2,644, danno gli stessi risultamenti. Si sa che l'iodio, il quale produce il più peso fra tutti i vapori, che è 8,61, si volatilizza con una piccolissima quantità di calore. Il solfo al contrario non si volatilizza che con moltissima difficoltà. Quest' ultimo fatto serve ancora a confermare la conseguenza dedotta dalle esperienze precedenti, poichè la densità del vapore del solfo è quasi eguale all' unità. È vero che questo non è stato determinato direttamente, ma può facilmente dedursi dall' acido solforoso o dall' acido idrosolforico.

86. Se la quantità di calore contenuto in un vapore sia variabile o costante sotto diverse pressioni, è questione molto agitata in questi ultimi tempi, e tanto più importante, quanto che è collegata con la teoria del calore, e con quella delle macchine a vapore. Si può riguardare come un fatto dimostrato abbastanza dall' esperienza, che la variazione della quantità totale di calore è ben piccola; sicchè la stessa quantità di calore, e in conseguenza lo stesso peso di combustibile, basta per alzare un chilogrammo di vapor d' acqua ad un grado qualunque di forza elastica.

Secondo Southern, il calore latente sarebbe costante, e la quantità totale crescerebbe della quantità di cui si alza la temperatura. Per esempio, se la quantità totale, sotto la pressione di $0^m,76$, e alla temperatura di 100° , fosse 635, diverrebbe 657 alla temperatura di 122° , sotto la pressione $0^m,76 \times 2$, e così di seguito. Secondo le esperienze di Desormes e Clement sul vapor d'acqua, e secondo le mie proprie esperienze sul vapor d'acqua e su quelli d'alcool, d'etere solforico e d'essenza di terebinto, la quantità totale di calore contenuto in uno stesso vapore, sarebbe invariabile, e non v'influirebbe nulla nè l'aumento di pressione, nè l'innalzamento di temperatura. Quindi il numero 635 ottenuto sotto la pressione di $0^m,76$ e a 100° , resterebbe lo stesso a qualunque temperatura e sotto qualunque pressione.

Ma se le citate esperienze dei Fisici francesi bastano per le applicazioni alle arti, non possono bastare in nessun modo per stabilire una legge fisica: di più il modo di sperimentare di Southern, quantunque suscettivo di precisione, non mi sembra senza eccezioni. Convinto io di tutto questo, ho nuovamente intrapreso questo lavoro, ripetendo molte esperienze, nelle quali la temperatura è stata portata fino a 160° ; ma mi ha sempre trattenuto o interrotto la difficoltà di render gli apparecchi capaci di una perfetta tenuta. Tuttavia, in conseguenza delle mie nuove esperienze, che qualche anno indietro furono argomento di molte discussioni nella società Filomatica, io non posso più ammettere, che il calore totale del vapore sia costante; e anzi lo riguardo come capace di crescere al crescere della temperatura, ma in una ragione alquanto minore. Nel calorimetro di cui io mi serviva, i pezzi erano combinati in modo, che il serpentino condensatore poteva esser tolto a piacere, per la qual cosa si rendeva possibile il pesare il vapore volatilizzato e il vapore condensato, il che è subito un vantaggio. Del resto, non è maraviglia che i Fisici non sieno d'accordo su questo argomento, se sì poco sono d'accordo relativamente alla determinazione del calore latente del vapor d'acqua, sotto la pressione di $0^m,76$, per quanto in questa determinazione non si incontri alcuna di quelle difficoltà, che sono inerenti nelle esperienze fatte sotto pressioni più alte. Infatti la densità del vapor d'acqua è per Rumford, 567; per Gay-Lussac, 550; per Clement e Desormes, 550; per me, secondo le mie esperienze, 1^a serie 531, 2^a serie 540.

Sotto un punto di vista puramente teorico hanno riguardato questo argomento Laplace e Poisson, come può vedersi nelle loro particolari memorie (*Mec. cel. L. 12; An. ch. t. 23*).

Del Freddo prodotto dalla fusione o da mescolanze frigorifiche

87. È provato dall'esperienza, che tutti i corpi solidi, giunti alla temperatura della loro fusione, per passare allo stato liquido, hanno bisogno di gran quantità di calore, senza del quale la fusione non accade. Se dunque un corpo si fonde per una causa qualunque, eccettuata una sorgente di calore, dovrà assorbire il calor necessario per la sua fusione dai corpi circostanti, i quali in conseguenza dovranno raffreddarsi. Così, se si mescola una parte di sal marino con tre parti di neve, resulterà una massa liquida, e il termometro immerso in questa mescolanza, potrà abbassarsi fino a 20° sotto lo zero. In questo caso l'affinità del sal marino per l'acqua produce la fusione del ghiaccio. Questo effetto però è composto, perchè è la differenza fra il calore assorbito per la fusione del ghiaccio e del sale, e quello che si sprigiona nella combinazione. Quando queste due quantità si compongono, la temperatura della mescolanza non cambia; ma se la prima quantità supera la seconda, vien prodotto il freddo, e nel caso contrario resulta sprigionamento di calore.

In generale, tutti i corpi solidi, i quali per il calore han perduto tutta la loro acqua di cristallizzazione, ed hanno una gran tendenza a combinarsi con l'acqua, nel mescolarsi col liquido sprigionano calore. Tali sono la calce, la potassa, il gesso, calcinati; mentre gli acidi, gli ossidi e i sali cristallizzati nella stessa circostanza producon freddo; ed è questo il caso della potassa, del solfato di soda, del nitrato di calce, ec. cristallizzati.

Esempi di mescolanze frigorifiche

1 Nitrato d' ammoniaca	}	da 10° a $-15^{\circ},6$
1 Acqua		
1 Sal marino	}	da 0° a -20°
3 Neve		
3 Cloruro di calcio cristallizzato	}	da $-26^{\circ},1$ a $-55^{\circ},5$
2 Neve		
3 Solfato di soda cristallizzato	}	da $+10^{\circ}$ a $-16^{\circ},11$
2 Acido nitrico allungato		
8 Neve	}	da -55° a $-68^{\circ},3$
10 Acido solforico debole		

Questo acido solforico debole, è di una composizione partico-

lare, cioè è una mescolanza di 8 parti d'acido solforico concentrato, 4 d'acqua e 8 d'alcool.

Questa tavola ha bisogno di qualche schiarimento. La prima mescolanza produce freddo: questo freddo resulta dalla fusione del sale e dell'acqua di cristallizzazione che esso contiene, e che può considerarsi come acqua in stato di ghiaccio. La seconda mescolanza è adoprata frequentemente nei laboratorii, e serve ancora per fare i gelati. La terza serve alla congelazione del mercurio.

Se i freddi prodotti da queste mescolanze son limitati, ciò dipende dall'azione chimica, la quale oltre certi limiti di temperatura cessa d'agire. Per esempio, il sale e la neve con la loro mescolanza non producono un freddo maggiore di -20° , perchè sotto questo termine il sale non ha più azione sull'acqua. Espo- nendo ad un freddo di -20° una soluzione di sal marino, si vedrebbero separarsi l'acqua in stato di ghiaccio, e il sale in stato solido. Il cloruro di calcio al contrario, esercita sull'acqua un'azione potente, anco a bassissime temperature; quindi è, che nell'operazione della congelazione del mercurio, si raffredda prima il cloruro e la neve, per mezzo d'un involuppo di sale e di ghiaccio a -20° .

Un'altra osservazione resta da farsi, relativa alle proporzioni. Per ottenere i freddi indicati nella tavola, è assolutamente necessario osservare le proporzioni che ivi sono indicate, perchè altre proporzioni potrebbero dare resultamenti affatto diversi. Infatti, se mescoliamo 4 parti di ghiaccio con una parte d'acido solforico concentrato, otteniamo freddo; mentre la mescolanza inversa, cioè 1 parte di ghiaccio e 4 d'acido solforico sprigionano una quantità di calore tanto grande, da ridurre in vapore una porzione d'acqua della mescolanza.

Del Freddo prodotto dall' evaporazione

88. Vedemmo di sopra, che i liquidi nel passare allo stato di vapore, assorbono una gran quantità di calore. Se dunque o per mezzo del voto o in qualunque altra maniera un liquido si volatilizza, deve togliere ai corpi circostanti o a se stesso tutto il calore che gli è necessario in questo suo nuovo stato. Cullen fu il primo a concepir chiara quest'idea, e conobbe in fatto che il freddo è maggiore nel voto che nell'aria, perchè l'evaporazione vi è più rapida; che è maggiore ancora quando spira un vento caldo e asciutto, che quando il vento è freddo e umido; che i liquidi, evaporando, producono un freddo tanto maggiore, quanto son più volatili. Anzi giunse perfino a congelar l'acqua nel voto, ponendo un vaso pieno d'etere nitroso in un altro vaso contenente acqua.

89. Leslie di Edimburgo ha imaginata una bellissima esperienza, nella quale l'acqua resta gelata dal freddo prodotto nell'evaporazione di una porzione di questo liquido stesso. Per rendere più rapida l'evaporazione, si fa assorbire il vapor dell'acqua dall'acido solforico concentrato, senza la presenza del quale, la campana ben presto si empirebbe di vapore, e quindi cesserebbe l'evaporazione, e con essa cesserebbe la produzione del freddo. Per eseguire quest'esperienza, si pone sotto il recipiente della macchina pneumatica un piccolo vassoio di lastra sottilissima di rame, tale che contenga una piccola quantità d'acqua, per esempio 15 grammi: questo vassoio è posato per mezzo di tre piedi sopra un altro piatto di cristallo, pieno in parte d'acido solforico concentrato, che sia almeno una libbra. Tutto così disposto, si fa il voto, e l'evaporazione accade con una celerità proporzionata alla temperatura; e siccome il vapore è condensato dall'acido, la volatilizzazione è continua; e quindi l'acqua che rimane, dopo brevissimo tempo resta congelata. Questa congelazione accade ancora, se invece dell'acido ci serviamo di altre materie igrometriche, come il gesso calcinato, la calce viva, ec.; ed in tal modo alcuni hanno ottenuto fin molte libbre di ghiaccio; ma di questa scoperta non è stata fatta fin ora alcuna utile applicazione in grande.

L'acqua ghiacciata conserva la sua tendenza all'evaporazione fino alle più basse temperature: così se si metta nell'acqua una piccola pallina di vetro piena di mercurio, e si prosegua a fare il voto per qualche tempo, il metallo si trova gelato. Più curiosa diviene quest'esperienza, se prima si circondi la pallina con uno strato di ghiaccio, e così si sospenda nel recipiente: allora, facendo il voto, si vede lo strato assottigliarsi, e il mercurio divenir solido in poco tempo. (*An. ch.* t. 78). Ed è pur noto per un'antica esperienza, che il ghiaccio sulla superficie della terra, scema notabilmente quando spira il vento, nonostante che il freddo resti sotto lo zero (1).

(1) Si ottiene una prontissima congelazione in un'atmosfera auco più che temperata con un'esperienza graziosa di Leslie. Lo strumento di cui egli si serve e che egli chiama *crioforo*, ossia produttore del ghiaccio, è un tubo di vetro a bracci molto diseguali, terminati ambedue con palla, più piccola al braccio più lungo, e più grande al braccio più corto. Introdotta in esso una quantità d'acqua, fino a emprimerne la metà della maggior palla, si esclude tutta l'aria del tubo, il quale poi si chiude ermeticamente. Se si immerge nel ghiaccio naturale, o meglio nell'artificiale la palla minore che è vota, il gas acqueo sviluppato naturalmente dall'acqua nel voto, e che empie tutto il tubo, si condensa e si riduce in acqua liquida, che cade nella stessa palla vota; con ciò il voto del tubo torna ad esser perfetto, e quindi l'acqua della palla maggiore evapora di nuovo, perdendo sempre quantità del

Il massimo freddo prodotto dall'evaporazione, dipende dalla temperatura dei corpi circostanti: infatti, poichè la forza elastica del vapore va continuamente scemando, al pari della sua velocità, così deve giungere un momento in cui il calore comunicato dai corpi circostanti, eguagli il calore assorbito dall' evaporazione. allora il freddo giunge al massimo grado, che sarà tanto più intenso, quanto più bassa è la temperatura dei corpi circonvicini. Infatti, da un' esperienza di Gay-Lussac risulta, che la congelazione del mercurio accade facilmente, se si circonda con una mescolanza di ghiaccio e di sale un vaso pieno d' acido solforico, e la pallina termometrica.

91. Esporremo qui i resultamenti di molte esperienze fatte da Gay-Lussac sul freddo prodotto nell' evaporazione all' aria libera.

Il fenomeno è qui un poco più complicato: primieramente l' evaporazione è ritardata dalla pressione dell' aria, poichè in un' aria perfettamente tranquilla, essa è sensibilmente nulla; inoltre il freddo è necessariamente minore che nel voto; e finalmente, per una data temperatura iniziale, è al massimo grado, quando il calore assorbito dall' evaporazione, è eguale a quello che la superficie del corpo riceve e dal contatto dell' aria e dal raggiare dei corpi circonvicini.

Per determinare il freddo corrispondente ad una data temperatura, Gay-Lussac dirige una corrente d' aria asciutta sopra un termometro coperto di un tessuto di tela battista bagnata. L' aria esce da un gassometro a pressione costante, si asciuga nel passare per un tubo pieno di cloruro di calcio, e arriva in un altro tubo, e con un buon termometro ivi situato, si vede qual' è qui la sua temperatura: quindi va finalmente ad urtare il termometro fasciato del panno bagnato.

suo calore; ed è tanto rapida quest' operazione, che in pochissimi minuti l' acqua che resta nella gran palla si congela.

Tavola dei risultamenti

Temperatura dell'aria
asciutta sotto la pressione
di 0^m, 76

Abbassamento di tempera-
tura prodotto dall' evapo-
razione ad una temperatura
inferiore a quella dell'aria

0	5,82
1	6,09
2	6,37
3	6,66
4	6,96
5	7,27
6	7,59
7	7,92
8	8,26
9	8,61
10	8,97
11	9,37
12	9,70
13	10,07
14	10,44
15	10,82
16	11,20
17	11,58
18	11,96
19	12,34
20	12,73
21	13,12
22	13,51
23	13,90
24	14,30
25	14,70 (a)

(a) L'equazione $F(x) dl = (P - F(x)) (t - x) c$, stabilisce un rapporto fra i diversi elementi che hanno parte in quest'esperienza, e per essa può calcolarsi l'abbassamento corrispondente ad una data temperatura. x è il grado di freddo prodotto nell'esperienza; l il calore latente del vapore dell'acqua; la forza elastica del vapore è una funzione della temperatura, rappresentata qui da $F(x)$; d la densità del vapore, riferito a quella dell'aria; c la sua capacità; P la sua pressione; t la temperatura dell'aria.

Il primo membro è il freddo prodotto dall'evaporazione; il secondo rappresenta il calore somministrato dall'aria a contatto; e queste due quantità, per deboli gradi di freddo, sono sensibilmente eguali.

Il freddo prodotto nell'aria, a circostanze eguali, deve esser tanto maggiore, quanto minore è la densità dell'aria; il che appunto è conforme con l'esperienza. Sotto una pressione di $0^m,65$, la temperatura dell'aria era $12^{\circ},5$, il freddo prodotto per evaporazione è stato $10^{\circ},5$; e in un'altra esperienza, la temperatura dell'aria essendo la stessa, e la pressione essendo $0^m,50$, il freddo è stato di $12^{\circ},0$.

Per il resto, quanto abbiain detto su questo proposito è relativa alla asciuttissima; sicchè in natura il freddo è sempre minore per una data temperatura, del freddo indicato dalla tavola, e nei tempi più asciutti, l'aria contiene in generale almeno i quinti dell'umido che ha nello stato di saturazione.

Dei Vapori

Abbiamo già parlato nel Capitolo precedente della dilatazione e del calore latente dei vapori. Ora dobbiamo considerarli relativamente alle loro forze elastiche, alle loro densità, e finalmente nel loro stato di mescolanza con i gas.

Forze elastiche

92. La forza elastica del vapore apparisce in moltissimi fatti; essa determina l'azione delle macchine a vapore, e produce un gran numero d'importantissimi fenomeni, che esporremo nel corso di quest'opera.

E primieramente, per provare col fatto che un vapore qualunque, alla temperatura ordinaria, ha una forza elastica capace di sostenere una forte pressione, facciamo questa semplice esperienza. Empiamo quasi interamente di mercurio un tubo barometrico, e terminiamo poi d'empirlo con un centimetro di un liquido qualunque, per esempio, con etere solforico; quindi rovesciamolo in un pozzetto di mercurio, tenendo chiusa con un dito l'e-

Invitato io da Gay-Lussac, ho calcolato i diversi valori di x , ed ho avuti risultamenti poco diversi da quelli dell'esperienza.

$$\text{Prendendo } d = \frac{10}{16}, l = 550, c = 0,2669,$$

$$\text{si trova } F(x) = 0^m,76(10)^{x0,0154547 - x^20,00006258}.$$

Questa formula è tanto più esatta quanto più debole è il freddo prodotto. Infatti, il freddo calcolato, a zero è $5,85$, che differisce da $5,82$, risultamento dell'esperienza, soltanto di $0,03$; mentre a 15° , la differenza è nel medesimo senso $0,33$; e a 25° , di $1^{\circ},05$. E così infatti deve essere, poichè la quantità trascurata, cioè il raggiamento dei corpi circonvicini, esercita un'azione tanto maggiore quanto maggiore è il freddo prodotto (*An. ch. t. 21.*).

stremità aperta. Tolto allora il dito, il mercurio scende; e si ferma a più di 20 centimetri sotto al livello al quale si fermerebbe, senza l'introduzione dell'etere. Il qual abbassamento non può attribuirsi se non alla forza elastica del vapore che preme sulla superficie del metallo, e gli impedisce di salire all'altezza barometrica, alla quale arriverebbe per la pressione dell'atmosfera.

93. Per conoscere la forza elastica d'un vapore sotto il punto d'ebullizione, si fa uso del tubo descritto di sopra (fig. 98): si eleva il mercurio a diverse temperature, e ogni volta si nota l'altezza del mercurio nel barometro, e nel tubo che contiene il liquido; ed è chiaro, che le differenze che si osservano, rappresentano il valore della forza elastica del vapore. Questo metodo appunto fu usato per la prima volta da Dalton nel 1805 (*Manchester's mem. vol. 5*). Per dare una determinata temperatura al liquido che somministra il vapore, si mettono i due tubi in un altro tubo più largo pieno d'acqua limpida, di cui si può conoscere la temperatura per mezzo d'un termometro sensibile con lungo serbatoio; e anzi perchè l'esperienza sia esatta, sarà bene che il serbatoio del termometro occupi tutta l'estensione del tubo pieno di vapore. Bisogna ancora osservare, che la differenza delle due colonne di mercurio non è realmente il valore della forza elastica del vapore, se non in quantochè ciascuna colonna è stata riportata col calcolo a zero, come diremo nell'articolo del barometro.

Facendo quest'esperienza con varii liquidi, si trova che tutti, alla temperatura della loro ebullizione, fanno abbassare il mercurio nel tubo fino al livello del pozzetto nel quale esso è immerso. A questa temperatura adunque ogni liquido dà un vapore, la tensione del quale può fare equilibrio alla pressione atmosferica, ossia a $0^m,76$ di mercurio incirca.

94. In un altro modo ancora possono determinarsi le forze elastiche dei vapori sotto il punto di ebullizione. Questo processo è fondato sul principio, che un liquido in ebullizione produce un vapore, l'elasticità del quale eguaglia la pressione a cui è sottoposto. Si mette in comunicazione la storta che contiene il liquido con una macchina pneumatica; un vaso intermedio contiene un barometro che indica l'elasticità del vapore nel momento dell'ebullizione; una sostanza frigorifica convenientemente disposta, condensando il vapore a misura che tende ad uscire dalla storta, impedisce che il liquido si consumi totalmente per mezzo dell'ebullizione; e quindi si può far durare l'esperienza a piacere; e dall'altra parte si può determinare l'ebullizione a qualunque pressione. A (fig. 99) è la storta, in C è la sostanza frigorifica, B è il vaso intermedio, e K è il tubo che mette in comunicazione tutto l'apparecchio con la macchina pneumatica.

Questi due processi sono stati messi in uso da Dalton nel suo gran lavoro sui vapori e sui gas: Dulong si è servito del secondo con la modificazione del tubo condensatore; ed io pure me ne sono servito per le mie esperienze sulla legge delle forze elastiche dei vapori.

95. Gay-Lussac ha proposto un mezzo semplicissimo per conoscere l'elasticità di un vapore a zero, e ad una temperatura anche inferiore, il quale consiste nel curvare il tubo barometrico, e immergere l'estremità curva in un bagno di ghiaccio, o di una mescolanza frigorifica (*fig. 100*).

96. Ci resta ora da cercare la forza elastica dei vapori sopra la pressione media dell'atmosfera. E primieramente Dalton si è servito di un tubo da barometro curvato in forma di sifone, con la parte più corta chiusa (*fig. 101*). Empie di mercurio questo tubo nel modo ordinario, e dopo averne versati alcuni centimetri, vi sostituisce il liquido di cui vuole esaminare il vapore, quindi inclina il tubo, tenendolo ben chiuso col dito; ed è chiaro che il liquido, il quale per la sua leggerezza deve sempre salire nella parte più alta, salirà all'estremità del braccio più corto. Allora egli fa escire una porzione di mercurio, e segna l'altezza del medesimo nei due bracci: riscalda quindi il liquido a diverse temperature, immergendo il braccio più corto in un cilindro metallico pieno d'acqua o d'olio più o meno caldo: ora è chiaro che la forza elastica del vapore, oltre la pressione esterna sostiene ancora l'eccesso di livello nel braccio più lungo. E se l'opacità del cilindro metallico impedisce che direttamente si conosca l'altezza del mercurio nel braccio più corto, ciò nondimeno si ottiene raddoppiando la colonna di mercurio, che si è alzata nel tempo dell'operazione sopra il livello primitivo nel braccio più lungo, poichè il mercurio si è altrettanto abbassato nell'altro: nel far questo però si suppone perfettamente uguale nei due bracci il diametro del tubo, il che di rado si avvera in pratica. Dall'altra parte si versa mercurio nel braccio più lungo a misura che si eleva la temperatura, per ottenere forze elastiche maggiori. Questo processo è stato alquanto modificato dal Dott. Ure di Glasgow, il quale introduce la parte chiusa in un globo (*fig. 102*), quindi eleva il liquido del globo stesso a diverse temperature.

Vi è però un altro processo che ci sembra e più esatto e più comodo, il quale consiste nel far bollire il liquido sotto un'alta pressione. L'apparecchio è (*fig. 103*) simile a quello che è stato adoprato (*fig. 99*) per determinare le forze elastiche al di sotto del punto di ebullizione. Solamente il tubo K è immerso in una colonna di mercurio, e invece del barometro è adoprato un tubo aperto alle due estremità. La forza elastica del vapore dovendo vincere oltre l'elasticità dell'aria interna, anco il peso

della colonna *mn* di mercurio, potrà venire accresciuta più o meno, secondo che più lunga o più corta sarà questa colonna. La forza elastica del vapore ha per misura l'altezza del barometro nel momento dell'esperienza, più quella del mercurio nel tubo *th* del vaso intermedio. Noi ci siamo serviti di questo apparecchio nelle nostre esperienze sulla ricerca delle quantità di calore del vapore a diverse pressioni.

97. Sarebbe desiderabile una tavola esattissima delle forze elastiche dei vapori, per l'intervallo fra la temperatura del ghiaccio e 200 gradi; ma per formarla sarebbero necessarie accuratissime esperienze, le quali ad alte temperature riescono pericolose. Comunque sia, ecco quella ch'è stata calcolata in parte da Biot sui risultamenti della memoria di Dalton. Io poi vi ho aggiunto le forze elastiche per alte temperature, che Dulong ha dedotte dall'esame comparativo di diverse esperienze notè su questo argomento, e che cortesemente si è compiaciuto di comunicarmi. Questa tavola però che il Governo di Francia ha domandata all'Accademia non è che provvisoria, ma una commissione, relatore della quale è l'istesso Dulong, si occupa nel determinare con molta precisione le forze elastiche del vapor d'acqua per altissime pressioni.

*Tavole delle forze elastiche del vapore d'acqua
fra — 20 e + 100 gradi*

GRADI	TENSIONI	GRADI	TENSIONI	GRADI	TENSIONI	GRADI	TENSIONI
—20	1,333	18	15,353	56	119,39	94	611,18
—19	1,429	19	16,288	57	125,31	95	634,27
—18	1,531	20	17,314	58	131,50	96	658,05
—17	1,638	21	18,317	59	137,94	97	682,59
—16	1,755	22	19,417	60	144,66	98	707,63
—15	1,879	23	20,577	61	151,70	99	733,46
—14	2,011	24	21,805	62	158,96	100	760,00
—13	2,152	25	23,090	63	166,56		
—12	2,302	26	24,452	64	174,47		
—11	2,461	27	25,881	65	182,71		
—10	2,631	28	27,390	66	191,27		
—9	2,812	29	29,045	67	200,18		
—8	3,005	30	30,643	68	209,44		
—7	3,210	31	32,410	69	219,06		
—6	3,428	32	34,261	70	229,07		
—5	3,660	33	36,188	71	239,45		
—4	3,907	34	38,254	72	250,23		
—3	4,170	35	40,404	73	261,43		
—2	4,448	36	42,743	74	273,03		
—1	4,745	37	45,038	75	285,07		
0	5,059	38	47,579	76	297,57		
1	5,393	39	50,147	77	310,49		
2	5,748	40	52,998	78	323,89		
3	6,123	41	55,772	79	337,76		
4	6,523	42	58,792	80	352,08		
5	6,747	43	61,958	81	367,00		
6	7,396	44	66,627	82	382,38		
7	7,871	45	68,751	83	398,28		
8	8,375	46	72,393	84	414,73		
9	8,909	47	76,205	85	431,71		
10	9,475	48	80,195	86	449,26		
11	10,074	49	84,370	87	467,38		
12	10,707	50	88,742	88	486,09		
13	11,378	51	93,301	89	505,38		
14	12,087	52	98,075	90	525,28		
15	12,837	53	103,06	91	545,80		
16	13,630	54	108,27	92	566,95		
17	14,468	55	113,71	93	588,74		

*Tavola delle forze elastiche del vapor d'acqua, da 0^m,76
fino a otto pressioni*

Numero di atmosfere	Pressione in metri di mercurio	Temperatura
1	0,76	100
1 $\frac{1}{2}$	1,140	112,2
2	1,52	122
2 $\frac{1}{2}$	1,90	129
3	2,28	135
3 $\frac{1}{2}$	2,66	140,7
4	3,04	145,2
4 $\frac{1}{2}$	3,42	150
5	3,80	154
5 $\frac{1}{2}$	4,18	158
6	4,56	161,5
6 $\frac{1}{2}$	4,94	164,7
7	5,32	168
7 $\frac{1}{2}$	5,70	170,3
8	6,08	173 (a)

98. In Francia era stato ammesso che le forze elastiche di tutti i vapori sieno le stesse a egual distanza dai punti d'ebul-

(a) Le forze elastiche variano in un modo assai regolare. Se primieramente si supponga nulla la variazione del coefficiente, e se si rappresenti con A il coefficiente costante per cui bisogna moltiplicare una forza elastica per avere la seguente, avremo

$$f = 0^m,76, f_1 = 0^m,76 A, f_2 = 0^m,76 A^2, \dots f_t = 0^m,76 A^t.$$

Dal che abbiamo $\log f_t = \log 0^m,76 + t \log A$.

L'ipotesi ammessa di sopra di un coefficiente costante, non è rigorosamente conforme alle esperienze, sicchè al termine $t \log A$ bisogna sostituirne uno più composto. La sostituzione d'un termine della for-

ma $at - bt^2 + ct^3$ darà $f_t = 0^m,76 \times 10^{at - bt^2 + ct^3}$. Questa formula è stata proposta da Laplace: f_t è la forza elastica alla temperatura t ; a è positivo sopra 100° e negativo sotto: se si calcolano primieramente i coefficienti a , b , e per tre temperature, per esempio per 25°, 50°, 75° gradi, e se si sostituiscono i loro valori numerici nella formula, essa allora rappresenterà assai bene tutte le forze elastiche intermedie. È chiaro che quanto più vicine saranno fra loro le tre temperature che servono a determinare a , b , c , la formula rappresenterà meglio l'esperienza; sicchè è indispensabile calcolare più volte questi coefficienti in un intervallo esteso, per es. di 150°.

fizione dei liquidi che li producono. Così se il vapore acquoso alla temperatura di 100° , termine dell'ebullizione dell'acqua, è capace di fare equilibrio ad una pressione di $0^m,76$, esso perderebbe la metà della sua forza per una diminuzione di 18° , e acquisterebbe una forza doppia per un aumento di temperatura di $22^{\circ},2$. Qualunque altro vapore proverebbe lo stesso cambiamento nella sua elasticità per un eguale intervallo di temperatura.

In conseguenza di questa legge, basterebbe aver la tavola d'un sol vapore, fatta con precisione, per poterne dedurre tutte le forze elastiche degli altri vapori a qualunque temperatura. Per esempio, l'acqua a $100^{\circ}-18^{\circ}$, l'alcool a $78^{\circ},7-18^{\circ}$, l'etere solforico a $35^{\circ},5-18^{\circ}$, l'essenza di terebinto a $156^{\circ},8-18^{\circ}$, avrebbero una forza elastica eguale a $0^m,38$, metà di $0^m,76$. Gli stessi liquidi a 22° , sotto la temperatura della loro ebullizione, avrebbero una forza eguale a $1^m,52$, cioè il doppio di $0^m,76$.

Se vogliamo sapere la forza elastica dell'etere solforico a $18^{\circ},5$, dell'alcool a $55^{\circ},4$, toglieremo primieramente $18^{\circ},5$ da $35^{\circ},5$, temperatura dell'etere in ebullizione, e avremo 17 di differenza. Allora prenderemo nella tavola l'elasticità del vapor d'acqua a $100^{\circ}-17=83^{\circ}$, e troveremo $0^m,398$, forza elastica del vapore d'etere a $18^{\circ},5$. L'alcool a $55^{\circ},4$ si trova distante $23^{\circ},3$ dalla sua ebullizione: cerchiamo dunque nella tavola l'elasticità del vapor d'acqua a $100^{\circ}-23^{\circ},3=76^{\circ},7$, e troveremo $0^m,306$ per la forza elastica del vapore dell'alcool a $55^{\circ},4$.

Questa legge però non è tanto rigorosa quanto è forse comparsa ad alcuni; ed infatti citerò le mie esperienze, dalle quali risulta, che l'acqua, l'alcool, l'etere solforico e l'essenza di terebinto, entrano in ebullizione sotto pressioni eguali, a temperature non equidistanti dai loro punti d'ebullizione, alla pressione di $0^m,76$. Dunque è chiaro che a distanze eguali da questi ultimi punti, la forza elastica di ciascuno di questi liquidi non è la stessa.

Per un intervallo d'una mezza pressione, l'etere solforico dà un grado di differenza, e l'essenza di terebinto ne dà 7. Io ho presa direttamente la temperatura d'ebullizione del liquido degli Olandesi, e l'ho trovata $85^{\circ},85$; il qual liquido a $12^{\circ},17$ ha una forza elastica eguale a $0^m,0558$. Cercando nella tavola del vapor d'acqua la temperatura alla quale essa ha questa forza elastica, troviamo che l'ha a $40^{\circ},95$, la qual temperatura è distante $59^{\circ},05$ dal punto d'ebullizione. Or se la legge fosse conforme all'esperienza, aggiungendo $59^{\circ},05$ a

12°, 17, dovremmo avere 85°, 85, mentre abbiamo soltanto 71°, 22: dunque la differenza è di 14°, 73 (*An. ch.* 1822).

Anco il Dottore Ure ha avute le stesse conseguenze: tuttavia crediamo che le sue sole esperienze non bastino a far eccezione alla legge di Dalton, perchè i liquidi di cui si è servito non erano perfettamente omogenei.

99. Quantunque sia dimostrato che la legge di Dalton sulle forze elastiche dei vapori non è rigorosamente esatta, nondimeno il conoscerla soltanto è un notabil vantaggio, di cui dobbiamo esser grati a questo celebre Fisico, poichè ben poco considerevoli sono le differenze fra i risultamenti di questa legge, e quelli dell'esperienza. Così, secondo questa legge, l'acido solforico, il mercurio e i metalli volatili ad alte temperature, alla temperatura ordinaria non hanno che un'elasticità insensibile, come appunto comunemente si osserva. Siam dunque certi, che la colonna del mercurio nel barometro non è niente depressa dal vapore di questo metallo.

100. Una materia estranea, presente ad un liquido, ha un'influenza sul grado di volatilità di esso: così l'acqua del mare non bolle che a cento gradi, o poco più; e la potassa, il cloruro di calcio, l'acido fosforico, ec. possono ritardare più di venti gradi il punto d'ebullizione dell'acqua. Un'acqua che scorre sulla superficie della terra, non bolle mai a 100°, perchè sempre contiene qualche sale che la rende più fissa.

È da notarsi, che i numeri più alti da noi indicati per le temperature dei punti d'ebullizione di molti liquidi come acqua, alcool, etere solforico ed essenza di terebinto, non sono esatti se non nel caso di massima purità dei liquidi stessi. L'alcool di commercio, che sempre è mescolato con una maggiore o minor quantità d'acqua, non bolle che a qualche grado sopra gli 80; e l'etere solforico ordinario, che contiene acqua e alcool, non bolle che sopra 40°.

101. Terminerò questo argomento delle forze elastiche con un'osservazione molto ingegnosa di Wollaston, fratello del celebre chimico. Da molte esperienze fatte a Londra egli ha rilevato, che un grado di variazione nella temperatura dell'ebullizione dell'acqua pura, corrisponde a 0^m,027 di variazione nell'altezza del barometro: quindi è che un termometro sensibile, posto in un vaso pieno d'acqua che venisse trasportato in basso e sopra un luogo elevato, potrebbe servire a far conoscere l'altezza del barometro che si portasse successivamente alle due stazioni, e quindi la misura dell'elevazione; ma probabilmente non sarà mai da preferirsi questo metodo a quello con cui si prendono direttamente le altezze del barometro, e di cui parleremo a suo luogo.

Densità dei Vapori

102. Da pochi anni soltanto, e per l'opera di Gay-Lussac, conosciamo esattamente la densità di alcuni vapori, sotto la pressione media dell'atmosfera. Per ben comprendere il metodo usato a questo fine da quel dotto chimico, bisogna alquanto analizzare l'esperienza. E primieramente un tal processo, considerato sotto un aspetto generale, consiste nel misurare il volume di vapore, somministrato da un dato peso di liquido. Si prende una boccetta di vetro con collo lungo e stretto, e si pesa prima vota e poi piena di liquido. Per empiria, si scalda prima il suo corpo, e poi s'immerge nel liquido l'estremità del collo; allora l'aria della boccetta si raffredda, e quindi vi entra il liquido, premuto dall'aria esterna: si ripete l'operazione finchè tutta la boccetta sia piena, senza mescolanza d'aria; quindi si scalda un poco, perchè u' esca una piccola porzione di liquido, e subito si chiude alla lucerna l'estremità del tubo. Allora si introduce in una campana graduata (*fig. 104*) alta circa un piede e larga due pollici, piena di mercurio, e che con la sua base è immersa in una caldaia di ferro fuso, piena parimente di mercurio: inoltre è circondata da una massa d'acqua contenuta in un cilindro di vetro, aperto da ambedue le estremità. La caldaia è posta sopra il fuoco, sicchè si può alzare la temperatura di tutto l'apparecchio. In poco tempo la boccetta crepa, e l'acqua che vi era contenuta si riduce in vapore: si seguita a riscaldar l'apparecchio, finchè l'acqua che è intorno alla campana piena di mercurio giunga a bollire (*a*). Allora si nota il volume occupato dal vapore; si osserva l'altezza del mercurio nella campana, sopra il livello del bagno; e sottraendo questa dall'altezza del barometro posto nel luogo delle esperienze, si ha la pressione del vapore interno. Bisogna però, come ognuno comprende, riportare col calcolo ogni colonna di mercurio alla temperatura del ghiaccio che si fonde; e di più bisogna aggiungere all'altezza del barometro, il valore della piccola colonna di liquido del cilindro d'acqua che pesa sul bagno del mercurio.

Convorrà assicurarsi se tutto il liquido è ridotto in vapore, poichè altrimenti resulterebbero gravissimi errori; e ciò necessariamente accaderebbe, se vi si introducesse maggior quantità di liquido di quella che è necessaria per empir tutta la campana alla

(a) Per liquidi meno volatili dell'acqua, basterebbe empir il cilindro con un olio fisso.

temperatura dell'esperienza. E abbiamo un mezzo certo per assicurarci di questa circostanza, poichè per la legge di Dalton possiamo determinare approssimativamente la forza elastica d'un vapore ad una data temperatura, come già abbiamo indicato di sopra (n.º 98). Se la forza elastica del vapor della campana, misurata col mezzo praticato sul principio di questo capitolo, è eguale a questo limite, probabilmente non tutto il liquido sarà ridotto in vapore: in tal caso bisognerà riprincipiar l'esperienza con quantità minori di liquido, finchè la forza del vapore, presa nel momento della misura del volume, sia sotto il limite assegnato dalla legge approssimativa delle forze elastiche. È chiaro che sarà sempre necessario, che la temperatura dell'apparecchio sia almeno eguale alla temperatura dell'ebullizione del liquido, del vapor del quale si cerca la densità.

Per fare il calcolo, riporteremo il volume d'un grammo di vapore a quello d'un grammo d'aria asciutta, a 0^m,76 di pressione, e alla temperatura del ghiaccio che si fonde. Ora; poichè 1 litro d'aria atmosferica pesa 1^{gr},299, il volume d'un grammo dovrà essere $\frac{1 \text{ lit.}}{1,299}$. Sia V il volume di vapore somministrato da

un peso p di liquido; il volume di un grammo sarà $\frac{V}{p}$: sia h

l'altezza della colonna di mercurio, alzata nella campana sopra il livello del bagno, e H l'altezza del barometro esterno; $H-h$ sarà la pressione sostenuta dal vapore. E perchè sia giusto il paragone dei volumi d'una stessa quantità di materia, bisognerà riportarli ambedue ad una stessa temperatura e ad una stessa pressione; e a questo fine si sceglie la pressione di 0^m,76, e la temperatura del ghiaccio quando si fonde. Il volume V è troppo piccolo, poichè ogni divisione, in conseguenza della dilatazione, è cresciuta nel rapporto di $1 : 1 + kt$, indicando con k il coefficiente della dilatazione cubica della materia della campana: il volume del vapore è dilatato nel rapporto di $1 : 1 + 0,00375 \times t$: sappiamo inoltre, che i volumi dei gas e dei vapori sono in ragione inversa delle pressioni; dunque il volume corretto (α) sarà

$$\frac{V (1 + kt) (H - h)}{p (1 + 0,00375 \times t) 0,76} (A).$$

(α) In H è compresa l'altezza della colonna d'acqua, che circonda la campana, moltiplicata per il rapporto della densità di questo liquido a quella del mercurio.

103. *Esempio.* Densità del vapor d'acqua secondo i dati delle esperienze di Gay-Lussac:

Peso della boccetta piena d'acqua. 1^{re},391

Peso della boccetta vota. 0^{re},791

Peso dell'acqua. 0^{re},600

Questa quantità d'acqua ha empito, alla temperatura di 100 gradi, 220 divisioni della campana; ogni divisione rappresentava 0^{lit},005; la colonna di mercurio elevata nella campana sopra il livello del bagno, era 0^m,052; il barometro esterno indicava 0^m,756; il coefficiente della dilatazione cubica del vetro, è da 0° a 100°, $\frac{1}{38700}$ per ogni grado centigrado. Sostituendo nella formola tutti questi dati si trova che un grammo di vapore occupa 1^{lit},238, alla temperatura del ghiaccio che si fonde, e alla pressione di 0^m,76: nelle stesse circostanze un grammo d'aria può occupare $\frac{1^{lit}}{1,299}$; e poichè le densità sono in ragione inversa dei

volumi, supposti pesi eguali, si trova che la densità del vapore è 0,622, ossia quasi $\frac{1}{16}$ di quella dell'aria. Nella stessa maniera Gay-Lussac ha trovato le densità dei vapori d'etere, d'alcool, di solfuro di carbone e d'essenza di terebinto, quali son riportate qui appresso.

Tavola delle densità		Pesi d'un litro a zero, e a 0 ^m ,76 di pressione
Aria	1,000	1 ^{re} ,299
Vapor d'acqua	0,622	0,810
d'alcool	1,613	2,006
d'etere solforico	2,586	3,360
di solfuro di carbone	2 645	3,436
d'essenza di terebinto	5,013	6,515

104. Di questi soli vapori è stata determinata direttamente la densità. La cognizione della densità d'un vapore, è spesso un mezzo per verificare un'analisi chimica: così per mezzo d'analisi è stato trovato, che l'acqua è formata di 1 d'idrogeno e di $\frac{8}{1}$ d'ossigene. Per verificare questo resultamento, basta unire il peso d'un volume d'idrogeno al peso d'un mezzo volume d'ossigene; e questa somma dovrà essere sensibilmente eguale alla densità 0,622 trovata direttamente: e in fatti in questa maniera si trova 0,620. In egual modo potrebbe ciò verificarsi per l'alcool, per l'etere, e in generale per tutti i liquidi, il vapore dei quali abbia una densità e una composizione chimica nota.

105. Saussure aveva creduto che i vapori fossero tanto più pe-

santi quanto più volatili erano i liquidi che li producevano. Ma che ciò non sia vero, lo provano le esperienze citate di sopra, poichè il solfuro di carbone, meno volatile dell' etere solforico, dà un vapore più denso di quello che deriva dall' etere.

106. Era utile il sapere se le densità dei vapori son proporzionali alle pressioni a cui sono soggetti: e questo appunto è ciò che io ho fatto in una memoria (*An. ch.* 1822), per l' intervallo fra zero a 80 gradi. Col processo di Gay-Lussac si hanno le densità dei vapori sotto la pressione di $0^m,76$; e col mio si hanno sotto pressioni inferiori. Per ottenere il vapore perfettamente isolato, e alla temperatura dei corpi circostanti, si prende un largo barometro, d' un diametro triplo degli ordinarii, e munito d' un robinetto (*fig.* 105), nella parte superiore del quale si introduce il liquido che si vuol sottoporre all' esperienza, e vi si adatta un globo perfettamente voto d' aria, il quale in poco tempo vien empito di vapore. Un barometro ordinario B pesca nello stesso bagno di mercurio, sicchè dalla differenza delle altezze del mercurio nei due tubi, si conosce la forza elastica: finalmente osservando un terzo tubo di barometro C, che contiene lo stesso liquido, si giudica se la forza elastica è al massimo grado, e quindi se lo spazio è saturato. Il globo che ha servito per queste esperienze, aveva la capacità di $9^{lit.},3746$ alla temperatura di 15° .

L' acqua, l' etere solforico e il solfuro di carbone sono stati il soggetto di queste ricerche; ma riporteremo soltanto alcuni risultamenti ottenuti dal solfuro di carbone.

I.^a ESPERIENZA. Temperatura dell' aria $15^\circ,87$

Peso del globo voto. $874,975$

Peso del globo pieno di vapore. $883^s,162$

Peso del vapore. $8^s,187$

Forza elastica $0^m,1991$

Riportando il peso del vapore a zero, si trova $8^s,648$. Il peso dello stesso volume di vapore somministrato dal liquido in ebullizione sotto $0^m,76$, e riportato a 0° , sarebbe $32^s,249$.

II.^a ESPERIENZA. Temperatura dell' aria $14^\circ,78$.

Peso del globo voto. $875^s,018$

Peso del globo pieno. $880,212$

Peso del vapore. $5,194$

Peso riportato a zero. $5,486$

Forza elastica. $0,1272$

I pesi $32,249$; $8,648$; $5,486$ sono proporzionali alle forze elastiche $0^m,76$; $0^m,199$; $0^m,127$.

Da queste esperienze e da altre analoghe risulta, che le densità dei vapori, riportate col calcolo ad una stessa temperatura, son proporzionali alle forze elastiche. Southern, in una scala molto estesa, ha fatte sul vapor d' acqua tali esperienze, per le quali si

è indotto ad ammettere la proporzione fra le densità e le elasticità, senza la correzione della temperatura. Ma erronea mi sembra questa opinione. I risultamenti delle esperienze che ho riferite, con le quali viene estesa anco ai vapori la legge di Mariotte, non debbon riguardarsi per veri se non dentro a certi limiti.

107. Cagniard de la Tour ha cercati gli effetti prodotti su molti liquidi dall'azione riunita del calore e della compressione. A tale effetto, in tubi di vetro, sigillati poi alla lucerna, introduce successivamente acqua, alcool, etere solforico, in quantità sufficiente per empir solo una parte della lor capacità. Riscaldati diligentemente i tubi, il liquido interno in principio si dilata; e oltre un certo limite di espansione, lontano però dall'empire tutta la capacità del tubo, si riduce tutto in vapore senza lasciare la minima apparenza di liquido. Facendo agire per via di pressione i vapori sopra un volume costante d'aria, Cagniard ha potuto conoscerne la forza elastica. L'apparecchio di cui si è servito, è composto (fig. 106) d'un tubo ABC, d'un millimetro di diametro in tutta la sua lunghezza, e d'un altro tubo FDE saldato al primo, di 45 millim. di diametro: il mercurio occupa lo spazio BCD, e il liquido lo spazio FE; e il tubo stretto AB è pieno d'aria, e fa le veci di un manometro (1).

Ecco quali risultamenti ha ottenuto questo sperimentatore. L'etere solforico si riduce in vapore alla temperatura di 200°, in uno spazio minore del doppio del suo volume in stato liquido, e allora esercita una pressione di 37 o 38 atmosfere. L'alcool parimente, portato alla temperatura di 259°, evapORIZZA totalmente in uno spazio un poco minore del triplo del suo volume in stato liquido, e fa equilibrio a 119 atmosfere. Finalmente l'acqua, ad una temperatura poco minore di quella della fusione dello zinco, passa allo stato di fluido elastico in uno spazio quasi quadruplo del suo volume in stato liquido.

(1) Questo vocabolo è una specie di soprannome dato al barometro, e relativo ad un uso particolare di questo strumento. Noi diremo qui in anticipazione, che il barometro è composto principalmente d'un tubo di vetro alto circa 80 centimetri o 30 pollici, chiuso all'estremità superiore, e in cui sta una colonna di mercurio sostenuta dalla pressione che l'atmosfera esercita sopra essa col suo peso. A misura che questo peso cresce o scema, la colonna diviene più lunga o più corta, e da ciò è nato il nome *barometro*, che significa misura del peso. Ora se il barometro sia chiuso in uno spazio in cui sia trattennuta l'aria, questo fluido non agirà più se non con la sua elasticità sulla colonna di mercurio, la quale diverrà più lunga o più corta, secondo che la forza elastica dell'aria crescerà o scemerà. In tal caso lo strumento prende il nome di *manometro*, che significa *misura della rarità*, perchè l'elasticità dell'aria cambia, secondo che questo fluido è più o meno raro.

Per determinare il grado di calore dell'alcool e dell'etere, lo stesso Cagniard fa riscaldare in un bagno d'olio i tubi che li contengono. E sia pur vero che un tal processo non è suscettivo di molta esattezza, ma i risultamenti generali che se ne ottengono, non cessano d'essere importantissimi (*An. ch.* t. 21, 22).

Da quanto abbiamo detto può dedursi questa conseguenza: che i vapori, dentro certi limiti, seguono la legge della condensazione dei gas; e che oltre a questi limiti, si allontanano anzi moltissimo da questa legge medesima. Del resto, vedremo altrove che i gas *permanenti*, sottoposti a forti compressioni, non seguono più la legge della proporzione fra le densità e le forze elastiche, ossia, si allontanano dalla legge di Mariotte (n.° 108).

Miscelanza dei Gas e dei Vapori

Per ben comprendere la storia dei fenomeni prodotti dalla mescolanza dei gas e dei vapori, bisogna primieramente conoscere la legge della condensazione dei gas, la differenza che passa fra i gas e i vapori, e finalmente la mescolanza dei gas fra loro.

108. La variazione del volume d'una stessa massa di gas, corrispondente ad una variazione di pressione, procede secondo una legge che è stata scoperta da Boyle e da Mariotte, ed è questa: una stessa massa di gas occupa *volumi*, che sono in *ragione inversa delle pressioni* alle quali vien sottoposta =. Per dimostrar questa legge in un modo sperimentale, si prende un tubo di vetro ricurvo (*fig.* 107) del diametro di quelli da barometro; osservando che il braccio più corto abbia lo stesso diametro interno in tutta la sua lunghezza, la quale suol essere di sei o otto pollici, e il braccio più lungo è fra sei e nove piedi; e un tal tubo si adatta ad una tavoletta, sulla quale è applicata una divisione opportuna per ambedue i bracci. Dalla parte aperta A, si introduce una piccola quantità di mercurio, in modo che si stabilisca il livello nei due bracci: così del braccio più corto è noto il volume d'aria, il quale fa equilibrio con la pressione esterna. Se ora nel braccio più lungo si versi tanto mercurio, che il suo livello in questo superi quello del più corto d'una quantità eguale alla pressione esterna, il volume d'aria sarà ridotto a metà. Se aggiungendo altro mercurio, questa differenza è eguale al doppio della pressione esterna, nel qual caso il gas del braccio corto sostiene tre pressioni, il suo volume sarà ridotto ad un terzo, e così di seguito, come si può vedere nel seguente prospetto.

Pressione	Volume dell'aria
0 ^m ,76	100 parti
0, 76×2	50
0, 76×3	33,3
0, 76×4	25

Nella quale esperienza però si osservi, che l'aria si suppone perfettamente asciutta, e che si suppone parimente che la temperatura non cambi nel decorso dell'operazione.

Spesso nasce l'occasione di ricorrere a questa legge, per riportare un dato volume d'aria ad una pressione costante, il che può eseguirsi con tutta facilità. Per esempio, 150 parti d'aria sono alla pressione 0^m,74; se ne domanda il volume alla pressione media 0^m,76. Si farà la proporzione $150 : x :: 0,76 : 0,74$, e quindi $x = 146$ parti (a).

(a) Non ostante però l'indicata legge di Mariotte, io ho potuto rilevare che tutti i gas son compressibili più di quello che resulterebbe da questa legge. Secondo Mariotte, un volume determinato di gas, sottoposto successivamente a diverse pressioni, occupa volumi che sono in ragione inversa di queste pressioni (n.º 108); ma dalle mie esperienze, di cui resi conto all'Accademia nel Marzo del 1827 (*An. ch.* 1827) resulta, che i volumi ottenuti realmente son sempre minori.

Nelle prime esperienze, due provette ben calibrate, una piena d'aria atmosferica, l'altra d'un altro gas, erano chiuse in un tubo di vetro ben grosso, e pieno d'acqua: a questo tubo era adattato un cilindro di rame, nell'interno del quale era uno stantuffo parimente di rame, che si spingeva più o meno, per avere una più o meno forte pressione. Facendo tutte le correzioni che si richiedono per simili esperienze, e calcolandone le pressioni dalla diminuzione di volume; il gas ammoniacale, l'acido solforico, il cianogene, l'acido idrosolforico, ec. producono pressioni più forti dell'aria; anzi l'acido solforico produce pressioni più forti dell'idrogene. Il qual resultamento è contrario alle indicazioni della legge di Mariotte, che con i suoi calcoli trovava tutti i gas egualmente compressibili.

Per dare un'idea della differenza che esiste fra i resultamenti calcolati e quelli dell'esperienza, riporteremo le pressioni che resultano dal gas ammoniacale perfettamente privato d'acqua e d'altre materie eterogenee, e dall'aria atmosferica perfettamente pura e prosciugata.

Pressioni indicate del gas ammoniacale	Pressioni indicate dall'aria
1 ^m ,850	1 ^m ,819
2,663	2,582
4,132	3,865

Col primo apparecchio bisognava prendere un gas per termine di

109. La legge di Mariotte è vera in limiti molto estesi, come da zero a 10 atmosfere; ma secondo le esperienze fatte in Inghilterra, bisogna ammettere necessariamente, che sotto pressioni molto forti, il volume calcolato sarebbe molto superiore al volume osservato. Faraday, per mezzo di fortissime pressioni, è giunto a render liquidi moltissimi gas, che si supponevano seguire la legge di Mariotte, come l'acido solforoso, gli acidi idrosolfurico e carbonico, l'ossido di cloro, l'ammoniaca, il protoossido d'azoto e il cianogene. Tutti i liquidi prodotti dalla condensazione di questi gas sono senza colore, eccettuato quello che deriva dall'ossido di cloro, e tutti sono perfettamente fluidi e volatili, e in generale niun freddo basta a solidificarli. La prima esperienza fu fatta sui cristalli di cloro. Si sa che una dissoluzione di questo gas, ridotta ad una temperatura sotto i 4° , 5, lascia depositare alcuni cristalli, i quali, secondo le esperienze di Davy, son formati da una combinazione di cloro e d'acqua, nel rapporto di 72, 30 : 27, 7, il qual rapporto è stato rilevato da Faraday. Questi per le idee suggeritegli dall'illustre chimico al quale la scienza è debitrice di sì sublimi concepimenti, sottopose tali cristalli all'azione riunita del calore e della pressione. A tal effetto, introdusse alcuni cristalli di cloro, prosciugati per quanto è possibile, in un tubo di vetro, che poi chiuse ermeticamente. Alla temperatura di 38° questi si scomposero, e produssero due liquidi, dei quali uno di color giallo pallido, presentava l'aspetto dell'acqua, l'altro d'un

paragone: un altro apparecchio rappresentato dalla *fig.* 108 e che da *πιεζόμετρον* che significa premere è stato detto piezometro, indica la pressione assoluta. La parte A non è altro che l'antico apparecchio; la parte B comunica con la parte A per mezzo del tubo laterale E. Il mercurio contenuto nel tubo B si alza nel tubo *cd*, e indica la pressione. Questa maniera d'operare è vantaggiosa, perchè indica la pressione assoluta con una precisione che è sempre la stessa, qualunque sia la pressione. Bisogna tener conto ancora della compressione del mercurio, per quanto essa influisca ben poco sull'operazione, come io stesso sperimentando ho potuto rilevare. È però necessario l'osservare la temperatura della colonna di mercurio, la quale si conosce per mezzo di due termometri posti nella colonna medesima; inoltre anche nel tubo B è chiuso un altro termometro. I risultamenti ottenuti con questo apparecchio permettono di descrivere la curva d'ogni gas.

Lo stesso apparecchio servirà a verificare le numerose esperienze che ho fatte sulla compressione dei principali liquidi e d'alcuni corpi solidi, e nelle quali ho trovato una compressione decrescente per tutti i liquidi. Il piezometro usato da Canton è soggetto a molti inconvenienti. Quello di cui mi son servito io è rappresentato dalla *fig.* 48. Siccome il liquido dell'interno del tubo è separato dal liquido circostante per mezzo dell'aria del serbatoio CD, non v'è da temere la penetrazione del piccolo indice *m* di mercurio; penetrazione che spesso ha luogo, e di cui è impossibile tener conto nell'apparecchio di Canton, poichè in questo apparecchio l'indice non è separato dal liquido circostante.

color giallo verdastro, era simile a un cloruro d'azoto; ma può riguardarsi come cloro *puro liquefatto*, poichè altro gas cloro, prosciugato ed esposto ad una forte compressione ha prodotto lo stesso liquido.

Il cloro liquido può esser separato dall'acqua per via di distillazione, per mezzo d'un lume a alcool. Esso è perfettamente limpido a 18° sotto lo zero; ed esposto alla pressione ordinaria dell'atmosfera si volatilizza, ma soltanto in parte, a motivo del freddo prodotto dalla sua stessa evaporazione (n.° 88.)

Tavola dei principali Gas liquefatti

Acido solforoso liquido (densità 1,70) a — 7° sotto 2 atmosfere		
Cloro	+ 15	4 atm.
Idrogeno solforato (d ^{ia} 0,9)	+ 10	17
Acido carbonico	0	36
Protossido d'azoto	+ 7	50
Cianogene (d ^{ia} 0,9)	+ 7	3,7
Acido muriatico (idrocloreico)	+ 10	40
Gas ammoniacale (d ^{ia} 7,6)	+ 10	6,5

Ognuno di questi liquidi prodotti in tal modo, deve essere, ed è realmente dotato di grande elasticità; ed elevatane all'improvviso la temperatura, essi in generale detonano con violenza.

110. Quando alla Società filomatica fu annunziata l'importante scoperta della liquefazione dei gas, erano già sei anni dacchè io dissi che aveva ottenuto l'euclorino liquido, facendo passare questo gas ben prosciugato in un tubo di vetro, circondato d'una mescolanza frigorifica; che il liquido era verdastro; che esposto ad un leggerissimo calore, avea prodotto una detonazione simile a quella d'un colpo di fucile, e che il tubo di vetro era stato ridotto in polvere. Poco tempo dopo, per una lettera di Faraday, fu pubblicato a Parigi, che queste specie di liquidi avevano infatti questi caratteri. Dopo quell'epoca, Bussy, per mezzo di una mescolanza frigorifica, ha liquefatto il gas acido solforoso ed altri simili gas, e ha concepito il bel pensiero di far servire questi liquidi volatilissimi alla produzione di gran freddi. Per esempio, per congelare il mercurio, si pone sotto il recipiente d'una macchina pneumatica una pallina da termometro, bagnata con acido solforico liquido; e facendo il voto, dopo pochi minuti il mercurio è gelato.

I gas condensati sono stati proposti ancora come agenti meccanici; e Brunel ha dato perfino il modello d'una macchina messa in azione dall'acido carbonico, alternativamente liquefatto e gasificato; ma fin ora non è stata costruita in grande veruna macchina di questo genere.

111. La distinzione dei fluidi elastici in due classi non è dunque più ammissibile, se non dentro certi limiti. Erano stati chiamati *gas permanenti* i gas, i quali, come l'aria atmosferica, l'acido carbonico, ec., conservano il loro stato gassoso sotto qualunque pressione e a qualunque temperatura; e *gas non permanente* o *vapori* i fluidi elastici i quali perdevano il loro stato per effetto di compressione o di raffreddamento: tali sono tutti i fluidi aeriformi che derivano dall'acqua, dall'alcool, dall'etere solforico, dalle essenze, ec. Ma noi abbiamo veduto di sopra, che alcuni gas considerati fin qui come gas permanenti, divengono liquidi per effetto di forti compressioni o di raffreddamento. L'aria atmosferica, i gas azoto, idrogeno e ossigeno, non sono stati fin qui ridotti in stato liquido, ma ciò forse un giorno potrà accadere. Comunque sia, una tal distinzione può ammettersi nelle circostanze ordinarie: così si prenda un tubo simile a quello adottato da Dalton per determinare le forze elastiche dei vapori sopra il punto d'ebullizione; vi si introduca un poco d'etere solforico, si immerga il braccio più corto nell'acqua calda, e si vedrà il mercurio nel braccio più lungo venir ben presto sollevato dal vapore: allora si versi un poco d'acqua fredda sulla parte del tubo che contiene il vapore d'etere, e subito si vedrà operarsi la liquefazione: ecco l'*effetto del freddo* sui vapori. Si immerga di nuovo il tubo nell'acqua calda, e di nuovo si formerà il vapor d'etere; ma di più si arriverà a condensarlo, aggiungendo nel braccio lungo alcuni decimetri di mercurio: ecco l'*effetto della pressione* sui vapori.

Mescolanza dei Gas

112. La mescolanza dei gas si fa in una maniera totalmente diversa da quella dei liquidi, questi si dispongono per ordine di densità, se un'azione chimica non determini la loro intima unione, quelli al contrario si mescolano indipendentemente dalle densità e dall'affinità. Questo fatto si prova con una facilissima esperienza. Si uniscano due globi (fig. 109) uno pieno di gas idrogeno e l'altro di gas acido carbonico, il primo nel globo superiore, il secondo nell'inferiore. Se dopo un certo tempo esaminiamo il gas di ciascun globo, troveremo lo stesso in ambedue, cioè un gas composto delle stesse quantità d'acido carbonico e d'idrogeno. Ogni gas si sparge in tutto lo spazio come nel voto, la qual proprietà dei gas dipende dalla loro porosità, dalla massima mobilità delle loro molecole, ec. Anzi è stato osservato che tanto più prontamente accade la mescolanza, quanto è maggiore la differenza fra le densità.

113. Passiamo a cercare la forza elastica d'una mescolanza di

più gas, supponendo nota in particolare la forza di ciascun gas. Sia primieramente un volume V di gas, sotto la pressione P , chiuso in un vaso non estensibile: vi si introduca un volume eguale d' un altro gas alla stessa pressione, è chiaro che l'elasticità totale sarà $P+P=2P$, e introducendovene un altro volume V , alla stessa pressione, la forza elastica diverrebbe $P+P+P=3P$, poichè è lo stesso che aver ridotto prima a V il volume $2V$, poi il volume $3V$, presi ognuno alla pressione P . Ora, secondo la legge di Mariotte, la forza elastica deve divenire $2P$ nel primo caso, e $3P$ nel secondo. Se essendo sempre V il volume di ciascun gas, le pressioni o le elasticità sieno $P, P', P'',$ ec., la forza totale sarà $P+P'+P''+$ ec., cioè sarà eguale alla somma totale delle elasticità particolari.

Se ora i volumi invece d'esser tutti eguali a V , sieno $V', V'', V''',$ ec., diversi da V , bisognerà calcolare la forza elastica di ciascun gas secondo la legge di Mariotte: per esempio, se l'elasticità corrispondente al volume V' è P' , avremo l'elasticità di questo gas introdotto nel volume V con la proporzione $V : V' :: P' : x = \frac{V'P'}{V}$. L'elasticità della mescolanza sarebbe

dunque $P + \frac{V'P'}{V}$, dopo l'introduzione del volume V' nel volume V ; dopo l'introduzione del volume V'' in V' , diverrebbe $P + \frac{V'P'}{V} + \frac{V''P''}{V}$, e così di seguito.

Mescolanza dei Gas e dei Vapori

114. Nella mescolanza d'un vapore e d'un gas la forza elastica del primo si unisce a quella del secondo. Questo fatto importante scoperto da Dalton, può dimostrarsi in molte maniere. Per maggior facilità, serviamoci dell'apparecchio di Gay-Lussac. Questo apparecchio è formato di un tubo di vetro cilindrico AB (fig. 110) diviso in parti di capacità eguale, e munito d'un robinetto ad ognuna delle sue estremità. Poche linee sopra il robinetto inferiore è adattato un tubo di vetro ricurvo ab di 2 o 3 linee di diametro. Tutto questo apparecchio diligentemente prosciugato, si empie di mercurio ben bollito. Ciò premesso si invita in R una vescica piena d'aria, e dopo avere stabilita la comunicazione fra il tubo e la vescica, si apre il robinetto R' per lasciar escire il mercurio; e quando la quantità d'aria passata nel tubo è bastante per il fine che ci proponiamo, si chiudono i due robinetti. Per ridurre alla pressione ordinaria l'aria del tubo AB , e si versa mercurio per il tubo ba , finchè si stabilisca il livello nei due tubi.

Si tratta ora d'introdurre il liquido, il che si fa in un modo sicurissimo, per mezzo dell'artificio seguente. Primieramente il robinetto superiore è scavato come apparisce nel disegno V: ora si empie del liquido un piccolo imbuto fissato al robinetto R; e se quindi si gira il robinetto, cade una certa quantità del liquido: così si riprinicipia tante volte, finchè appariscano sulle pareti alcune gocce.

Nell'eseguir l'esperienza si vede, che il primo effetto che produce il liquido nel tubo, è l'aumento d'elasticità del gas, il qual effetto però non è istantaneo, a motivo dell'ostacolo che lo stesso gas oppone alla formazione del vapore. La forza elastica della mescolanza interna è ora più forte della pressione esterna; il livello del braccio più corto è superiore a quello del grande; quindi si lascia escir mercurio per via del robinetto inferiore, finchè si stabilisca il livello. Noi qui supponiamo sempre, che non ostante l'aumento del volume, vi sia un soprappiù di liquido, il che si conosce introducendone una nuova quantità, poichè se ve n'è in eccesso, l'aumento di nuova quantità non forma vapore, e non accresce la forza elastica della mescolanza. Dunque si tratta soltanto di trovare la forza elastica del vapore che si è formato nel gas.

Nel principio dell'esperienza, la forza elastica del gas era eguale alla pressione esterna, che chiameremo H ; e allora il gas occupava un certo numero V di divisioni del tubo: ora ne occupa un volume maggiore V' , e la sua forza elastica, è cambiata, secondo la legge di Mariotte in ragione inversa degli spazi V e V' ;

dunque ora sarà $\frac{VH}{V'}$. Dalle tavole si ha la forza elastica del va-

pore nel voto alla temperatura dell'esperienza, e chiamiamola f : ora se essa è eguale nel gas, dovrà soddisfare all'equazione

$\frac{VH}{V'} + f = H$, e questo appunto è ciò che si trova. Da ciò resul-

ta, che *un vapore, mescolandosi con un gas, conserva la tensione che gli è propria*: sicchè nella mescolanza dei gas e dei vapori, come nella mescolanza dei gas fra loro, ognuna delle parti conserva la forza elastica che avrebbe se fosse isolata, alla sua presente temperatura e sotto il suo volume. Per rendere il calcolo più semplice, abbiamo ridotta la mescolanza alla pressione esterna, ma avremmo ottenuto lo stesso resultamento, qualunque fosse l'elasticità della mescolanza.

115. Facciamone ora l'applicazione alla soluzione di alcuni problemi, che frequentemente s'incontrano nelle ricerche di fisica e di chimica. Per esempio, dato un volume di gas ben prosciugato, sotto una pressione H , si domanda qual cambiamento

proverà, se vi si introduca un liquido, il vapor del quale, alla stessa temperatura, ha una forza elastica f . Primieramente il vaso deve essere estensibile, altrimenti non avrebbe luogo il problema. Ora, il volume del gas cresce finchè la sua elasticità, scemata dalla dilatazione unita alla forza elastica del vapore, faccia equilibrio alla pressione esterna H . Quando il gas cesserà di dilatarsi, la sua forza elastica, unita alla tensione f del vapore, sarà eguale ad H ; dunque sarà $H-f$: ma le forze elastiche dei gas, sono in ragione inversa dei volumi; dunque avremo la proporzione V :

$$x : H-f : H, \text{ e quindi } x = \frac{H \cdot V}{H-f}.$$

Facciamone un'applicazione numerica. Sia $H = 0^m,76$; $f = 0^m,22$, $V = 50$ parti del tubo, sarà $x = 70,37$ parti. Il problema sarebbe un poco più complicato se la temperatura e la pressione venissero a cambiare e allora bisognerebbe ricorrere al calcolo (a).

116. Giova spesso il poter conoscere per mezzo del calcolo, se il cambiamento d'elasticità d'una mescolanza, contenuta in un vaso non estensibile, debba attribuirsi interamente al cambiamento di temperatura. Questo caso si presenta specialmente nelle ricerche sulla respirazione delle piante e degli animali. La soluzione di questo problema dipende unicamente dai prin-

(a) Sia un volume V d'una mescolanza di gas e di vapore alla temperatura t , e alla pressione H : si domanda cosa diverrà questo volume alla temperatura t' e alla pressione H' .

Sieno f, f' le forze elastiche del vapore alle due temperature t, t' : le forze elastiche dell'aria asciutta saranno $H-f$ e $H'-f'$ al principio e al fine dell'esperienza: ma sappiamo che i volumi sono in ragione inversa delle forze elastiche, dunque avremo

$$V : x :: H-f : H'-f', \text{ e quindi } x = \frac{V(H-f)}{H'-f'}.$$

Per tener conto del cambiamento di temperatura, bisogna ricordarsi (n.° 63), che se la temperatura t d'una massa di gas diviene t' , i volumi successivi sono nel rapporto diretto delle dilatazioni, ossia di $1+at$: $1+at'$, chiamando a il coefficiente di dilatazione dei gas: quindi la formola generale sarà

$$x = \frac{V(H-f)(1+at')}{(H'-f')(1+at)}$$

Applicazione. Un volume d'aria umida è di 55^{lit}, 37 alla temperatura di 15°, e alla pressione 0^m,73: si domanda cosa diverrà questo volume alla temperatura di 25°, e alla pressione di 0^m,78, sapendosi che la forza elastica del vapor d'acqua a 15° è di 0^m,0128, e a 25° è di 0^m,0231. Ragionando su questi numeri come sulla formola, si trova che il nuovo volume è

$$\frac{55,37 \times 0,7172 (1+0,00375 \times 25)}{0,757 (1+0,00375 \times 15)} = 54^{\text{lit}}, 52.$$

cipii precedenti. Sia un vaso perfettamente chiuso, e supposto inestensibile; sia H la forza elastica, o l'elasticità della mescolanza, indicata da un barometro, e sia t la temperatura: dopo un'esperienza si osserva, che l'altezza del barometro è H' , e la temperatura è t' . Si cerca dunque se il solo cambiamento di temperatura abbia potuto prodarre il cambiamento osservato d'elasticità.

Qui non è necessario tener conto della variazione di volume, poichè il volume è rimasto lo stesso: bisogna soltanto osservare, che se la temperatura d'un gas, contenuto in un vaso inestensibile, cambia, la sua elasticità cambia esattamente in ragion del volume a cui si sarebbe ridotto per effetto della nuova temperatura. Così se per l'elevazione della temperatura questo volume dovesse divenir doppio, doppia pure diverrebbe la forza d'elasticità, restando lo stesso il volume. Quando la temperatura della mescolanza era t , e la forza elastica del vapore f , l'elasticità del gas asciutto era $H-f$: ora per il cambiamento di temperatura, l'elasticità è divenuta

$(H-f) \frac{1+at'}{1+at}$. Aggiungendo a questa quantità la forza elastica f'

del vapore alla nuova temperatura, la somma $(H-f) \frac{1+at'}{1+at} + f'$

dovrà essere eguale ad H' . In tal caso non v' è stato nè assorbimento nè sprigionamento di gas; nel caso contrario, v' è stato assorbimento o sprigionamento, secondo che H' è minore o maggiore della somma suddetta.

Applicazione numerica

Un globo (fig. 111) contiene aria umida di cui si conosce la temperatura e l'elasticità per mezzo d'un termometro e d'un manometro. Cambiando la temperatura per una circostanza qualunque, si osserva la nuova elasticità della mescolanza, e si domanda se v' è stato assorbimento o sprigionamento.

I dati sono:

Temperatura iniziale	15°
Altezza del manometro	0 ^m ,772
Forza elastica del vapore a 15°	0 ^m ,0128

Dopo il cambiamento di temperatura

Temperatura

21°

Elasticità della mescolanza

0^m,778

Forza elastica del vapore

0^m,0183

La forza elastica dell'aria asciutta al principio dell'esper-

ienza essendo $H-f$, al fine sarà $(H-f) \times \frac{1+at'}{1+at}$, poichè è chia-

ro che essa sarà cresciuta nel rapporto delle dilatazioni. Ora ese-

guendo il calcolo, si trova $(H-f) \times \frac{1+at'}{1+at} = 0,7592 \times \frac{1,07875}{1,05625} =$

$0,7592 \times 1,0213 = 0,77537$. Aggiungendo a questa la forza elastica del vapore $f' = 0,0183$, si ha $0,79367$. Che se nel decorso dell'esperienza non vi fosse stato nè assorbimento, nè sprigionamento di gas, si sarebbe dovuta trovare la pressione $H' = 0,778$ indicata dal barometro; ma abbiamo trovata una pressione maggiore, dunque vi è stato assorbimento (a). Nello stesso modo si scioglierebbe qualunque altro problema analogo.

117. Quanto abbiamo detto fin qui si verifica tanto per le alte quanto per le ordinarie temperature, come anco Dalton l'ha confermato con le esperienze. Si suppone però sempre, che i vapori non abbiano verun'azione chimica sui gas coi quali vengono mescolati; così tutto sarebbe applicabile alle mescolanze di vapor d'acqua, di vapor d'alcool, d'etere con l'aria atmosferica, con l'idrogeno, con l'azoto, con l'ossigeno; ma non sarebbe egualmente applicabile ad una mescolanza di gas ammoniacale e di vapor d'acqua, di gas idroclorico e di vapor d'alcool, perchè queste sostanze hanno fra loro un'azione chimica molto energica.

(a) Qui abbiamo supposto il vaso inestensibile; ma in caso diverso si osserverebbe, che chiamando K il coefficiente di dilatazione del vetro, il globo si è dilatato nel rapporto $1+Kt : 1+Kt'$; dunque la forza elastica dell'aria asciutta è scemata come $1+Kt' : 1+Kt$, e

e quindi invece di essere come qui sopra $(H-f) \times \frac{1+at'}{1+at}$, sarà

$$(H-f) \left(\frac{1+at'}{1+at} \right) \left(\frac{1+Kt}{1+Kt'} \right).$$

Dell' Evaporazione

118. Un liquido esposto all'aria si dissipa più o meno facilmente, e questo è ciò che si chiama *evaporazione*. Su questo fenomeno influisce l'aria atmosferica: la sua presenza ritarda l'evaporazione, ma non modifica però la quantità assoluta di vapore che può contenere uno spazio, poichè o sia pieno d'aria o voto di qualunque materia un tale spazio, *esso ad una medesima temperatura ammette la stessa quantità di vapore*. Ciò risulta ancora dalle esperienze di Dalton citate di sopra (n.º 114) dalle quali rilevammo, che la forza elastica d'un vapore è la stessa nel voto e in un gas qualunque; e già Saussure aveva dimostrato nella sua Igrometria, che la massima quantità di vapore che si eleva in uno spazio, non dipende che dalla temperatura.

L'ostacolo che oppone l'aria alla diffusione del vapore, comparisce evidente in un'esperienza del Fontana. Questo celebre fisico empiva d'acqua due storte, ad ognuna delle quali adattava un globo; in uno degli apparecchi faceva il voto, e lasciava l'aria nell'altro; quindi scaldando adagio adagio ambedue le storte, dopo poco tempo vedeva che il vapore si era condensato nel globo voto, mentre debolissima era stata l'evaporazione nel vaso pieno d'aria. Dunque non v'è differenza fra uno spazio voto ed uno pieno d'aria, se non che l'evaporazione è lenta nel secondo e rapida nel primo.

119. Consideriamo ora la resistenza che l'aria oppone all'evaporazione; e primieramente supponiamo questo fluido in riposo, e posto sopra una superficie d'una massa d'acqua alla temperatura ordinaria. Prima di tutto il vapor d'acqua si introdurrà fra le particelle del primo strato d'aria a contatto col liquido; ma le particelle del secondo strato devono opporsi alla sua ascensione (*fig. 112*), dimanierchè se la calma è perfetta, l'evaporazione sarà lentissima. Ma questo caso non si presenta mai in natura, poichè l'aria è sempre più o meno agitata: essa poi favorisce talmente l'evaporazione, che questa sarebbe eguale in un'aria agitatissima e nel voto. In prova di che, si prenda panno-lino baguato, si faccia girare con forza all'estremità d'una fionda, e si vedrà che dopo pochi giri esso è perfettamente asciutto.

120. Una circostanza che rende minore e più lenta l'evaporazione in un'aria libera, è l'umido che sempre si trova nell'aria, la quale anco nello stato più asciutto, ne ritiene circa due decimi di quello che può contenere; quindi è chiaro, che a parità di

circostanze, l'evaporazione sarà tanto minore, quanto l'aria sarà più vicina allo stato di massima umidità.

121. Si presenta ora una questione molto importante, cioè con qual rapidità accada l'evaporazione in un'aria tranquilla, a diverse temperature. Dalton ha trattata una tal questione col suo solito avvedimento; e la tavola seguente presenta i risultamenti che egli ha ottenuti dalla temperatura dell'ebullizione dell'acqua fino a 58°,8.

Temperatura	Forza elastica del vapore	Evaporazione per ogni minuto
100°	0,76	15,92
82,2	0,38	0,96
73,3	0,26	0,64
66,6	0,19	0,55
66,2	0,16	0,38
58,8	0,13	0,32

Osservando questa tavola si vede, che la quantità d'acqua evaporata ad ogni temperatura, è sensibilmente proporzionale alla forza elastica del vapore. Questo risultamento dovrebbe esser modificato dalla quantità di vapore contenuto nell'aria, e ciò sarebbe infatti, se la tensione del vapore alle riferite temperature, non fosse incomparabilmente maggiore di quella del vapore contenuto nell'aria. Per esempio, alla temperatura di 11°, la tensione massima del vapore non è che di 10^{mm}, cioè $\frac{1}{76}$ di quella che corrisponde all'ebullizione. Una quantità sì piccola, non può avere che una debolissima influenza sul fenomeno.

122. Nel fare le citate esperienze, Dalton ha scelte temperature molto basse, per rilevare l'influenza dell'umido dell'atmosfera, ed ha sempre trovato, che nelle stesse circostanze di riposo e d'agitazione d'aria, la quantità di liquido evaporato era costantemente proporzionata a $f - f'$, cioè alla quantità d'acqua che manca all'aria per la sua compiuta saturazione. Fra poco diremo in qual modo egli determini lo stato igrometrico dell'aria.

La formola $A \frac{(f - f')}{F}$, dedotta dalla proporzione $x : A ::$

$f - f' : F$, rappresenta tutti i risultamenti. A è la quantità d'acqua
Tom. I. 8

evaporata alla temperatura dell'ebullizione; F è la tensione del vapore a questa temperatura; f la tensione totale che il vapore può acquistare alla temperatura dell'esperienza; f' la tensione del vapore che esiste nell'aria. Così, se per esempio alla temperatura dell'ebullizione, sotto la pressione $0^m,76$, abbiamo trovato che l'evaporazione era di $12^s,25$ per minuto, la quantità d'acqua

evaporata sotto la tensione $f - f'$ sarà $x = \frac{12,25 (f - f')}{0,76} (B)$; il

qual valore è poco diverso da quello che risulta dall'esperienza.

Anco sopra l'evaporazione di altri liquidi Dalton stesso ha portate le sue indagini, ed ha ottenuti tali resultamenti, quali dovevano aspettarsi per le condizioni d'indipendenza riconosciute nella mescolanza delle sostanze aeriformi. Così ha trovato, che l'evaporazione dell'alcool è proporzionale alla tensione che gli è propria alla temperatura alla quale si sperimenta. Ha veduto inoltre, che la quantità assoluta di liquido evaporato è proporzionale alla forza elastica: dunque la formula (B) è applicabile anco a questo caso.

123. Per compire la storia dell'evaporazione, bisogna richiamare le principali idee dei fisici sulla formazione del vapore, e sul modo con cui esso esiste nell'aria.

Nel 1751 Musschenbroech, fisico olandese, aveva rassomigliato la diffusion del vapore nell'aria alla dissoluzione dei sali nell'acqua; e Leroi di Montpellier sviluppò questa teoria, la quale fu accolta tanto più favorevolmente, quanto che per essa questo fenomeno, non spiegato fin allora, si riduceva nella classe di quelli dipendenti dall'attrazione. Sembrò a Leroi, che l'aria sciogliesse l'acqua nel modo stesso e nelle stesse circostanze in cui l'acqua scioglie i sali. Quindi come l'acqua nel riscaldarsi divien capace di sciogliere una nuova quantità di sale, e raffreddandosi abbandona una porzione di quello che aveva disciolto, così l'aria, a misura che si riscalda o si raffredda, richiede maggiore o minor quantità d'acqua per giungere alla saturazione. Che la quantità d'acqua che l'aria può contenere, cresca a misura che questa vien riscaldata, è un fatto vero; ma non esatte sono le conseguenze che Leroi ne deduce. L'affinità dell'aria per l'acqua non ha alcuna parte nell'evaporazione; poichè da Saussure sappiamo, che la quantità d'acqua che un dato spazio può contenere, è la stessa se questo spazio è vuoto o pieno d'aria. La vera causa produttrice del vapore è il calore, e questo vapore si sparge nell'aria indipendentemente da qualunque chimica azione.

DELL' IGROMETRIA

124. L' *Igrometria* è quella parte di fisica in cui si cercano i diversi gradi d'umido dell'aria; e gli strumenti a ciò destinati si chiamano *igrometri* o *igroscopii*.

Si sa che l'aria, anco quando apparisce più asciutta, contiene pur sempre molto vapore. Ora, per riconoscerlo, si pone nell'aria un vaso pieno d'una mescolanza frigorifica; e dopo pochi minuti si vede il vapore depositarsi in stato di ghiaccio sulle pareti del vaso. Lo stesso si osserva esponendo all'aria una boccia d'acqua fredda, nella quale il vapore ben presto precipita in stato liquido.

125. Convien dunque determinare quanto vapore contien l'aria nelle varie circostanze, al che basteranno le tavole delle forze elastiche del vapore, nel caso di saturazione completa. Se per esempio, la temperatura sia 11° , la forza elastica del vapore, secondo la tavola (n.° 92), sarà $0^m,010$; un litro d'aria, alla pressione $0^m,010$, peserebbe $\frac{1}{80}$ o $\frac{1}{78}$ di $1^s,299$ (peso d'un litro d'aria sotto la pressione $0^m,760$), ossia $0^s,017$: ma la densità del vapore d'acqua, sotto la medesima pressione, non è che $\frac{1}{8}$, di quella dell'aria, dunque bisognerebbe ridurre questo peso nel rapporto di $\frac{1}{8}$, il che darebbe $0^s,0106$. Questo piccolo calcolo mette il lettore in grado di determinare la quantità assoluta di vapore contenuto in un dato volume d'aria, supposto allo stato di saturazione. Se non che, per la correzione del calcolo, bisogna tener conto dell'effetto della dilatazione sull'aria, cioè dividere il peso $1^s,299$ d'un litro a zero, per il numero $1 + 0^m,00375 \times t$; $0,00375$ essendo il coefficiente di dilatazione dei gas, e t la temperatura dell'aria.

126. Ma anco a qualunque grado di saturazione si trovi l'aria, si può sempre con esperienze dirette determinare la quantità assoluta di vapore che essa contiene. A tal effetto si pone l'aria a contatto con un noto peso di cloruro di calcio, di calce, o di qualunque altra materia avida d'acqua, il qual processo però richiede molta precisione. Ma si osservi che nell'igrometria non si cerca la quantità assoluta d'acqua, ma solamente il grado d'umido dell'aria; e vedremo in seguito, che anco senza esperienze, e solamente con la cognizione del grado dell'igrometro e del termometro, si ottiene lo stesso risultamento definitivo, quale si otterrebbe con lunghe e penose esperienze.

Tutte le sostanze capaci d'imbevversi d'acqua esposta all'aria libera, variano in dimensioni e in peso: così le corde di budello degli strumenti di musica, cambiano di tensione e di tuono: la carta, la carta pecora perdono la loro elasticità; le barbe d'al-

cune piante graminacee, i capelli purgati con la lisciva, cambiano notabilmente; il vetro stesso cresce sensibilmente di peso, come l'hanno provato il Fontana e Gay-Lussac. Tutti questi corpi adunque posson servire per costruire gl' igrometri.

127. Il più importante però di tutti gl' igrometri è quello di Saussure. La parte principale di questo strumento è un capello; ma il capello nello stato naturale è coperto d'una materia grassa che lo difende, fino a un certo punto, dall'azione dell'umido; e le variazioni che esso prova in questo stato non essendo regolari, bisogna prepararlo. Si forma dunque un fascetto di capelli, grosso quanto una penna da scrivere, scelti fra i più delicati e trasparenti; si fa bollire per venti o trenta minuti in un'acqua che contenga un centesimo di carbonato di soda, e quindi si lavano i capelli e si lasciano ben prosciugare. Un capello così preparato si dilata $\frac{1}{100}$ della sua lunghezza dalla massima secchezza al massimo umido; mentre un capello non purgato dalla sua materia grassa, si dilata soltanto $\frac{1}{1000}$, e in un modo anco molto irregolare.

Si fissa dunque il capello con la sua estremità superiore per mezzo d'una pinzetta *d* (*fig. 113*), e per l'altra estremità è avvolto ad un asse orizzontale; al qual asse è attaccato un ago, che gira intorno a un circolo graduato. Il capello è tenuto verticale da un contrappeso di 15 centigrammi, ossia 3 grani, sospeso ad un filo di seta avvolto sul medesimo cilindro. Quando per l'assorbimento di una piccola quantità d'acqua dell'aria il capello si allunga, il contrappeso fa girare il cilindro, e quindi fa girar l'ago. Con questa disposizione, una variazione anco piccola nella lunghezza del capello, divien sensibile per il moto molto più considerevole che produce nell'ago.

128. Per render paragonabili tutti gl' igrometri costruiti su questi principii, Saussure (*Essai sur l'hygrom.* 13, 15, 23) prende due termini, cioè quello del massimo umido, e quello del massimo asciutto. Per determinare il primo, pone l'igrometro sotto un recipiente di vetro immerso con la bocca nell'acqua, e con le pareti baguate, sicchè in tal modo l'aria interna è necessariamente saturata d'umido; il capello si allunga, e dopo un'ora incirca arriva al massimo umido, e allora egli fissa il punto in cui si ferma l'ago. Mette quindi lo strumento sotto un'altra campana della minor capacità possibile. Per prosciugarne l'aria, prende un pezzo di lastra di ferro lunga quanto la campana, e larga la metà del suo diametro; la copre di carbonato di potassa che è un ottimo disseccante, e la riscalda fino a farla divenir rossa; quindi la lascia raffreddare tanto che non produca la rottura della campana, e poi

ve la pone insieme con l'igrometro, che vi lascia finchè l'ago resti stazionario. Appena l'igrometro è chiuso insieme col carbonato di potassa, l'ago si muove verso l'asciutto con gran rapidità, in modo da percorrere 25° nei primi 10 minuti; ma a poco a poco rallenta il suo corso, e in fine fa appena un grado in 24 ore. Se questo sale è convenientemente preparato, l'igrometro si fissa in capo a tre giorni; questo punto è segnato con zero, e indica il massimo asciutto; e l'intervallo fra i due termini fissi è diviso in 100 parti, che si chiamano gradi.

L'igrometro differisce dal termometro, in quanto che i due punti fissi del primo, corrispondono a due stati assoluti, mentre i due punti fissi del secondo, consistono in due limiti presi a mezzo ad una serie di punti, la quale si estende indefinitamente sopra e sotto questi limiti.

129. Poniamo ora l'igrometro in una massa d'aria. L'azione del capello sul vapore dell'acqua, è perfettamente simile a quella delle sostanze disseccanti, poichè assorbe i vapori, finchè la sua affinità indebolita, non sia più capace di precipitarli. Supponiamo primieramente lo spazio perfettamente saturato di vapore; allora si vede che l'igrometro indica il massimo umido; qualunque sia la temperatura dell'aria; il capello adunque, poichè si allunga egualmente in circostanze diverse, assorbe la stessa quantità d'acqua. Tuttavia la quantità ponderabile di vapore contenuto nell'aria, è tanto maggiore quanto più alta è la temperatura, ma una forza piccolissima basta per precipitare il vapore di uno spazio saturato. Tale appunto è la forza del capello; e poichè la quantità che esso richiede per la sua saturazione è piccolissima, relativamente a quella che è nell'aria, deve esso prenderne la stessa quantità, qualunque sia la temperatura: ed ecco perchè esso indica costantemente lo stesso punto in un'aria saturata. Qui però non si valutano i cambiamenti che il calore produce nelle dimensioni del capello.

Se lo spazio non sia perfettamente saturato, il vapore non cederà più ad una forza piccolissima per precipitarsi, perchè può resistere a un certo grado di pressione e ad un certo grado di raffreddamento. Dunque l'effetto del capello cesserà quando l'azione che esso esercita sui vapori, sarà eguale alla forza di pressione necessaria per precipitarli.

130. Da quanto abbiamo detto sull'igrometro, si vede che questo strumento non indica se non il maggiore o minor umido dell'aria, e non la quantità assoluta del vapore. Sarebbe dunque importantissimo conoscere i rapporti fra i diversi gradi dell'igrometro, e le quantità d'acqua corrispondenti. Per ottenere questo, Saussure chiudeva un igrometro in un globo contenente un volume noto d'aria asciutta, vi metteva un panno-lino inzup-

pato, e osservava quanto esso scemava di peso, nel far percorrere all'ago un certo numero di gradi; oppure empiva il globo di aria prima saturata, e la riduceva a diversi gradi di secchezza, osservando nel tempo stesso l'andamento dell'igrometro. Non ripeteremo qui le tavole da lui costruite, perchè non sono esattissime, e diremo soltanto aver lui osservato, che l'effetto dell'umido sul capello è tanto minore, quanto l'aria è più vicina al grado di saturazione.

Un metodo più semplice e più rigoroso ha seguito Gay-Lussac nell'intraprendere questa medesima operazione, il quale consiste nel determinare la corrispondenza dell'igrometro con la tensione del vapore. Determinato questo rapporto, basta ricordarsi che $\frac{7}{8}$ è la densità del vapor d'acqua, per poter calcolare il peso assoluto dell'acqua contenuta nell'aria. Si pone l'igrometro in una gran campana col piede, piena in parte d'acqua pura o d'acido solforico opportunamente concentrato, in modo da indicare i diversi gradi di saturazione dell'aria, dall'umido assoluto fino al massimo asciutto. In ogni esperienza si determina la tensione del liquido nel voto alla stessa temperatura. L'igrometro è fissato ad un disco di vetro che chiude ermeticamente la campana: in poco tempo esso si mette in equilibrio con i vapori contenuti nell'aria, e si ferma ad un certo grado della sua divisione.

Le tavole seguenti risultano da esperienze fatte alla temperatura di 10° ; ma l'uso di esse potrebbe estendersi a qualunque temperatura. Frattanto è bene avvertire, che il risultamento di questa proporzionalità indicherebbe una quantità di vapore troppo scarsa oltre i 10° , e troppo abbondante ad una temperatura inferiore; giacchè abbiamo veduto altrove (n.º 97) che le forze elastiche dei vapori crescono più rapidamente delle temperature.

TENSIONI del vapore	GRADI dell' igrometro a capello	TENSIONI del vapore	GRADI dell' igrometro a capello	TENSIONI del vapore	GRADI dell' igrometro a capello
0	0,00	34	57,42	68	84,06
1	2,19	35	58,58	69	84,64
2	4,37	36	59,61	70	85,22
3	6,56	37	60,64	71	85,77
4	8,75	38	61,66	72	86,31
5	10,94	39	62,69	73	86,86
6	12,93	40	63,72	74	87,41
7	14,92	41	64,63	75	87,95
8	16,92	42	65,53	76	88,47
9	18,91	43	66,43	77	88,99
10	20,91	44	67,34	78	89,51
11	22,81	45	68,24	79	90,03
12	24,71	46	69,03	80	90,55
13	26,61	47	69,83	81	91,05
14	28,51	48	70,62	82	91,55
15	30,41	49	71,42	83	92,05
16	32,08	50	72,21	84	92,54
17	33,76	51	72,94	85	93,04
18	35,43	52	73,68	86	93,52
19	37,11	53	74,41	87	94,00
20	38,78	54	75,14	88	94,48
21	40,27	55	75,87	89	94,95
22	41,76	56	76,54	90	95,43
23	43,26	57	77,21	91	95,90
24	44,75	58	77,88	92	96,36
25	46,24	59	78,55	93	96,82
26	47,55	60	79,22	94	97,29
27	48,86	61	79,84	95	97,75
28	50,18	62	80,46	96	98,20
29	51,49	63	81,08	97	98,69
30	52,81	64	81,70	98	99,10
31	53,96	65	82,32	99	99,55
32	55,11	66	82,90	100	100,00
33	56,27	67	83,48		

GRADI dell' igrometro a capello	TENSIONI del vapore	GRADI dell' igrometro a capello	TENSIONI del vapore	GRADI dell' igrometro a capello	TENSIONI del vapore
0	0,00	34	17,10	68	44,89
1	0,45	35	17,68	69	46,04
2	0,90	36	18,30	70	47,19
3	1,35	37	18,92	71	48,51
4	1,80	38	19,54	72	49,82
5	2,25	39	20,16	73	51,14
6	2,71	40	20,78	74	52,46
7	3,18	41	21,45	75	53,76
8	3,64	42	22,12	76	55,25
9	4,10	43	22,79	77	56,74
10	4,57	44	23,46	78	58,24
11	5,05	45	24,13	79	59,73
12	5,52	46	24,86	80	61,22
13	6,00	47	25,59	81	62,89
14	6,48	48	26,32	82	64,57
15	6,96	49	27,06	83	66,24
16	7,46	50	27,79	84	67,92
17	7,95	51	28,58	85	69,59
18	8,45	52	29,38	86	71,49
19	8,95	53	30,17	87	73,39
20	9,45	54	30,97	88	75,29
21	9,97	55	31,76	89	77,19
22	10,49	56	32,66	90	79,09
23	11,01	57	33,57	91	81,09
24	11,53	58	34,47	92	83,08
25	12,05	59	35,37	93	85,08
26	12,59	60	36,28	94	87,07
27	13,14	61	37,31	95	89,06
28	13,69	62	38,34	96	91,25
29	14,23	63	39,36	97	93,44
30	14,78	64	40,39	98	95,63
31	15,36	65	41,42	99	97,81
32	15,94	66	42,58	100	100,00
33	16,52	67	43,73		

La prima tavola dà il grado dell'igrometro corrispondente alla tensione del vapore, e la seconda dà questo per quello.

Volendo far uso di queste tavole per un'applicazione numerica, basterebbe prendere $9^{\text{mm}},48$ per la tensione massima del vapor d'acqua a 10° . Il numero $9^{\text{mm}},48$ è rappresentato da 100 nella colonna delle tensioni.

131. Queste tavole dimostrano che non esiste alcuna proporzione fra l'allungamento del capello e il grado d'umidità dell'aria, e danno i seguenti risultamenti:

Grado dell'igrometro	Acqua dell'aria
0	0
22	$\frac{1}{10}$
29	$\frac{2}{10}$
53	$\frac{3}{10}$
64	$\frac{4}{10}$
72	$\frac{5}{10}$
79	$\frac{6}{10}$
85	$\frac{7}{10}$
90	$\frac{8}{10}$
95	$\frac{9}{10}$
100	$\frac{10}{10}$

132. Avendo avuto occasione di cercare il peso del vapore contenuto nell'aria ad una stessa temperatura e a diversi gradi dell'igrometro, riferirò qui il calcolo e i risultamenti. Questi risultamenti esprimono le quantità di vapore acquoso contenute in un metro cubico d'aria alla temperatura di 10° , corrispondente ai diversi gradi dell'igrometro a capello, contati di 10 in 10 da zero fino a 100: ed è noto che la forza elastica del vapore acquoso a 10° è di $0^m,00948$.

Il peso d'un litro d'aria a 0° , e a $0^m,76$ essendo $1^g,299$, il peso dello stesso volume d'aria a 10° e alla pressione $0^m,00948$

sarà $\frac{1,299 \times 0,00948}{1,0375 \times 0,76}$: e poichè la densità del vapore è $i \frac{1}{12}$ di quella dell'aria, il peso d'un litro di vapore acquoso a 10° sarà $\frac{1,299 \times 9,48}{1,0375 \times 76 \times 16}$. Ora un metro cubico contiene mille litri, poi-

chè il litro equivale a un decimetro cubico: dunque il peso d'un metro cubico di vapore alla temperatura di 10° è eguale a 1000 volte questo ultimo peso, cioè a $\frac{1,299 \times 9,48}{1,0375 \times 76 \times 16} = 9^s,761$.

Moltiplicando questo numero costante per il rapporto della tensione del vapore ad un certo grado dell'igrometro, alla tensione totale rappresentata da 100 nella tavola, e di cui il valore assoluto è $0^m,00948$, avremo le quantità di vapore esistenti in un metro cubico d'aria ai diversi gradi dell'igrometro, e che sono indicate nella tavola seguente.

Gradi dell'igrometro	Vapore contenuto in un metro cubico d'aria
0°	0 grammi
10	0,446
20	0,922
30	1,443
40	2,028
50	2,713
60	3,541
70	4,606
80	5,976
90	7,720
100	9,761

133. In tutto ciò che precede, non abbiám fatto osservazione all'effetto pirometrico. Per esempio, se l'aria in cui è posto l'igrometro venga elevata in temperatura, senza ricever nuovi vapori, il capello si raccorcisce per effetto dell'evaporazione d'una parte dell'acqua che contiene; e dall'altro canto si riscalda e si allunga, sicchè si rileva soltanto la differenza dei due effetti. Saussure, (*Ess. sur l'hygrom.* n.° 81) ha costruito una tavola che presenta un'indicazione approssimativa degli effetti del calore. Ha quindi formata questa tavola, osservando l'influenza d'un grado di temperatura sul suo igrometro, portato successivamente ai diversi punti della scala.

Tavola delle diverse variazioni che un grado di calore produce nell'igrometro a capello, secondo il grado di umido che esso indica.

Gradi dell'igrometro	variazioni per un grado di calore	Gradi dell'igrometro	variazioni per un grado di calore	Gradi dell'igrometro	variazioni per un grado di calore
25	0,450	50	1,283	75	2,145
26	0,483	51	1,316	76	2,196
27	0,517	52	1,350	77	2,261
28	0,550	53	1,383	78	2,311
29	0,583	54	1,416	79	2,374
30	0,616	55	1,450	80	2,441
31	0,650	56	1,483	81	2,494
32	0,683	57	1,516	82	2,545
33	0,716	58	1,550	83	2,594
34	0,750	59	1,583	84	2,642
35	0,783	60	1,616	85	2,689
36	0,816	61	1,650	86	2,734
37	0,850	62	1,683	87	2,777
38	0,883	63	1,716	88	2,819
39	0,916	64	1,750	89	2,860
40	0,950	65	1,783	90	2,899
41	0,983	66	1,816	91	2,937
42	1,016	67	1,850	92	2,973
43	1,050	68	1,883	93	3,008
44	1,083	69	1,916	94	3,042
45	1,116	70	1,950	95	3,074
46	1,150	71	1,983	96	2,427
47	1,183	72	2,016	97	1,780
48	1,216	73	2,054	98	1,552
49	1,250	74	2,098	99	1,325
				100	1,000

134. Osservando questa tavola si vede, che le variazioni dell'igrometro seguono un corso sensibilmente regolare dal 25^{mo} grado della scala fino al 72^{mo}, e crescono e scemano in una progressione aritmetica, il rapporto della quale è $\frac{1}{3}$, in circa.

Facciamo l'applicazione di questa tavola ad un esempio. In una pianura l'igrometro segna 50° alla temperatura di 5° di Réaumur: portato sopra una montagna vicina, ove la temperatura è 8°, indichi 56°: si domanda qual dei due luoghi è più umido. Al 50^{mo} grado dell'igrometro, l'abbassamento d'un grado del termometro fa variare l'igrometro di 1,3: si tratta dunque di prendere la somma della progressione, di cui il primo termine è 1,3, la ragione è $\frac{1}{3}$, e il numero dei termini è 7; e si trova 9°,8. L'igrometro dunque sulla montagna dovrebbe indicare almeno 59°,8, ma non indica che 56°, dunque l'aria sulla montagna è più asciutta.

135. Diciamo qualche cosa degli altri igrometri. Quello degli Accademici del Cimento è un vaso di forma conica pieno di ghiaccio o di neve, con la punta sospesa in basso: i vapori dell'aria si condensano sulla sua superficie, e cadono in forma di gocce; e dalla frequenza delle gocce si giudica del grado d'umidità dell'aria.

136. Leroi adopra un mezzo più semplice, che in questi ultimi tempi ha meritato l'attenzione dei Fisici. Esso consiste in un vaso di vetro pieno in parte d'acqua alla temperatura dell'aria circostante; quindi si aggiunge successivamente nuova acqua a zero, e con ciò si vede il vapore precipitarsi sulle pareti esterne del vaso, e allora si nota esattamente la temperatura alla quale comincia la precipitazione.

Saussure ripeté questo processo, e non lo credette opportuno per ottenere resultamenti molto rigorosi. Tuttavia Dalton che lo ha ripetutamente sperimentato, assicura che il vapore comincia a condensarsi sulla superficie del vaso, quando la temperatura dell'acqua è abbassata soltanto un mezzo grado sotto quella che il vapor dell'aria può sostenere. Sia esattamente nota la temperatura del vapore che si precipita, e sia per esempio 12° , si cercherà nella tavola delle forze elastiche, e si troverà $10^{\text{mm}},7$ a questa temperatura. Se la temperatura dell'aria prima dell'esperienza sia per es. 18° , prenderemo nella stessa tavola la forza elastica corrispondente $15^{\text{mm}},4$; e così potrà valutarsi la quantità di vapore che manca all'aria per la sua completa saturazione, e di cui la tensione è $4^{\text{mm}},7$ eguale a $15^{\text{mm}},4$ meno $10^{\text{mm}},7$.

137. Leslie ha proposto un igrometro, il quale non è altro se non che un termometro differenziale alquanto modificato. Una delle palline è fasciata d'un panno-lino leggero bagnato: l'evaporazione produce il freddo, e il liquido sale per un certo numero di gradi, il che accade in un tempo che non oltrepassa mai i due minuti. La graduazione di questo igrometro si fa col determinare il freddo prodotto in un'aria perfettamente spogliata di vapore acquoso. E siccome il freddo prodotto è proporzionato all'evaporazione, così se in un'osservazione il freddo è la metà del freddo massimo, manca all'aria la metà del vapore che le è necessario per la sua completa saturazione, e così di seguito. Questo strumento però non è tanto comodo quanto sembra a prima vista. Si sa infatti che il freddo varia al variar della temperatura e della pressione, e però bisogna aver tavole del freddo prodotto a diverse temperature e a pressioni diverse: per esempio; se dobbiamo servirci di questo igrometro sopra una montagna, bisognerà determinarvi prima il freddo massimo in un'aria asciutta alla temperatura e alla pres-

sione di questa montagna. Comunque sia, questo igrometro è semplice e di facil costruzione, ed è comodo inoltre, perchè per esso si conosce immediatamente la quantità di vapore che esiste nell'aria, e perchè è meno alterabile degli igrometri costruiti con sostanze organiche (*On heat and moisture*).

138. Anticamente era stato proposto un altro igrometro, che consisteva in una palla d'avorio piena di mercurio, adattata ad un tubo di vetro capillare (*fig. 114*), ed era graduato come l'igrometro di Deluc. Daniel Wilson ha sostituito alla palla d'avorio di questo strumento una vescica di topo opportunamente preparata, e riguarda questo strumento come sensibilissimo.

139. Alquanto posteriore all'igrometro di Saussure è quello di Deluc, che in vece di capello ha per pezzo principale una stecca di balena sottilissima, tesa per mezzo d'una molla. Per trovare il massimo asciutto, si pone lo strumento sotto una campana piena d'aria ben prosciugata; e per avere il massimo umido, si immerge interamente la stecca di balena nell'acqua. E siccome fra l'inzuppamento e il massimo umido v è la differenza di più di dieci gradi, e poichè dall'altra parte questo strumento non deve servire che nell'aria umida, così è chiaro che sarà preferibile la graduazione come quella di Saussure.

140. L'igrometro di Saussure è stato ridotto da Babinet più semplice in quanto alla costruzione, e più esatto nelle indicazioni. Nell'igrometro modificato, il peso è liberamente sospeso al capello, di cui si misura l'allungamento direttamente, traguadando con un microscopio fisso un segno inciso su questo peso. Il capello è attaccato per la sua estremità superiore ad una vite micrometrica, per mezzo della quale si alza e si abbassa, finchè il segno del peso coincida col filo del microscopio; e il moto della vite micrometrica indica di quanto il capello si è allungato.

141. Mentre Dulong si occupava nelle osservazioni comparative degli igrometri di Saussure e di Deluc, Gay-Lussac faceva lo stesso studio; e sono perfettamente concordi i resultamenti ottenuti dall'uno e dall'altro, come si può rilevare dalla seguente tavola, estratta dalle osservazioni originali di Dulong, che fatalmente si sono smarrite. La densità del vapore a $13^{\circ},9$, per la saturazione completa, in questa tavola è rappresentata con 100.

Densità del vapore a 13°,9	Igrometro di Deluc	Igrometro di Saussure
0,0997	12,2	28
0,1980	18,0	44
0,2976	22,5	55
0,4876	31,8	75
0,5912	37,5	84
0,6844	45,5	91
0,7797	54,0	92
0,8774	58,0	97,5
0,9762	70,0	102

Se si paragonano le densità del vapore ai gradi dell'igrometro 55 e 92, nella Tavola di Dulong si trova il rapporto 0,382; e se ai medesimi gradi dell'igrometro si paragonano le tensioni nelle tavole costruite secondo le esperienze di Gay-Lussac, si trova lo stesso rapporto.

142. Dalla tavola precedente risulta, che l'igrometro di Deluc è più sensibile di quello di Saussure verso l'umido estremo, il che è vantaggioso, perchè in natura l'aria non è mai molto prossima allo stato di massimo asciutto: quindi Saussure non ha mai veduto l'igrometro sotto 40°, ed ha osservato che in generale esso resta a 60°. Sembra che presso alla superficie della terra il 30^m grado sia il punto più basso a cui siasi fermato questo strumento. L'aria dunque in generale ritiene i quattro decimi dell'acqua che può contenere.

Capacità dei corpi per il calore

143. Nello stato presente delle nostre cognizioni, non possiamo conoscere le quantità assolute di calore contenute nei corpi, e neppure i rapporti di queste quantità. L'unica cosa che i Fisici abbian potuto conoscere su questo proposito, è il rapporto delle quantità di calore necessarie perchè i principali corpi, considerati sotto masse eguali, variino d'un numero determinato di gradi della scala termometrica. Queste quantità, che sono le capacità per il calore, o i *calori specifici*, sono diverse nei diversi corpi (a).

Per dare un'idea dell'influenza del calore specifico nelle esperienze, basterà citare un esempio. Se si mescola un chilo-

(a) Questo nome di *calore specifico* è stato introdotto nella Scienza dal Dottore Wilke, che faceva questo genere d'esperienze nel 1781.

grammo d'acqua a zero con un chilogrammo di ferro a 11° , la mescolanza indica solamente 1 grado; cioè il calore che il ferro perde, e per cui si abbassa di 10° , alza la temperatura dell'acqua di un sol grado.

Tre metodi vi sono per arrivare a conoscere il calore specifico.

144. Il *primo metodo*, è di Lavoisier e Laplace. Il loro calorimetro (fig. 115) è semplicissimo e molto ingegnoso. Esso consiste in tre cavità circolari e concentriche; quella del centro è destinata a contenere il corpo di cui si vuol conoscere il calore specifico; l'altra è piena di ghiaccio, del quale il corpo nel raffreddarsi fonde una porzione; l'ultima è parimente piena di ghiaccio, e difende dall'azione dell'aria esterna quella che circonda immediatamente il corpo, poichè l'aria che si introduce nel calorimetro, arriva nella seconda cavità alla temperatura zero, essendosi già livellata in temperatura col ghiaccio esterno. V'è poi annesso un vaso, nel quale si riceve l'acqua proveniente dal ghiaccio fuso dal corpo.

Questo processo è fondato sul principio, che un peso determinato di ghiaccio a zero, ha bisogno, per fondersi, della quantità di calore che esce da un egual peso d'acqua a 75° , raffreddandosi fino a zero. Se dunque si alzino a 75° diversi corpi e d'egual peso, e si pongano successivamente nella piccola gabbia C di fil di ferro, le quantità di ghiaccio fuso, paragonate con quella che resta fusa da una medesima massa d'acqua, presa alla stessa temperatura, rappresenteranno i calori specifici. Nel far uso di questo metodo bisogna osservare di lasciare almeno per dieci ore il corpo nel calorimetro, per esser certi che esso si raffreddi fino alla temperatura del ghiaccio.

Per i corpi liquidi, e per quelli che esercitano un'azione chimica sul ghiaccio, come gli acidi, i sali e gli alcali, bisogna chiuderli in vasi sperimentati prima, per sapere quanto ghiaccio fondono essi soli.

Se poi i corpi non son tutti dello stesso peso nè alla stessa temperatura di 75° , sarà facile ridurli all'unità di peso e alla temperatura di 75° (a).

(a) Sia g il peso del ghiaccio fuso da un corpo di peso p , e alla temperatura t ; $\frac{g}{t \times p}$ sarà il peso del ghiaccio fuso da questo medesimo corpo ridotto all'unità di peso e di temperatura.

*Tavola delle capacità determinate col calorimetro di ghiaccio ,
da Lavoisier e Laplace*

Acqua.	1,0000
Solfio.	0,2085
Ferro battuto.	0,1105
Stagno.	0,0475
Piombo.	0,0282
Mercurio.	0,0200
Ossido rosso di mercurio.	0,0501
Minio.	0,0623
Calce viva.	0,2169
Vetro senza piombo.	0,1929
Acido nitrico, d ^{ta} = 1,298.	0,6614
Acido solforico, d ^{ta} 1,87.	0,3346
Soluzione di nitro $\left\{ \begin{array}{l} \text{nitro 1} \\ \text{acqua 8} \end{array} \right\}$	0,8187
Olio d' oliva.	0,3096

Il calorimetro è uno strumento molto ingegnoso, e per esso si ottengono risultamenti rigorosi; tuttavia deve preferirsi o il metodo delle mescolanze o quello del raffreddamento, i quali due metodi richieggono minor quantità di ghiaccio, e minor tempo nell'esperienza.

Metodo delle Mescolanze

145. Questo metodo si attribuisce generalmente a Grawford, dotto Fisico inglese, autore d'un'opera sul calore. (*On animal heat*). Il celebre Black ne parlava nelle sue lezioni fino dal 1760, ed altri pure probabilmente ne avevano concepita l'idea. Esso consiste nel mescolare due corpi a diversa temperatura, il più freddo dei quali suol esser l'acqua. Se i corpi sono di massa eguale, è chiaro che i calori specifici sono in ragione inversa delle variazioni delle temperature; poichè se il ferro, nell'esempio citato di sopra (n.° 144), ha perduto 10° di temperatura, abbandonando una quantità di calore che d'un sol grado ha fatto cambiare la temperatura dell'acqua, necessariamente la quantità di calore che richiederebbe una massa d'acqua per variare d'un determinato numero di gradi, sarebbe dieci volte maggiore di quella di cui avrebbe bisogno una medesima massa di ferro, per cambiar temperatura d'uno stesso numero di gradi. Qui però si intende, che la tempera-

tura non è tanto alta da far cambiare sensibilmente la capacità dei corpi.

146. Ma siccome in generale per queste esperienze non si prendon corpi di peso eguale, indichiamo come possano trovarsene le capacità, di qualunque peso essi sieno.

Sia M la massa d'acqua fredda, C la sua capacità, t la sua temperatura; m la massa del corpo caldo, T la sua temperatura, C' la sua capacità, e T' la temperatura della mescolanza, e la temperatura dell'acqua sia alzata d'una quantità $T'-t$: la quantità di calore assorbito da questo liquido può esprimersi con $MC (T'-t)$, giacchè è chiaro, che il calore necessario perchè un corpo varii d'un certo numero di gradi, è proporzionale alla sua massa e alla sua capacità. Il calore che perde il corpo, può pure esprimersi con $mC' (T-T')$; ma il guadagno è eguale alla perdita, dunque avremo

$$MC (T'-t) = mC' (T-T'), \text{ e di qui } \frac{C'}{C} = \frac{M (T'-t)}{m (T-T')}; \text{ dove}$$

il secondo membro essendo composto di quantità tutte note per esperienza, si dedurrà facilmente il valore di $\frac{C'}{C}$: e finalmen-

te se $C=1$, come sempre si suol supporre, le capacità dei corpi saranno paragonate a quella dell'acqua presa per unità. Il vaso che contien l'acqua, esercita un'influenza proporzionata alla sua massa P e alla sua capacità C'' , sicchè nell'applicazione bisognerà sostituire $M+PC''$ ad M .

Esempio. 8521^{gr},25 di ferro alla temperatura di 55°42, mescolati con 25421^{gr},18 d'acqua a 15°17, hanno alzata la temperatura di questo liquido a 16°59. L'acqua è contenuta in una sottilissima cassetta di rame, che pesa 1377^{gr},3, i quali equivalgono ad una massa d'acqua eguale a 1377^{gr},3 \times 0,005, o a 130^{gr},8 d'acqua, essendo 0,005 la capacità del rame. Così la massa totale d'acqua scaldata è 25552^{gr},5. E sostituendo alle lettere M , m , T , t , T' i loro rispettivi valori, si trova la capacità del ferro 0,110.

147. Se con questo metodo delle mescolanze si vuol conoscere la capacità d'un liquido, o d'un corpo che abbia un'azione chimica sull'acqua, bisognerà chiudere questo corpo in un vaso, di cui tutto sia noto. Se per es. il peso di questo vaso è P , e la capacità della sua sostanza è C'' , allora la sua influenza sarà PC'' ; sicchè ciò che nella nostra formola abbiamo rappresentato con mC' , sarà realmente $PC'' + mC'$.

Bisogna però usar varie cautele perchè l'operazione riesca esatta. Primieramente la cassetta che contiene l'acqua fredda deve

esser più piccola che si può; inoltre le operazioni si faranno a temperature molto basse, affinchè l'evaporazione dell'acqua, prodotta dall'immersione d'un corpo caldissimo, non sia una causa d'errore; finalmente si osserverà il raffreddamento dell'apparecchio, per stabilire la correzione della perdita del calore, fatta nel decorso dell'esperienza. Adempiendo a queste condizioni, il metodo delle mescolanze può essere esatto e comodo in molte circostanze.

Metodo del Raffreddamento

148. Questo terzo metodo è fondato sull'osservazione dei tempi che i diversi corpi, presi d'egual volume, ed elevati ad egual temperatura, impiegano per raffreddarsi di un egual numero di gradi. Bisogna però fare in modo, che tutti i corpi abbiano la stessa superficie raggiante. Se i corpi son liquidi o in polvere, si chiuderanno successivamente in uno stesso vaso cilindrico sottilissimo, che ordinariamente suol farsi d'argento o di rame. Se si vuol fare il paragone fra i calori specifici di due corpi solidi, come ferro e stagno, si possono formare con queste sostanze altrettanti cilindri eguali in volume, e osservare i tempi del raffreddamento; e siccome due metalli ancor levigatissimi hanno diseguali poteri raggianti, bisognerà necessariamente procurare che tutti abbiano superficie egualmente levigata, il che si ottiene nel modo seguente, che non so essere stato adoprato da alcuno prima di me. Primieramente si osserva il raffreddamento dei due cilindrisospesi in aria per mezzo di fili di seta; si notano questi tempi; si coprono i cilindri con uno strato di vernice; di nuovo si fa l'osservazione, e così di seguito. Ora da ciascuno dei due corpi deve escire la stessa quantità di calore nel tempo stesso, poichè la superficie, l'eccesso di temperatura sopra quella del mezzo, il volume tutto è uguale da una parte e dall'altra; dunque le quantità totali di calore che i due corpi avranno perduto, saranno in rapporto dei tempi. Ma per un dato intervallo di temperatura la quantità di calore che perde un corpo, è proporzionale alla sua massa e al suo calore specifico: dunque se m , m' sieno le masse, c , c' i calori specifici, θ , θ' i tempi del raffreddamento, $T-t$ l'abbassamento di temperatura, avremo $mc(T-t)$, ed $m'c'(T-t)$ espressioni delle quantità di calore perdute; e quindi $mc : m'c' :: \theta : \theta'$.

Resultamenti del raffreddamento dopo l'applicazione degli strati

Levigati	{	Ferro.	. . . . .	9',56"
		Stagno.	. . . . .	4,37

1.° strato	{ Ferro.	5,44
	{ Stagno.. . . .	2,43
2.° strato	{ Ferro.	5,40
	{ Stagno.	2,37
3.° strato	{ Ferro.	5,40
	{ Stagno.	2,37

Per l'applicazione del secondo strato di vernice sui due metalli, il raggiamento è arrivato al massimo grado, e i tempi del raffreddamento sono 5'40", 2'37". E poichè i due corpi hanno lo stesso volume, potremo sostituire alle masse le loro densità, che sono 7,788 e 7,291, e quindi il rapporto delle capacità del ferro e dello stagno sarà $100 : 49,32$ (1).

149. Nel caso di corpi liquidi o polverizzati, questi si introducono in un vaso, del quale bisogna tener conto. Se p è il peso del vaso, c la sua capacità, le quantità di calore perduto nei tempi

(1) Dalla tavola precedente risulta che accrescendo gli strati, i raffreddamenti divengono più rapidi, ma non in proporzione. Si aggiunga anzi che aumentando strati, sempre minore diviene la differenza nella rapidità del raffreddamento. Per spiegar questo fenomeno si osservi che la vernice stesa sulla superficie dei cilindri li rende meno riflettenti, indebolendone la levigatezza e la lucidezza; e poichè viene ad accrescersi in proporzione il potere emissivo, una porzione di calore che il vaso riteneva prima nel suo interno, esce raggiando, lo che favorisce il progresso del raffreddamento. Ma vi è un'altra causa che contribuisce a questo raffreddamento: il cilindro infatti perde ancora una porzione del suo calore a motivo della sua comunicazione immediata coll'aria circostante, e la facilità con cui accade quest'ultimo effetto, dipende dalla facoltà conduttrice del calore di cui parleremo fra poco. Ora poichè la vernice, la quale in parte è della natura delle sostanze resinose, ha questa qualità in un grado molto minore del cilindro metallico, la sua presenza, mentre indebolisce la facoltà conduttrice di questo, ne scema ancora la disposizione a cedere una porzione del suo calore all'aria colla quale è a contatto, e ciò tanto maggiormente quanto è più denso l'intonaco. Dall'altra parte la causa che accelera il raffreddamento, cioè la diminuzione di levigatezza, resta quasi la stessa, nonostante che si applichino nuovi strati, mentre l'effetto della causa ritardatrice, cioè l'indebolimento della facoltà conduttrice del calore va sempre crescendo.

Quest'effetto dunque, dopo esser giunto a poco a poco ad eguagliare quello della causa opposta, infine divien superiore, ed allora una meno facile comunicazione compensando ampiamente i cilindri della perdita che fanno a motivo del loro raggiare, il raffreddamento, dopo aver sofferta un'accelerazione, che diveniva sempre meno sensibile a ciascuna esperienza successiva, prende un ordine inverso e va scemando.

θ, θ' saranno proporzionali a $pc' + mc$, e $pc' + m'c'$, sicchè avremo $pc' + mc : pc' + m'c' :: \theta : \theta'$.

Applichiamo questa formola alla determinazione della capacità dell'olio d'oliva relativamente alla capacità dell'acqua, presa per unità. I dati dell'esperienza sono: peso del vaso d'argento, 56^e,36; capacità di questo metallo, 0,055. Il vaso conteneva 147^e,04 d'acqua ad una certa temperatura, e si raffreddava di 30°,2 in 21': lo stesso vaso conteneva 144^e,04 d'olio d'oliva alla stessa temperatura, e perdeva 30°,2 in 12' 12". Sostituendo i valori numerici nella proporzione, si trova 0,58, capacità dell'olio d'oliva. Per quanto però questa capacità non sia forse esatta, giacchè l'esperienza fu fatta una volta sola, nondimeno abbiám creduto utile addurre questo esempio d'un' applicazione numerica.

Tavola delle capacità determinate col metodo di raffreddamento, nella quale D indica Dalton, + Despretz, M. Mayer

Acqua		1,000	
Aceto		0,920	D.
Acido nitrico	(densità 1,30)	0,66	D.
Acido idroclorico	(d ^{ta} 1,153)	0,60	D.
Acido solforico	(d ^{ta} 1,84)	0,35	D.
Alcool	(d ^{ta} 0,817)	0,70	D.
	(d ^{ta} 0,793)	0,622	+
Etere solforico	(d ^{ta} 0,76)	0,66	D.
	(d ^{ta} 0,715)	0,52	+
Essenza di tereb.	(d ^{ta} 0,872)	0,462	+
Legno di pino		0,65	M.
— di querce		0,57	M.
— di pero		0,50	M.
Flint		0,19	D.
Cloruro di sodio		0,23	D.

Con lo stesso metodo Dulong e Petit han cercato le capacità dei principali metalli e del solfo, ed ecco i loro resultamenti.

Acqua	1,0000	Zinco	0,0927
Bismuto	0,0288	Telluro	0,0912
Piombo	0,0293	Rame	0,0949
Oro	0,0298	Nikel	0,1035
Platino	0,0314	Ferro	0,1100
Stagno	0,0314	Cobalto	0,1408
Argento	0,0557	Solfo	0,1880

Gli autori di queste ricerche hanno fatto un'osservazione im-

portante, cioè che il prodotto della capacità d'un corpo semplice per il peso del suo atomo, dà un numero costante, che è molto prossimo a 0,375. Da ciò risulta, che le capacità dei corpi semplici per il calore, sono in ragione inversa dei pesi degli atomi. I risultamenti delle esperienze di Laroche e Berard sui gas, soddisfanno essi pure assai bene a questa legge.

150. Può ora domandarsi, se i calori specifici sono gli stessi a tutte le temperature, oppure se sono variabili. Si risponde essere assai più probabile che la capacità dei corpi cresca quando si alza la temperatura. Tale era pur l'opinione di Dalton; e per le esperienze di Dulong e Petit, esatte quanto possa mai desiderarsi, è stato incontrastabilmente stabilito il fatto dell'aumento del calore specifico. In queste esperienze ogni corpo era elevato successivamente a diverse temperature, e immerso in una massa nota d'acqua fredda. Dalla tavola seguente si acquisterà un'idea della variazione della capacità.

	Capacità medie fra 0° e 100°	Capacità medie fra 0° e 300°
Mercurio	0,0330	0,0350
Zinco	0,0927	0,1015
Antimonio	0,0507	0,0547
Argento	0,0557	0,0611
Rame	0,0940	0,1013
Platino	0,0335	0,355
Vetro	0,177	0,190

Resultamenti particolari del ferro

Capacità media fra 0° e 100° = 0,1098
 0° e 200° = 0,1150
 0° e 300° = 0,1218
 0° e 350° = 0,1255

Calori specifici dei Gas

151. Per determinare i calori specifici dei gas, s'incontrano molte difficoltà, e però si discordi sono i risultamenti datici in questo proposito dai diversi Fisici: tuttavia i più estesi e i più accurati son quelli di Laroche e Berard, che qui presentiamo in un quadro.

Calori specifici dei principali Gas

	A volumi eguali	A pesi eguali
Aria atmosferica	1,0000	1,0000
Idrogeno	0,9033	12,3401
Ossigene	0,9765	0,8848
Azoto	1,0000	1,0318
Acido carbonico	1,2588	0,8280
Ossido d'azoto	1,3503	0,8878
Ossido di carbonio	1,0340	1,0805
Gas oliofaciente	1,5530	1,5763
Vapore acquoso	1,9600	3,1360

Questi sperimentatori hanno ottenute tali determinazioni, facendo passare volumi eguali di vari gas in una serpentina circondata d'acqua fredda di peso noto. Ciascun gas, escendo dal gassometro, passa a traverso d'una prima serpentina immersa in un olio, elevato alla massima temperatura per tutti i gas. Il gas arriva nel calorimetro, e vi deposita una porzione del suo calore; la temperatura del calorimetro si alza ed arriva al massimo grado, quando il calorimetro per il contatto dell'aria e per il raggiare, perde una quantità di calore eguale a quella che riceve dal gas: e poichè per le leggi di raffreddamento, come vedremo, la perdita di calore che prova un corpo posto in questa circostanza, è proporzionale all'eccesso della sua temperatura sulla temperatura dello spazio circostante, e poichè dall'altra parte il gas, passando nel calorimetro, gli restituisce il calore che esso perde; quindi è, che la quantità di calore abbandonato dal gas, è parimente proporzionale all'eccesso della temperatura del calorimetro (a).

Questi risultamenti però non sono che l'espressione d'un fenomeno composto, quantunque non possa dubitarsi, della perseveranza e dell'esattezza dei lodati Fisici in questo, come negli

(a) Sieno m , c , T la massa, la capacità e la temperatura di uno dei gas; m' , c' , t le quantità corrispondenti per l'altro gas; θ la temperatura del luogo o e si fa l'osservazione; θ' la temperatura massima del calorimetro nell'esperienza del primo gas; θ'' la quantità corrispondente per il secondo gas; avremo $mc (T - \theta) : m' c' (t - \theta) :: \theta' - \theta : \theta'' - \theta$. Nella qual proporzione tutto è noto, eccettuato il rapporto delle capacità $\frac{c'}{c}$ che potrà dedursi da essa: e se uno dei gas, per esempio quello di capacità c , è l'aria, si farà $c=1$, il che darà la capacità dell'altro gas, riportato alla capacità dell'aria presa per unità.

altri lavori. Qui si misura nel tempo stesso e il calore sprigionato dalla condensazione, e quello abbandonato dal gas nel raffreddarsi, mentre sarebbe necessario separare o l'una o l'altra di queste quantità. Un altro errore deriva ancora dal non essere stati i gas perfettamente privati d'acqua.

152. Gli stessi fisici hanno paragonato i calori specifici con l'acqua, ed hanno trovato

Acqua	1,0000	Idrogeno	3,2936
Aria	0,2669	Ossido d'azoto	0,2369
Ossigene	0,2361	Gas oliofacente	0,4207
Azoto	0,2734	Ossido di carbonio	0,284
Acido carbonico	0,2210	Vapore acquoso	0,8470

W. T. Haycraft, in conseguenza di esperienze fatte sui gas prosciugati, ammette che i gas semplici e i gas composti, sotto lo stesso volume e ad egual pressione, hanno la stessa capacità. Per i gas semplici, anco Dulong e Petit, dopo esaminate le esperienze di Laroche e Berard, ammettevano tal legge, ma per i gas composti le esperienze suddette non bastano a verificarla. Larive e Marcette però, usando processi diversi, hanno potuto realmente provare col fatto, che tal legge ha luogo ancora per i gas composti, i quali hanno egualmente che i semplici la stessa capacità per il calore. (1).

(1) In sostanza, *capacità di calore*, o *calore specifico* indica la disposizione che ha un corpo a ricevere tutto il calore necessario per produrre il doppio effetto di dilatazione di volume e d'elevazione di temperatura. E poichè corpi di diversa natura son suscettivi di temperature diverse, quindi è che appunto la loro natura influisce sull'effetto del calore che si introduce in essi; e però resulteranno notabilissime variazioni nelle quantità di calore che i corpi debbon cedere o assorbirsi reciprocamente, perchè ne derivi l'equilibrio di temperatura. Così la porzione di calore necessaria per la dilatazione d'un corpo, in circostanze eguali, dovrà esser maggiore se l'affinità che produce la coesione delle molecole del medesimo, oppone maggior resistenza al loro slontanamento. Se dunque un corpo B avesse una capacità maggiore di quella d'un altro corpo C, il calore dovrebbe esser più accumulato nell'interno di B, affinchè il residuo della forza espansiva naturale di questo fluido, eguagliasse quello della forza del calore di C, il quale sarebbe meno abbondante, ma nel tempo stesso meno impedito. Quindi se un termometro applicato al corpo B restasse stazionario, resterebbe tale egualmente, presentato al corpo C, perchè essendo eguali le tensioni del calore nei due corpi, neppure il termometro non potrebbe trovarsi in equilibrio di tensione col corpo B senza essere egualmente in equilibrio col corpo C. Un simile effetto si osserva nel passaggio allo stato d'equilibrio fra corpi di natura diversa in contrasto fra loro, e le quantità di calore cedute dai corpi più caldi ai meno caldi, in circostanze eguali dipendono dalla capacità del calore.

Così può spiegarsi perchè alcuni corpi sulla superficie della Terra acquistano nella notte una temperatura diversa da quella dell'atmosfera.

LEGGE DEL RAFFREDDAMENTO

153. Un corpo caldo lasciato a se stesso nello spazio, perde tanto maggior calore in un tempo dato, quanto la sua temperatura è più elevata sopra quella del mezzo circostante. Nel voto il raffreddamento dipende soltanto dal raggiamento del corpo; nell'aria o in qualunque gas, la perdita prodotta dal raggiamento, si unisce a quella che deriva dal contatto del fluido.

154. Newton ammesse *a priori* (*Scala graduum caloris*, *Phil. trans.* 1701), che un corpo riscaldato e sottoposto ad una causa costante di raffreddamento, come l'azione d'una corrente d'aria uniforme, soffre ad ogni momento una perdita di calore, proporzionata all'eccesso della sua temperatura su quella del mezzo circostante; e che in conseguenza le perdite del calore devon formare una progressione geometrica decrescente (a). Kraft e Ri-

ra dalla quale son circondati. Per esempio, una piccola massa di cotone esposta all'aria libera, resta ad una temperatura 6, 7 e anco 8 gradi centig. sotto quella dell'atmosfera; il che indica la minor capacità che questi corpi hanno per il calore. Questo fatto scoperto per la prima volta da Wells è importantissimo per ciò che riguarda lo stato delle piante, le quali son pur soggette a trovarsi alla temperatura del ghiaccio, quando un termometro posto nell'atmosfera indichi ancora alcuni gradi sopra lo zero. Si noti però, che ciò non accade se non in notti perfettamente serene; e tal differenza di temperatura va scemando a misura che il Cielo è nuvoloso. Di qui è nata l'opinione volgare, che la Luna con la sua presenza influisca sulla temperatura delle piante. Il fatto è vero, ma ne è stata mal applicata la causa, attribuendo all'astro ciò che dipende soltanto dalla serenità del Cielo, durante la quale esso apparisce brillante.

(a) Se la legge di Newton fosse vera, essendo i tempi in progressione aritmetica, gli eccessi di temperatura del corpo su quella del mezzo circostante sarebbero in progressione geometrica, cioè avremmo la serie:

Tempi	Eccessi
0'	E
1'	Em
2'	Em ²
3'	Em ³
T'	Em ^t (A).

A questa serie si giunge col supporre, che la perdita sia proporzionale all'eccesso della temperatura del corpo su quella dello spazio circostante. Sia T l'eccesso iniziale; il corpo perderà $\frac{T}{n}$ nella prima unità di tempo, sicchè al principio della seconda unità, la perdita sarà

chmann hanno verificato ciò con l'esperienza. La legge di Newton rappresenta assai esattamente il corso del raffreddamento d'un corpo, quando l'eccesso della sua temperatura su quella del mezzo circostante non è maggiore di 30 ovvero 40 gradi; ma oltre questo limite, il risultamento dell'esperienza è tanto più diverso da quello del calcolo, quanto maggiore è l'eccesso suddetto. Tutto questo resta verificato dalle esperienze di Martine ed Erleben, Laroche e Dalton, Leslie, e più recentemente da quelle di Dulong e Petit.

155. Ecco i principali risultamenti ottenuti da questi ultimi due.

$T - T \frac{1}{n}$: finchè dura questa seconda unità, essa, secondo la legge, sarà $\frac{1}{n} T (1 - \frac{1}{n})$, e quindi l'eccesso della temperatura al principio della terza sarà $T (1 - \frac{1}{n})^2$; e così continuando, si troverebbe $T (1 - \frac{1}{n})^t$ dopo t tempi. Questi diversi eccessi, cioè T ; $T(1 - \frac{1}{n})$; $T(1 - \frac{1}{n})^2$. . . $T(1 - \frac{1}{n})^t$ formano una progressione geometrica, la ragion della quale è $1 - \frac{1}{n}$. Ma la perdita cresce più che in proporzione della temperatura, come provammo di sopra, sicchè l'eccesso dopo un tempo t non è già $T = Em^t$, ma $T = Em^{at + bt^2}$, la qual formola è analoga a quella di cui ci siamo serviti per interpretare le forze elastiche. Se i coefficienti m , a e b sono convenientemente determinati, questa formola potrà rappresentare con molta esattezza il raffreddamento, nei limiti dentro ai quali sono stati calcolati i coefficienti.

Con questa formola si può calcolare la rapidità del raffreddamento corrispondente ad un eccesso di temperatura, o il rapporto fra la perdita e il tempo nel quale essa accade. Infatti $\log T = \log E + (at + bt^2) \log m$, ossia, differenziando ambedue i membri, $\frac{dT}{dt} = T \log m (a + 2bt)$. La rapidità calcolata $\frac{dT}{dt}$ deve sempre esser maggiore della perdita reale, poichè T scema nel decorso del tempo in cui si osserva, per quanto brevissimo o momentaneo.

Raffreddamento d' un Termometro nell' aria

Eccesso di temperatura su quella dell' aria	Rapidità del raffreddamento d' un termometro con pal- lina di 2 centim. di diametro
100°	18°,92
80	14,00
60	9,58
40	5,93
20	2,75

La rapidità del raffreddamento è il numero di gradi perduti in un tempo preso per unità.

La colonna delle rapidità mostra l'inesattezza della legge di Newton, anco in un intervallo di cento gradi, poichè i rapporti fra due rapidità successive sono 1,3; 1,4; 1,6; 1,7.

Si vede parimente, che se il raffreddamento fosse proporzionato all'eccesso della temperatura del corpo su quella del mezzo, la rapidità corrispondente all'eccesso di temperatura 100°, dovrebbe essere cinque volte maggiore di quella che corrisponde a 20°. Quest'ultima rapidità è 2°,75, mentre secondo la legge di Newton sarebbe eguale a 3°,78, cioè v'è la differenza quasi d'un grado. La stessa esperienza ripetuta con termometri di diversa massa e di forma diversa, e con qualunque liquido fuor che mercurio, indica sempre la stessa legge, cioè lo stesso rapporto fra due rapidità consecutive. *La legge di raffreddamento è dunque la stessa per tutti i corpi.*

Raffreddamento nel voto

Eccesso di temperatura su quella dello spazio	Rapidità del raffreddamento
240°	10°,69
220	8,81
200	7,40
180	6,10
160	4,19
140	3,88
120	3,82
100	2,30
80	1,34

In questa tavola più evidentemente che nelle altre si vede l'inesattezza della legge, la quale suppone il raggiamento proporzionale all'eccesso di temperatura; poichè, secondo questa legge, la rapidità del raffreddamento a 200° dovrebbe esser doppia della rapidità a 100° , mentre dalla seconda colonna si rileva che essa è quasi tripla. In prova di ciò possiamo qui riportare alcune esperienze di Laroche. In queste egli raccoglie il calore raggiante sopra uno specchio metallico lucido; e l'effetto prodotto sopra un termometro posto nel fuoco dello specchio, è evidentemente proporzionale alla perdita che prova il corpo per il suo raggiamento, giacchè l'assorbimento per parte dell'aria è quasi nullo in un piccolo intervallo.

Eccesso della temperatura d'un vasetto pieno di mercurio	Effetto sul termometro focale	Effetto calcolato, supponendo il raggiamento proporzionale all'eccesso della temperatura dei corpi
81°	4°7	4°7
172	18,1	10,0
205	17,4	11,8

Dunque dalle esperienze di Laroche, Dulong e Petit risulta, che il raggiamento dei corpi accade e nel voto e nell'aria con una legge diversa da quella che era ammessa da Newton e da Richmann; la qual conseguenza avevano già dedotta Erxleben e Martine, quantunque con esperienze meno esatte.

Che se si parta da una temperatura più bassa per andare ad una più alta, il raffreddamento è più rapido di quello che indica la legge di Newton, e nel caso contrario è più lento, come si rileva dalle tavole suddette. Gravi errori adunque si commetterebbero ammettendo per esatta questa legge.

156. Dulong e Petit hanno trovato una formola, che rappresenta tutti i progressi del raffreddamento nel voto o in un gas qualunque sia; delle quali formole basterà qui accennare i principali risultamenti (a).

(a) Sono state tanto accresciute le formole di Dulong e Petit sulla legge di raffreddamento, che ci è impossibile il riportarle tutte. Diremo soltanto, che questi due dotti Fisici hanno rappresentato la legge del raffreddamento nel voto con la formola $V = ma^{\theta} (a^{\theta} - 1)$; V è la rapidità; e chiamando θ la temperatura del mezzo, $\theta + t$ sarà quella del corpo. Se θ è costante, anco ma^{θ} sarà costante, e la legge di raffreddamento potrà enunciarsi così.

Quando un corpo si raffredda in uno spazio voto, in cui è mante-

157. Le esperienze riferite precedentemente, fatte in uno spazio voto o pieno d'aria, mantenuto ad una temperatura costante, hanno fatto rilevare l'inesattezza della legge di Newton nei due casi. Ma quelle di cui ora trattiamo, ci faranno rilevare l'influenza della temperatura del mezzo sulla rapidità del raggiungimento d'un corpo, la temperatura del quale supera d'una quantità costante quella del mezzo. La tavola seguente presenta i risultamenti di molte esperienze, nelle quali la temperatura del mezzo è cresciuta in progressione aritmetica.

Eccesso di temperatura del termometro	Rapidità di raffreddamento nel mezzo	Rapidità di raffreddamento nel mezzo	Rapidità di raffreddamento nel mezzo
	a 0°	a 20°	a 40°
240°	10,69	12,40	14,35
220	8,81	10,41	11,98
200	7,40	8,58	10,01
180	6,10	7,04	8,20
160	4,89	5,67	6,61
140	3,88	4,57	5,32
120	3,02	3,56	4,15
100	2,30	2,74	3,16
80	1,74	1,99	2,30

Le rapidità del raffreddamento nel mezzo successivamente portate a zero e a 20°, sono nel rapporto di $\frac{12,40}{10,69} = 1,16$; e questo è pure il rapporto delle rapidità della terza e della quarta colonna $\frac{14,35}{12,40} = 1,16$: così due altre rapidità corrispondenti qualun-

nuto ad una temperatura costante, la rapidità del raffreddamento, per eccessi di temperatura in progressione aritmetica, cresce come i termini d'una progressione geometrica scemati d'un numero costante.

I suddetti sperimentatori hanno verificata la formola precedente sopra molti casi particolari, ed hanno trovato, che essa fedelmente rappresenta l'esperienza.

Il valore di a , relativamente a questa progressione, può determinarsi per mezzo delle esperienze del n.° 157, poichè da quelle risulta, che restando costante l'eccesso t , e la temperatura θ del mezzo variando di 20°, la rapidità del raffreddamento si trova moltiplicata per 1,16; e poichè in questo caso due rapidità consecutive sono

$$V = ma^{\theta}(a^t - 1)$$

$$V' = ma^{\theta+20}(a^t - 1)$$

avremo $\frac{V'}{V} = a^{20} = 1,16$, e quindi $a = 1,0075$.

que, darebbero lo stesso rapporto. Da ciò dunque risulta, che per un medesimo eccesso, il raffreddamento cresce al crescere della temperatura del mezzo. Il qual aumento può enunciarsi nel modo seguente. *La rapidità di raffreddamento di un termometro nel voto, per un eccesso costante di temperatura, cresce in progressione geometrica, quando la temperatura del mezzo cresce in progressione aritmetica. Il rapporto di questa progressione geometrica è lo stesso, qualunque sia l'eccesso di temperatura che si considera.*

Del raffreddamento nell'aria e nei gas

158. Poichè conosciamo le leggi di raffreddamento nel voto, facilmente possiamo rilevare la porzione di calore perduta per il contatto d'un fluido elastico, giacchè basta osservare nel fluido il raffreddamento d'un corpo che prima abbiamo osservato nel voto, e dalla differenza fra questi due effetti rileveremo la perdita prodotta dal contatto del fluido.

Termometro con superficie naturale

Eccesso della temperatura del termometro su quella del mezzo	Rapidità nell'aria	Rapidità nel voto	Differenza o rapidità cagionata dal solo contatto
200°	14°,04	8°,56	5°,48
180	11,76	7,01	4,75
160	9,85	5,68	4,17

La stessa esperienza col termometro con superficie inargentata

200°	6°,93	1°,50	5°,43
180	6,02	1,23	4,79
160	5,19	1,00	4,19

Osservando la quarta colonna, si vede che l'aria toglie la stessa quantità di calore alle superficie vitree ed alle metalliche. Facendo l'esperienza col gas idrogeno, è venuto lo stesso risultato. Quindi in riguardo della gran differenza di natura fra il vetro e l'argento, fra l'aria e il gas idrogeno, si può dire, che *le perdite di calore cagionate dal contatto di un gas in circostanze eguali, sono indipendenti dallo stato della superficie del corpo che si raffredda.*

Ecco i risultamenti d'altre esperienze fatte sull'aria a diverse pressioni, dalle quali risulta, che se le quantità di calore tolte

da un gas variano in progressione geometrica, sono esse pure in progressione geometrica.

Eccesso di temperatura sull'aria circostante	Rapidità di raffreddamento cagionata dal contatto sotto 0 ^m ,72	Idem sotto 0 ^m ,36	Idem sotto 0 ^m ,18	Idem sotto 0 ^m ,09	Idem sotto 0 ^m ,045
200°	5°,48	4°,01	2°95	2°,20	1°,59
160	4,17	3,03	2,21	1,62	1,20
120	2,90	2,12	1,57	1,15	0,84
80	1,77	1,29	0,96	0,70	0,52

Il rapporto della progressione geometrica delle pressioni è 2; quello della progressione delle rapidità, è 1,36 per l'aria, e per l'idrogeno diviene 1,30, per l'acido carbonico 1,43, per il gas oliofaciente 1,41 (a).

(a) Questo risultamento si può presentare in una maniera più semplice. Se P è il potere frigorifico dell'aria sotto la pressione p , questo potere diverrà $P(1,366)$ sotto la pressione $2p$; $P(1,366)^2$ sotto la pressione $4p$; e $P(1,366)^n$ sotto la pressione $2^n p$. Se si faccia $2^n p = p'$ e $P(1,366)^n = P'$, avremo

$$n \log 2 + \log p = \log p'$$

$$n \log (1,366) + \log P = \log P'$$

$$\text{quindi } \frac{\log p' - \log p}{\log (1,366)} = n,$$

$$\frac{\log p' - \log p}{\log 2} = n,$$

$$\log p' - \log p = (\log p' - \log p) \frac{\log 1,36}{\log 2}$$

e sostituendo i numeri

$$\frac{P'}{P} = \left(\frac{p'}{p} \right)^{0,45}.$$

Per il gas idrogeno, l'esponente sarebbe 0,38.

Con simili calcoli si ottiene il risultamento generale, cioè che le perdite di calore cagionate da un gas sono proporzionali agli eccessi di temperatura dei corpi alzati alla potenza 1,233

Che se vogliamo l'espressione generale del raffreddamento cagionato dal solo contatto d'un fluido, bisogna che ci rammentiamo 1.° che questo raffreddamento è indipendente dallo stato della superficie del corpo; 2.° che la temperatura e la densità di questo fluido non lo alterano, se non in quanto che fanno variare la pressione; sicchè il potere frigorifico d'un fluido non dipende in sostanza che dall'elasticità.

Se dunque p indichi la pressione, e l'eccesso della temperatura del corpo, V la rapidità del raffreddamento, avremo $V = mp^a z^b$, dove b è lo stesso per tutti i gas e per tutti i corpi, ed è eguale a 1,233;

Una tal legge era già stata ammessa da Leslie; ma questo ingegnoso Fisico non l'avea presentata che come una conseguenza verisimile di due esperienze indirette, le quali consistono nel provare, che lo stato della superficie non ha più che un' influenza leggerissima sul raffreddamento totale, nelle circostanze in cui il raggiamento non può più contribuire che per una piccolissima parte alla perdita del calore.

Da altre esperienze fatte sul raffreddamento, in uno spazio pieno successivamente d'aria, di gas idrogeno e d'acido carbonico, si è rilevato che la perdita cagionata dal solo contatto di un gas, per un eccesso medesimo di temperatura, dipende dalla densità e dalla temperatura del fluido. Ma questa dipendenza è tale, che *la rapidità del raffreddamento resta la stessa, se cambi e la densità e la temperatura del gas, senza far cambiare l'elasticità*. Questa proposizione risulta da esperienze fatte sull'aria e sul gas idrogeno. Ecco i resultamenti di alcune di quelle fatte sull'aria.

Eccesso di temperatura del termometro sull'aria cirostante	Rapidità di raffreddamento cagionata dal solo contatto dell'aria sotto 0 ^m ,36 e alla temp. 20°	Rapidità sotto 0 ^m ,36 e alla temp. 40°
200°	4°,01	4°,10
160	3°,03	2°,99
120	2°,12	2°,16

159. Descriviamo ora alcuni degli apparecchi destinati per queste ricerche, il che entra nel piano di quest'opera, specialmente quando gli strumenti riuniscono in se esattezza e semplicità. Tale è appunto quello di cui in questo caso si son serviti Dulong e Petit. Lo spazio in cui si osserva il raffreddamento, consiste in un globo MM (fig. 116) di rame sottilissimo, di tre decimetri di diametro, con un collo che termina in superficie piana perfettamente orizzontale. Il globo è fissato in una cassa cilindrica di legno piena d'acqua. E poichè le sue pareti sono molto sottili, e buone conduttrici del calore, passano costantemente alla temperatura dell'acqua che le circonda; e inoltre essendo internamente coperte di nerofumo, non riflettono che una piccolissima porzione del calore che ad esse tramanda il corpo caldo. L'orifizio del globo è arruotato, e chiuso con una grossa lastra di vetro CD parimente

c è parimente lo stesso per tutti i corpi, ma varia soltanto da un gas ad un altro; ed m varia al variare della natura di ciascun gas, e delle dimensioni dei corpi;

$c=0,45$ per l'aria, e 0,38 per l'idrogeno; $m=0,00919$ nell'aria, per il termometro adoprato nelle esperienze citate.

arruotata; e inoltre fra l'orlo dell'orifizio e la lastra si interpone una materia grassa, sicchè è reso più perfetto il contatto fra le superficie, e così s'impedisce ogni comunicazione con i corpi esterni.

La lastra CD è forata nel suo centro con un'apertura circolare, in cui si introduce a forza un tappo, dentro al quale passa l'asta d'un termometro. Questo termometro si fa di gran volume, affinchè non resti alterato che pochissimo mentre si dispone l'apparecchio: l'asta del termometro è coperta con un tubo AB: questo tubo nella parte superiore termina con un robinetto R, al quale è fissato un tubo flessibilissimo di piombo HK, e l'altra estremità è fissata ad una macchina pneumatica, nella quale è adattato un barometro per conoscere il grado d'elasticità dell'aria interna. Quando si vuole introdurre nel globo un gas, si osservi di ben prosciugarlo, facendolo passare per un tubo pieno di cloruro di calcio.

160. La massa, la capacità, la facoltà conduttrice, lo stato della superficie, la natura del mezzo circostante, esercitano una grandissima influenza sul raffreddamento. Consideriamo dunque separatamente tutti questi punti.

Si dimostra con l'analisi, che il rapporto dei tempi del raffreddamento di due sfere, è eguale al rapporto dei quadrati dei diametri, se queste sfere hanno grandi dimensioni; e se le sfere son piccole, è eguale soltanto al rapporto semplice degli stessi diametri. (*Th. de la chaleur* di Fourier). Riporterò qui due delle mie esperienze, le quali danno risultamenti bastantemente concordi con l'analisi. Una palla di zinco che ha 0^m,067 di diametro, ha perduto 10° di calore in 4' 21": un'altra dello stesso metallo, di 0^m,093 di diametro, ha perduto 10° in 6' 29". Lo stato delle superficie era lo stesso; il potere raggianti era stato ridotto al massimo grado con l'applicazione d'una vernice; il rapporto dei tempi del raffreddamento è 1,48, quello dei diametri è 1,40. Il risultamento dell'esperienza è medio fra i due indicati dall'analisi, perchè infatti i diametri delle due sfere non sono nè molto grandi nè molto piccoli.

La capacità (n.° 144) e la conduttività hanno pure molta influenza sul raffreddamento. Per esempio vi vorrà assai più tempo perchè si raffreddi una data massa d'acqua, che un'egual massa di rame, in circostanze eguali, perchè questo ha una capacità che è $\frac{9}{1000}$ di quella dell'acqua. Si comprende facilmente ancora, e meglio lo vedremo quando parleremo della conduttività del calorico, che il raffreddamento deve esser tanto più rapido, quanto più facilmente il calore può muoversi nell'interno dei corpi.

Anco l'agitazione dell'aria accelera notabilmente il raffreddamento, come è provato dalla comune osservazione.

La rapidità del raffreddamento dipende ancora dallo stato della superficie, in prova di che citerò due esempj dedotti da al-

cune mie esperienze. Una palla di ferro tirato a pulimento, di $0^m,067$ di diametro, si è raffreddata 10° in $9' 54''$: la stessa palla, arrugginita per essere stata esposta all'umido, ha perduto 10° in $6'$: ricoperta con uno strato di vernice, ha fatta la stessa perdita in $5' 44''$: finalmente coperta di due altri strati, si è raffreddata a quel punto anco più presto, cioè in $5' 40''$.

Più estesamente tratteremo questo argomento nell' articolo del calore raggiante, giacchè molte sono le utili applicazioni che se ne posson fare (1).

**DELLA REFLESSIONE E DEL RAGGIAMENTO DEL CALORE,
E DI MOLTI FENOMENI CHE A QUESTI SI RIFERISCONO**

161. Sembra che a Scheele si debba una delle prime osservazioni che dimostrano l' influenza dello stato della superficie, relativamente al potere riflettente dei corpi. Questo celebre chimico avendo esposto un lucente specchio concavo di metallo in faccia all' apertura d'un fornello, in cui bruciava combustibile con molta attività, osservò che questo specchio rifletteva tutto il calore che arrivava sulla sua superficie, poichè egli, tenendolo in mano, non provava un caldo sensibile. Ricoperto lo specchio di nero di fumo, esso si riscaldava in modo da non poter esser più tenuto in mano per la sua parte convessa, senza dolore.

162. Abbiain già veduto che il raggiamento varia al variar della superficie, restando la stessa la temperatura; quindi è chiaro che diversi debbon essere i poteri raggianti nei diversi corpi, come appunto risulta dall' osservazione, e specialmente dai fatti singolari importantissimi con i quali Leslie e Rumford hanno arricchita questa parte di Fisica. Per questi ha ricevuto infinito schiarimento

(1) Del resto i corpi non posson dirsi nè caldi nè freddi, se non relativamente. Eccone una prova piuttosto singolare. Se in una stanza, mentre non vi sia alcuna causa che ne alteri la temperatura, si applichi successivamente un termometro a corpi di natura diversa, come cotone, lana, crine, legni secchi, marmi, metalli, ec., il termometro indicherà che tutti son quasi ad egual temperatura. Se quindi si faccia lo stesso esperimento con la mano, si proveranno sensazioni diverse, sicchè mentre il cotone, il crine, la lana, ec. non ci sembreranno molto freddi, ci sembrerà molto freddo il legno, specialmente levigato, il marmo ancor più, e moltissimo i metalli. La spiegazione di questo fatto può dipendere da due principii. Primo: corpi meno pesanti, hanno, sotto lo stesso volume, minor numero di parti materiali, e però minori sono in essi le cause di sottrazione di calore dalla nostra mano. Secondo: cotone, lana, crine, ec., son cattivi conduttori del calore; e però quella quantità che in principio ne sottraggono alla mano i punti materiali di essi, che sono a contatto con la medesima, resta alla loro prima superficie, e quindi poca è la perdita che fa la mano.

Tom. I.

la teoria del calore, la quale poi ha potuto servire alle arti per mezzo d'utilissime applicazioni

È dunque ormai dimostrato, che lo stato della superficie modifica il raggiamento del calore; e resta solo da cercarsi il potere raggianti dei varii corpi

Uno dei più semplici processi è quello che è stato praticato da Leslie, e consiste nel raccogliere sopra uno specchio metallico il calore emesso da varii corpi, elevati tutti alla stessa temperatura. A tal effetto egli prende un cubo di latta voto (*fig. 117*); ne copre la faccia A con carta, la faccia B con una lastra di vetro, la faccia C con una lastra di piombo, e lascia la faccia D nello stato naturale; e quindi empie il cubo con acqua ad una nota temperatura, che ordinariamente è di 95°. Ponendo questo cubo alla distanza di tre piedi dallo specchio, nel fuoco del quale è la palla focale del suo termometro differenziale, osserva l'effetto prodotto su questo termometro: successivamente gli presenta le tre altre facce, osservando di riempir sempre il cubo con acqua alla stessa temperatura, la quale è indicata da un termometro immerso nel cubo stesso, e così moltiplicando le esperienze, si trova il potere raggianti dei diversi corpi. È chiaro che la durata d'ogni esperienza deve esser la stessa; come pure che il cambiamento di temperatura del mezzo non influisce nulla sui resultamenti, poichè tal'azione è la stessa sopra ambedue le palline.

Si osserva dunque che l'effetto prodotto sulla palla focale dal metallo lucido è debolissima, in paragone di quello che producono le altre sostanze, come la carta, il vetro e il nero di fumo. L'aria atmosferica e lo specchio riflettente assorbono una certa quantità di calore; ma poichè questo assorbimento è poco considerevole, e dall'altra parte è sensibilmente proporzionale alle quantità di calore emesse dai diversi corpi, così gli effetti osservati possono riguardarsi come indicatori dell'ordine dei poteri raggianti. Ecco la tavola che è stata formata, rappresentando con 100 l'effetto maggiore prodotto.

Tavola dei poteri raggianti

Nero di fumo	100
Acqua	100
Carta bianca	98
Vetro	90
Inchiostro della China	88
Acqua gelata	85
Mercurio	20

Piombo	19
Ferro lucido	15
Stagno, rame, argento, oro	12

Siccome abbiamo veduto, che le sostanze le quali si raffreddano più presto, più presto ancora si riscaldano, si concluderà, che le superficie le quali, in parità di circostanze, emettono più calore, ne assorbono altresì una maggior quantità.

163. Per conoscere i poteri riflettenti, si copre successivamente la superficie dello specchio di diverse sostanze, e ogni volta si riceve il calore riflesso sulla palla focale, supposto sempre, che sia la stessa la superficie voltata verso lo specchio, e che l'acqua del cubo sia conservata alla stessa temperatura. L'effetto termometrico è proporzionale al calore riflesso dallo specchio nel suo fuoco; e poichè esso ne assorbe sempre nella stessa proporzione, quindi è che gli effetti osservati indicano l'ordine dei poteri riflettenti.

164. V'è un altro processo appoggiato su questa osservazione: se fra il fuoco principale e lo specchio si pone uno specchio piano, questo rifletterà i raggi senza alterare la loro inclinazione sull'asse; sicchè se mF , e $m'F$ (*fig. 118*) sono due raggi paralleli riflessi, che vanno a riunirsi in un punto F , lo specchio piano ab interposto rifletterà in a e in b i raggi mF , $m'F$, e determinerà la loro unione in F' ; e per l'eguaglianza dei triangoli FaK ed $F'aK$, sarà $KF = KF'$. Basta dunque far l'esperienza ponendo successivamente in K una lastra delle diverse sostanze che si vogliono esaminare, e osservare l'effetto prodotto nel fuoco secondario F' . Questo effetto è necessariamente più debole di quello che si ottiene col primo metodo, ma poichè la diminuzione è la stessa in tutte le esperienze, i rapporti degli effetti non vengono alterati.

Tavola dei poteri riflettenti

Ottone	100
Argento	90
Stagno in foglia	80
Acciaio	70
Piombo	60
Vetro	10
Vetro unto	5
Nero di fumo	0

Da questa piccola tavola apparisce, che i metalli i quali hanno la proprietà di emettere pochissimo il calore, lo riflettono in grande abbondanza; e che al contrario, le sostanze le quali

come il nero di fumo e il vetro, hanno un notevole potere raggianti, son dotate d'un debolissimo potere riflettente; sicchè i poteri riflettenti sono in ragione inversa dei poteri emissivi. Parimente, i poteri riflettenti di due corpi son tanto più deboli, quanto maggiori sono i poteri assorbenti, ma non sono in ragione inversa. Infatti, sia 1 la quantità di calore ricevuto da una superficie, a la quantità assorbita, $1-a$ sarà il calore riflesso. Così, se una superficie ha un potere assorbente doppio, riterrà $2a$, e non rifletterà che $1-2a$. Ora è chiaro, che i quattro numeri $1-a$, $1-2a$, $2a$, a , non formano una proporzione.

Nè solamente la lucentezza, ma ancora l'intima natura delle sostanze ha un'influenza sul raggiamento e sulla riflessione del calore, poichè due sostanze diverse, rese egualmente lucide, riflettono ed emettono disegualmente il calore. Per quanto lucido però sia un corpo, non riflette mai totalmente il calore che cade sulla sua superficie.

165. Nel corso di queste esperienze accade di fare un'osservazione molto importante, relativamente alla teoria fisica del calore, cioè che la riflessione e il raggiamento non accadono soltanto all'estrema superficie, ma ad una certa profondità. In fatti, le esperienze che abbiamo riportate sul principio di questo capitolo (n.º 149) ci fanno vedere, che sensibile è la profondità alla quale principia il raggiamento, perchè sono stati necessari più strati di vernice per portarlo al massimo grado. In prova di ciò, basta ricevere il calore raggianti d'una sorgente qualunque sopra uno specchio lucido metallico, e coprir questo successivamente con sottili strati di vernice; e si vedrà che il primo strato indebolisce notabilmente il potere riflettente, ma non lo riduce al minimo grado. Aggiungeremo ancora, che sottilissimo è lo strato di vernice, a traverso del quale accadono i raggiamenti e la riflessione, e questa grossezza è anco minore per i corpi metallici: così una porzione concava di sfera di legno, coperta d'una foglia metallica, rifletterà il calore con la stessa facilità d'uno specchio metallico massiccio, egualmente lucido (1).

Per quanto poi sieno diversi i metodi usati da Rumford per

(1) In quanto al raggiamento non può nascer dubbio che vi influisca la profondità del corpo caldo, perchè è certo che di due corpi di egual superficie e diversa grossezza, il più grosso tramanderà, emetterà, raggierrà ec. più calore: in quanto alla riflessione, tutto questo discorso dell' A. si può restringere a dire, che se uno strato di vernice non basta per farla cessare, ciò prova che non è la semplice superficie matematica che riflette, ma anche qualche strato sottoposto; se pure non si volesse anche osservare, che l'insufficienza di uno o due strati sottilissimi per far cessare la riflessione, potrebbe dipendere dal non restare abbastanza coperti tutti i punti della superficie.

questo genere di ricerche, tuttavia egli ha ottenuti gli stessi risultamenti. (*Mem. sur la chal.*)

166. Ci sono familiarissimi nella vita comune molti fatti analoghi ai citati. Così i vasi ben puliti si riscaldano e si raffreddano lentamente, al contrario dei vasi divenuti per l'uso neri e rugginosi: le vesti nere, che hanno molto potere emissivo e assorbente, son calde in estate e fresche in inverno; e le bianche son utili in tutte le stagioni per la ragione opposta.

167. Riprendiamo ora molti punti della teoria del calore radiante, l'esame della quale ci condurrà ad una chiara e rigorosa spiegazione della formazione della rugiada e di altri fenomeni analoghi.

1.° Se un termometro piccolissimo m posto in uno spazio chiuso, ha acquistata una temperatura fissa, e vi si ponga un parafuoco FF' (*fig. 119*) che sia alla stessa temperatura della porzione corrispondente CC' dello spazio, il termometro conserverà la sua temperatura, poichè riceverà da questa superficie tanto calore, quanto ne riceverebbe dalla parte nascosta CC' . È chiaro che non accaderebbe lo stesso, se il parafuoco fosse più o men caldo della parte CC' , poichè nel primo caso il termometro si scalderebbe, e nel secondo si raffredderebbe. Qui consideriamo la superficie FF' come interamente priva della proprietà di riflettere il calore. Supponiamo ora che essa rifletta tutto quello che riceve; in tal caso non avrà una temperatura propria, e bisognerà attribuirle la temperatura della porzione HH' dello spazio, il calor della quale è riflesso sul termometro.

2.° Un termometro m , posto in uno spazio privo d'aria e chiuso da un recinto di cui tutte le pareti sieno ad una temperatura costante t , acquisterà questa temperatura. Se fra il termometro e il recinto si pone un piatto HH' (*fig. 120*), la temperatura t' del quale sia minore di t , il termometro si abbasserà, poichè si sostituisce l'azione delle superficie HH' all'azione della parte CC' : se inoltre si pone uno specchio KK' adattato a riflettere sul termometro il calore che esso riceve dal piatto HH' , il termometro pur si abbasserà; infatti questo specchio intercetta il calore tramandato dalla porzione DD' del recinto, e comunica in vece un calore più debole.

3.° Aggiungiamo ancora un ultimo caso: supponiamo sempre che un termometro abbia acquistata in un recinto una temperatura fissa, e che si dispongano due specchi metallici lucidi HH' , KK' , e un corpo A (*fig. 121*) che sia ad una temperatura inferiore a quella del recinto; il termometro si abbasserà. In questa esperienza, che ordinariamente suol farsi all'aria aperta, ponendo in A un matraccio pieno di neve, credettero alcuni in principio di veder l'indicazione dell'esistenza dei raggi frigoriferi; ma la spiegazione è semplice al pari di quella dei casi pre-

cedenti. Lo specchio HH' intercetta l'azione d'una parte del recinto DD' , e vi sostituisce la sua propria azione. Ora tutti i raggi partiti da A , che cadono sullo specchio KK' , son riflessi sullo specchio HH' , e quindi sul termometro m . Dunque la temperatura che si deve attribuire allò specchio HH' , è la temperatura del corpo A ; e del pari l'altro specchio sostituisce la temperatura del corpo A alla temperatura della parte del recinto che esso intercetta.

Se il corpo A fosse più caldo del termometro e del recinto, il ragionamento sarebbe assolutamente lo stesso.

Prevost di Ginevra è stato il primo a dare la spiegazione degli effetti prodotti dalla riflessione apparente del freddo. Egli ha conosciuto che i corpi emettono il loro calore raggianti a qualunque temperatura, e se lo tramandano scambievolmente, come i corpi luminosi si comunicano la propria luce. (*Journ. de phys.* 1792. *Ess. de phys. de M. Pictet. Observat. sur la chal. rayon.* An. chim. 6).

E se il termometro, contro ciò che abbiamo supposto, avesse più estese dimensioni, le spiegazioni sarebbero pur sempre le stesse.

168. Il calore che è ricevuto da una superficie dei corpi circonvicini, è in parte riflesso. Ciascun elemento di questa superficie può esser diviso in due parti eguali o diseguali, una delle quali è privata d'ogni riflessibilità, e l'altra è uno specchio perfetto. Il rapporto di queste due parti è un coefficiente dipendente dallo stato della superficie, e che dalle osservazioni apparisce sensibilmente costante per piccoli intervalli di temperatura. Se sopra una superficie cada un raggio di calore, l'intensità del quale sia rappresentata da I , esso si dividerà in due parti; una parte ar penetrerà nel corpo, e l'altra parte $(I-ar)$ sarà riflessa: il coefficiente a è una frazione che esprime la riflessibilità della superficie. Se ora il raggio r tendesse ad escire dal solido per una direzione contraria, sarebbe decomposto in due parti, una ar , l'altra $(I-ar)$, e quest'ultima sarebbe richiamata verso l'interno. Ecco in che consiste l'eguaglianza reciproca del potere emissivo e del potere assorbente. Questa considerazione che è di Fourier, è indipendente dal valore particolare di a .

Della Rugiada

169. Prima che il Dottore Wells pubblicasse la sua opera, i Fisici non avevano alcuna idea giusta sulla formazione della rugiada. Fra le diverse opinioni emesse intorno alla causa di questo fenomeno, ve n'era una che sembrava naturalissima, facendolo dipendere dal raffreddamento dell'aria. Ma a questa spiegazione

si opponevano molti fatti, e specialmente uno già noto fin dai tempi d' Aristotele, cioè che la rugiada non si posa se non nelle notti tranquille e serene, e inoltre, che non su tutti i corpi egualmente si posa.

170. E anco nelle notti tranquille e serene, la rugiada non si precipita sempre in egual quantità; e sembra provato dall'esperienza, che i venti e le nebbie sono un impedimento alla produzione di questo fenomeno, al quale al contrario è favorevole tutto ciò che accresce l'umido dell'aria: inoltre tutte le circostanze che tendono a produrlo, si combinano più spesso in Primavera e specialmente in Autunno, che in Estate. In Francia la rugiada è abbondante quando spirano i venti di Mezzogiorno e di Ponente che vengon dal mare; e l'opposto accade in Egitto. La rugiada, sotto un cielo puro, si forma in tutto il corso della notte, ed è meno abbondante fra il tramontar del Sole e mezza notte, che fra mezza notte e il sorgere del giorno. In generale, tutto ciò che tende ad accrescere l'estensione della porzione di cielo che può esser vista dal luogo che occupa il corpo, accresce la quantità di rugiada di cui esso può ricoprirsì. Così 10 grani di lana posti sopra una tavola, in una nottata crescono 9 grani in peso; mentre un egual peso della stessa lana posto sull'erba, ma allo scoperto, cresce 15 gr. Da questa esperienza potrebbe dedursi che la rugiada cade come la pioggia; ma Wells ha provato il contrario, giacchè ponendo 10 grani della stessa lana in un cilindro di terra cotta, aperto alle due estremità, restaron carichi di 2 grani d'umido soltanto.

Tutti i metalli non si coprono egualmente di rugiada: qualche volta si vede umidissimo il platino, il ferro, l'acciaio, lo zinco, il piombo, mentre l'oro, l'argento, il rame, lo stagno posti nelle stesse circostanze si conservano perfettamente asciutti. Lo stato meccanico dei corpi influisce sulla precipitazione della rugiada. In generale la divisione accresce questa precipitazione; così i piccoli pezzi si inumidiscono più che il legno massiccio.

171. La temperatura dell'erba e di tutti i corpi che si coprono di rugiada, è più bassa di quella dell'aria circostante. Il Dottor Wells ha osservato, che i termometri posti sulla terra, nelle notti tranquille e serene, indicano spesso 4, 5, 6 e anco 8 gradi meno d'un termometro simile posto 4 piedi sopra il terreno. Questa differenza si osserva fin dal tramontare del Sole, e persiste fino allo spuntar del giorno: non accade lo stesso in notti nuvolose.

Se in una notte serena passa una nube allo zenith, subito cresce la temperatura dell'erba. In una bella nottata Wells trovò che l'erba, la quale era alla temperatura di 6°,7 sotto quella dell'aria, a un tratto, per la presenza d'una nube salì 5°,6,

mentre nella stessa circostanza la temperatura dell'aria non era sensibilmente cambiata. La temperatura dei metalli scende di rado un grado o due sotto quella dell'aria circostante.

Teoria della formazione della Rugiada

172. Quanto abbiamo detto ci fa conoscere esattamente quali sono le circostanze che accompagnano la formazione della rugiada. Dall'esatte e variate esperienze del Dott. Wells risulta, che il raffreddamento dei corpi precede sempre l'apparizione della rugiada; sicchè bisogna ammettere che la rugiada è la *conseguenza* e non la causa del raffreddamento dei corpi sui quali essa si possa; altrimenti tutti i corpi dovrebbero coprirsi e raffreddarsi egualmente. Ora dalle osservazioni, come abbiamo veduto, risulta che la temperatura dei metalli non si abbassa che di 2 gradi sotto quella dell'atmosfera, mentre l'abbassamento della temperatura dell'aria, della carta e del vetro, va qualche volta fino a 8°.

Qual'è dunque la causa di questo diseguale raffreddamento? Secondo Wells, la vera causa è il raggiamento del calore: infatti i corpi dotati di molta facoltà raggiante, come il vetro, la carta e le materie organiche, son quelli che più si raffreddano. Inoltre tutte le circostanze che tendono ad accrescere questa facoltà raggiante, accrescono il freddo prodotto, e in conseguenza il deposito della rugiada. Così sotto un cielo sereno, il calore tramandato verso le regioni superiori, si perde nello spazio, e la rugiada si forma abbondantemente: sotto un cielo coperto, le nubi col loro raggiare e con la loro riflessione compensano il calore perduto dai corpi posti sulla superficie della terra, e per questo appunto si oppongono alla formazione della rugiada. Per la stessa ragione la rugiada non si posa nè sotto gli alberi nè presso gli edificii.

Si comprende ancora facilmente perchè i venti che spirano nel tempo della formazione della rugiada, ne arrestano o ne ritardano il progresso, perchè portano seco nuovi strati d'aria calda, i quali cedono ai corpi terrestri una porzione del loro calore, e impediscono che si raffreddino: inoltre il rinnovamento dell'aria accelerando l'evaporazione, deve pure esser contrario alla formazione della rugiada, perchè qualora se ne fosse depositata, sarebbe assorbita dall'aria calda.

Fenomeni che hanno rapporto con la Rugiada

173. Parleremo di alcuni fatti osservati da Benedetto Prevost, e dei quali Pietro Prevost ha data la spiegazione, appoggiata sulla sua ingegnosa teoria del raggiar del calore.

Ognuno ha osservato, che quando l'aria esterna si raffredda in tempo di notte, i vetri delle finestre si coprono internamente di umido, e il contrario accade, se l'aria di fuori è divenuta più calda di quella dell'interno. Ecco ora ciò che ha osservato Prevost. Se dalla parte dell'aria più fredda si pone sopra un cristallo della finestra una lastra metallica, ben poco umido si depositerà sulla faccia del cristallo la quale è a contatto con l'aria più calda, mentre il resto sarà tutto coperto di rugiada. La lastra metallica posta sulla faccia contigua all'aria fredda, riflette verso l'aria calda interna tutto il calore che tende ad escire, e quindi impedisce al cristallo di raffreddarsi, e però l'umido deve posarvisi meno che in qualunque altro punto. Se la lastra metallica è posta sulla faccia contigua all'aria calda, in nessun altro punto si vedrà tanta abbondanza d'umido, quanto sulla porzione del cristallo coperto dalla lastra. Questa respinge nell'interno tutto il calore raggiante, che tenderebbe a introdursi per questa parte nel vetro, e che produrrebbe l'effetto di conservare la sua temperatura, mentre non impedisce all'altra faccia di raffreddarsi per via del raggiamento e della comunicazione. Se le due masse d'aria conservano lungo tempo la loro attuale temperatura, l'effetto della comunicazione è superiore a quello del raggiamento, e l'umido si deposita dovunque.

174. Moltissimi hanno potuto osservare che il freddo che si prova in inverno, è più intenso la sera che il giorno, e in un tempo sereno più che in tempo nuvoloso. Questo fenomeno si spiega con gli stessi principii con i quali si spiegò quello della rugiada; e con la stessa semplicità si intende perchè il freddo è minore sotto un riparo qualunque, sotto un albero, sotto un ombrello, ec., che all'aria libera.

175. Con la teoria del raggiar del calore si spiega ancora l'uso antico presso i giardinieri, di riparare le piante delicate dall'azione del freddo per mezzo di stoe; ed il Dott. Wells avverte, che la teoria della rugiada avrebbe indicato questo mezzo, quand'anco non fosse praticato per un lungo uso. Un termometro posto sotto un panno fissato sopra bastoni ad una certa distanza dal terreno, indicava una temperatura 3 o 4 gr. più alta che all'aria libera: in egual modo gli alberi alti difendono le vigne nei rigidi inverni.

176. Al Bengala si forma artificialmente il ghiaccio in notti in cui la temperatura dell'aria è superiore a zero. A questo effetto si fanno certe escavazioni quadrate di 30 piedi di lato, e di due piedi di profondità: se ne copre il fondo con uno strato di canne da zuochero o di fusti di grano d'India; quindi su questo strato si pongono vasi di terra non verniciati, grossi $\frac{1}{2}$ di pollice, profondi 1 pollice e $\frac{1}{2}$, e pieni d'acqua. Essendo questi vasi molto porosi, l'acqua filtra leggermente a traverso delle pareti. In generale è stato osservato, che non si produce molto ghiaccio se non quando l'aria è tranquilla e il cielo sereno. Secondo Williams, l'acqua in queste circostanze gela, quando la temperatura della paglia che circonda i vasi è 2°, e anco 5°,6 sopra lo zero. (1)

177. Falsa dunque era la spiegazione che di questo fenomeno davano Barke, Williams e tutti i Fisici che avean parlato di questo mezzo artificiale di fare il ghiaccio, dacchè la deducevano dal freddo prodotto dall'evaporazione; poichè è ormai provato 1.° che il vento il quale è favorevole all'evaporazione, è contrario a questa formazione di ghiaccio; 2.° che il ghiaccio si forma in gran quantità nelle notti stesse in cui è abbondantissima la rugiada; ed è contraddittorio il supporre che da una parte l'aria si carichi d'umido, e dall'altra lo abbandoni; 3.° che ammettendo l'evaporazione come causa del fenomeno, non può comprendersi in qual modo la lastra di ghiaccio divenga più grossa; 4.° che la congelazione artificiale non accade mai nelle circostanze che non son favorevoli al raggimento, come sotto un cielo oscuro: finalmente, con molte esperienze è stato provato, che il ghiaccio pesava più dell'acqua adoprata.

178. Prima di lasciare questa teoria del calore raggante, citeremo una curiosa esperienza di Wollaston. Supponiamo che un termometro *m*, esposto la sera all'aria libera; sotto un cielo sereno, sia giunto ad una temperatura fissa: se si interponga uno specchio metallico lucidissimo, con la superficie concava voltata verso il cielo, e nel fuoco del quale sia il termometro, cessa subito l'equilibrio (*fig. 122*). Questa esperienza è analoga a quella che abbiamo citata di sopra (n.° 168), relativamente alla riflessione apparente del freddo. Lo specchio

(1) L'acqua infatti ha un potere raggante superiore forse a quello di qualunque altra sostanza nota, il qual potere contribuisce moltissimo al raffreddamento di essa; dall'altra parte quei vegetabili su cui son posati i vasi che la contengono, avendo un debolissimo grado di facoltà conduttrice del calore, impediscono che quello che raggia il terreno venga trasmesso all'acqua. Si noti però, che l'acqua che i Bengalesi vogliono far gelare in questo modo è acqua dolce e bollita, il che influisce sulla rapidità della congelazione.

che intercetta il raggiamento della terra, riflette sul termometro i raggi più freddi delle regioni superiori dell'aria. Nel far questa esperienza si osserva, che la presenza d'una nube allo zenith fa salire qualche volta il termometro molti gradi; ma perchè l'esperienza riesca, bisogna che vi concorrano molte circostanze, che non sempre si trovano riunite; giacchè resterebbe sempre il dubbio, se i corpi inferiori sieno freddissimi sulla loro superficie; se sia invertita la legge di decrescimento di temperatura dell'aria, il che spesso accade; e finalmente se la riflessibilità dello specchio concavo sia imperfetta. Importantissima però è questa esperienza, con la quale restano confermati i resultamenti del Dott. Wells.

Propagazione del calore nell'interno dei corpi. — Legge di questa propagazione — Determinazione della conduttricità interna.

179. Nel capitolo precedente abbiamo considerato la comunicazione del calore per mezzo del raggiamento a distanza: osserviamo ora la comunicazione per mezzo di contatto. I corpi son tanto diversi relativamente alla proprietà di condurre il calore, quanto per le altre proprietà. Prima di parlare delle *conduttricità*, o meglio, delle *conduttricità particolari*, indicheremo la legge generale con la quale si propaga il calore in una sbarra metallica.

Sia questa sbarra esposta con un'estremità all'azione costante d'un fuoco: dividiamola in un gran numero di sezioni trasverse: la sezione più vicina al fuoco riceverà da esso la temperatura, la seconda la riceverà dalla prima, e così di seguito; sicchè se le sezioni son fatte in modo da contenere la pallina d'un termometro, si vedranno i diversi termometri successivamente salire. Se consideriamo tre elementi A, A', A'' contigui, l'intermedio A' riceverà calore da A, più vicino alla sorgente, e ne comunicherà ad A'', quindi secondo la legge indicata (n.º 154), l'elemento A' riceverà dall'elemento A che lo precede, una quantità di calore proporzionata all'eccesso della temperatura di A su quella di A', e perderà una quantità di calore proporzionata all'eccesso della sua propria temperatura su quella di A''.

Da ciò risulta, che se la sbarra non perdesse punto calore, *ciascun termometro salirebbe gradatamente, finchè fosse arrivato alla temperatura del fuoco*; ma in vece, sempre si perde calore e per il raggiamento e per il contatto col mezzo circostante. I termometri salgono necessariamente con minor rapidità, che nel caso di niuna perdita, e non arrivano mai alla temperatura del fuoco,

e restano stazionarii quando la quantità di calore ricevuto da ciascuna sezione, è eguale a quella che questa sezione medesima perde per il raggiamento e per il contatto dell'aria. Allora lo stato termometrico della sbarra è divenuto stazionario, e la temperatura di tutti i termometri va scemando dall'estremità a contatto col fuoco, fino all'altra estremità. *Le temperature formano una serie esponenziale decrescente, se le distanze dal fuoco crescono in progressione aritmetica.* La formola è $y = a^{-x}$, essendo x la distanza d'un termometro dal fuoco, e y l'eccesso della sua temperatura su quella dello spazio circostante. Questa legge fu determinata da Lambert, membro dell'Accademia di Berlino (*pirometria*), e confermata con le esperienze da Rumford e da Biot (a). Riferirò qui un'esperienza tratta dalla mia memoria sulla conduttricità, per far comparire l'evidenza di questa legge (*An. de ch. t. 19.*).

L'esperienza è fatta con una sbarra quadra di rame, di 21^{mm} di lato; i termometri son distanti 10 centimetri; il diametro dei fori nei quali questi son posti è 6^{mm}, e son profondi fino a $\frac{2}{3}$ della grossezza. La sbarra vien riscaldata per mezzo d'un lume inglese che è comodissimo perchè si maneggia facilmente, e non produce gran calore nel luogo dell'osservazione. Un termometro a parte molto sensibile, indica la temperatura dell'aria esterna, la quale bisogna procurare di render costante, perchè più esatta riesca l'esperienza. La durata dell'esperienza è di sei ore incirca; e vi vogliono due o tre ore perchè i termometri abbiano acquistato lo stato stazionario (*fig. 123*).

(a) Bisogna osservare, che l'espressione della legge contiene il solo termine a^{-x} quando la sbarra si suppone infinita. Nel caso generale l'espressione è formata di due esponenziali. La serie decrescente delle temperature non è una serie geometrica, in cui il quoziente di due termini consecutivi resti costante, ma è una serie ricorrente. Se si considerano tre termini consecutivi, e se si divide la somma dei due termini estremi per il termine medio, il quoziente è lo stesso in tutta l'estensione della sbarra.

Resultamenti

Termometri	Temperatura	Eccesso sulla temperatura dell'aria	Quoziente della somma di due eccessi per l'eccesso intermedio
1 ^{m°}	83°,44	66°,36	
2	63,36	46,28	2,14
3	49,70	32,62	2,15
4	41,40	24,32	2,11
5	35,71	18,63	2,17
6	33,26	16,18	

La temperatura dell'aria è 17°,08. La distanza fra due termometri consecutivi essendo 10 centimetri, le loro distanze dalla sorgente del calore sono in progressione aritmetica; gli eccessi delle loro temperature su quella dell'aria formano una serie geometrica, poichè il quoziente di due termini consecutivi è costante, come

si vede nella terza colonna della tavola: $\frac{66,36}{46,28} = 1,4; \frac{46,28}{32,62} =$

$1,4; \frac{32,62}{24,32} = 1,4$, ec. Il quoziente della somma di due eccessi

per l'eccesso medio è egualmente costante, come apparisce dalla

quarta colonna: $\frac{66,36 + 32,62}{46,28} = 2,14; \frac{46,28 + 24,32}{32,62} = 2,15$,

ec. (a).

Se gli eccessi di temperatura fossero molto maggiori, la serie esponenziale sarebbe alterata.

(a) Sieno y, y', y'' gli eccessi di tre termometri consecutivi, $x-h, x, x+h$ le loro distanze dalla sorgente del calore. Supponendo infinita la lunghezza della sbarra, avremmo $y = a^{-(x-h)}, y' = a^{-x}, y'' = a^{-(x+h)}$; e di qui $\frac{y}{y'} = \frac{y'}{y''} = a^h$. Parimente $\frac{y+y''}{y'} = a^h + a^{-h}$;

ed essendo h l'intervallo compreso fra due termometri consecutivi, è chiaro che a^h ed $a^h + a^{-h}$ sono costanti. Per un quarto termometro, avremmo parimente $\frac{y+y'''}{y''} = a^h + a^{-h}$.

Son queste le conseguenze principali della legge della propagazione del calore, in una sbarra prismatica.

180. La propagazione del calore varia secondo le dimensioni dei corpi. E poichè la perdita del calore è proporzionale all'area delle superficie esterne, le temperature si abbassano tanto più, quanto minore è il perimetro del corpo: e se per due sbarre della stessa sostanza, e di grossezza diversa, si cercano le distanze dal fuoco ai due punti nei quali la temperatura è la stessa, si trova che esse sono come le radici quadre delle grossezze. Questa è la ragione per cui possiamo tenere in mano, senza scottarci, un filo metallico ad una distanza d'alcuni pollici dal punto in cui è incandescente. Si consulti su questo proposito la memoria di Fourier, dove è estesamente trattata la teoria della propagazione del calore, e la teoria matematica del calore raggiante.

181. Citerò alcune altre esperienze, eseguite con sbarre eguali in dimensioni a quella di rame, e tutte coperte d'una stessa vernice, perchè avessero tutte la stessa superficie raggiante.

Sbarra di ferro. Temperatura dell'aria 13°,02

Termometri	Temperature	Eccessi, ec.	Quozienti ec.
1 ^{mo}	75°,92	62,90	
2	49,71	36,69	2,34
3	33,64	20,52	2,34
4	25,34	12,32	2,33
5	21,21	8,19	2,31
6	19,63	6,61	

Sbarra di stagno. Temperatura dell'aria 17°,34

Termometro	Temperature	Eccessi ec.	Quoziente ec.
1 ^{mo}	80°,75	63°41	
2	52,51	35,17	2,42
3	38,86	21,52	2,36
4	32,86	15,52	

Sbarra di zinco. Temperatura dell'aria 5°,62

Termometri	Temperature	Eccessi ec.	Quozienti ec.
1 ^{mo}	69°,79	64°,17	
2	43,64	38,02	2,35
3	31,05	25,43	2,20
4	23,55	17,93	

Sbarra di piombo. Temperatura dell' aria 17°,12

Termometri	Temperature	Eccessi ec.	Quozienti ec.
1 ^{mo}	82°,25	65°,13	
2	46,54	29,42	2,72
3	32,05	14,93	2,64
4	27,11	9,99	

182. La serie delle temperature è rappresentata da una serie esponenziale, ma per le sole sostanze che hanno moltissima facoltà conduttrice, e perfettamente omogenee in tutte le loro parti. Così il piombo che è conduttore del calorico cinque volte meno del rame, produce resultamenti molto lontani da quelli che formerebbero una serie geometrica. I quozienti che per il piombo re-

sultano dalle esperienze sono $\frac{65,13}{29,42} = 2,21$; $\frac{29,42}{14,93} = 1,97$;

$$\frac{14,93}{9,99} = 1,49.$$

Per dare un'idea dell'abbassamento di temperatura nelle sbarre formate di sostanze poco conduttrici, riporterò un'esperienza fatta con una sbarra di marmo, paragonandola con un'altra fatta con una sbarra di ferro di dimensioni quasi eguali, avendo questa per lato 26^{mm}, e l'altra 26^{mm}, 45.

RESULTAMENTI

Marmo bianco. Temperatura dell' aria 17°,15

Termometri	Temperature	Eccessi ec.	Quozienti ec.
1 ^{mo}	81°,06	63°,91	
2	23,23	6,08	10,83
3	19,10	1,95	3,87
4	18,62	1,47	

Sbarra di ferro. Temperatura dell' aria 22°,92.

Termometri	Temperature	Eccessi ec.	Quozienti ec.
1 ^{mo}	87°,04	64°,12	
2	57,25	34,71	2,42
3	42,63	19,71	2,40 (a)
4	35,44	12,52	

Gli eccessi delle temperature della sbarra di marmo, non hanno alcun rapporto con una serie geometrica.

183. Cerchiamo ora i poteri conduttori, che possiamo dedurre dalle esperienze precedenti. A tal effetto bisogna conoscere i rapporti che esistono nello stato stazionario fra la conduttività e le dimensioni d'una sbarra, e gli eccessi delle temperature di tre punti equidistanti.

(a) Ecco la formola di cui ci siamo serviti per calcolare le nostre esperienze. Vedemmo (n.º 180) che chiamando z_1, z_2, z_3, z_4 , gli eccessi di temperatura di 4 termometri consecutivi ed equidistanti, avevamo $q = \frac{z_1 + z_2}{z_2} = \frac{z_2 + z_4}{z_3}$. Bisognerà dunque avere 4 termometri consecutivi, per poter paragonare i valori di q che non debbon variare. Dal calcolo si ha il rapporto $\frac{hl}{ks} = \left(\frac{\log x}{\log e} \right)^2 \dots (\Delta)$.

In questa formola h rappresenta la conduttività esterna; l il contorno della sbarra; s l'area d'una sezione della sbarra; e la base dei logaritmi neperiani; k la conduttività interna che appunto si tratta di determinare: x dipende dall'andamento dei termometri posti nella sbarra, e se ne trova il valore con l'equazione $q = x + \frac{1}{x}$.

Volendo soltanto i rapporti di conduttività si prenderanno sbarre di dimensioni eguali, e coperte d'una stessa vernice. In tutte le esperienze restando le stesse k, l, s, e , l'equazione (A) potrà ridursi a

$k = \frac{1}{\log x^2}$. Questa è l'equazione per mezzo della quale abbiamo determinati i citati rapporti di conduttività.

Sostanze	Numeri proporzionali alla facilità conduttrice
Oro	1000
Argento	981,0
Rame	898,2
Ferro	374,3
Zinco	363,0
Stagno	303,9
Piombo	179,6
Marmo	23,6
Porcellana	12,2
Terra dei fornelli	11,4

184. Ingenhouz cercava la conduttricità, coprendo di cera un cilindro di ciascun metallo, ed esponendo successivamente tutti i cilindri ad uno stesso fuoco; e dalla maggior estensione di superficie su cui si fondeva la cera, deduceva i poteri conduttori. Così con l'esperienza trovò *argento, oro, rame e stagno*, quasi egualmente conduttori, *platino, ferro, acciaio, piombo*, molto meno conduttori degli altri.

185. Nè inosservata poteva restar lungo tempo la differenza che passa fra i poteri conduttori dei metalli e delle terre; ma niuno vi avea rivolto il pensiero prima che fossero eseguite le esperienze, delle quali abbiamo di sopra riportati i risultamenti (n.º 183). È da desiderarsi che le nostre sieno confermate con esperienze ulteriori.

186. In generale, *i metalli son buoni conduttori; gli ossidi, le pietre, la porcellana, le terre e il legno sono cattivi conduttori*; anzi il legno è un conduttore talmente imperfetto, che in un'esperienza in cui io voleva paragonare la sua proprietà conduttrice con quella del ferro, *ne ho bruciato ad una delle sue estremità un cilindro grosso quanto la sbarra di rame nominata di sopra, senza poterlo riscaldare neppure alla distanza di pochi pollici*.

Della conduttricità dei fluidi

187. Il modo ordinario di riscaldare i liquidi, non è in ve-
run modo adattato a far giudicare se questi corpi son dotati della facilità conduttrice; e la gran facilità con cui si stabilisce l'uniformità di temperatura, potrebbe forse attribuirsi al trasporto delle molecole. Infatti, le molecole inferiori essendo

riscaldare le prime, divengono più leggiere, e salgono appunto per effetto della lor leggerezza; le molecole della superficie, più fredde e quindi più dense, cadono nel fondo del vaso, dimanierachè, anco supponendo nulla la conduttricità, i moti interni basterebbero per far concepire la facile distribuzione del calore. L'esistenza di queste correnti si dimostra con un'esperienza semplicissima. Si empia d'acqua comune un gran globo; si getti in esso un poco di segatura di legno di querce, si ponga il globo sul fuoco, e si vedranno ben presto le particelle di legno, trasportate dalle correnti, scendere e salire rapidamente. Molti Fisici, e singolarmente Rumford, hanno negata la proprietà conduttrice dei liquidi. Rumford fonda la sua opinione sopra ingegnositissime esperienze. Così ha osservato, che un cilindro di ferro, riscaldato a 100°, veniva immerso nell'acqua e nel mercurio che copriva un pezzo di ghiaccio, senza fonderne la minima porzione; e in generale egli crede che il calore non penetri in un liquido in riposo, quando è riscaldato per la parte superiore.

188. Ma Nicholson insieme con Pictet ha fatto varie esperienze, per le quali si è assicurato, che riscaldando un liquido alla superficie, col soprapporvi un disco metallico caldo, il calore vi penetrava, e faceva salire un termometro posto in fondo del liquido. Il liquido era contenuto in un vaso d'una materia poco conduttrice, per evitare la comunicazione per parte delle pareti. Da queste esperienze risulta, che la penetrazione del calore dall'alto in basso, è stata cinque volte più lenta nell'olio che nel mercurio.

A questa opinione di Rumford, Murrai ha opposto esperienze anco più dirette e più concludenti. Ha posto la pallina d'un termometro in fondo d'un cilindro di cristallo, che ha empito alternativamente d'olio e di mercurio, quindi ha avvicinato un corpo caldo alla superficie del liquido, e il termometro è salito molti gradi nell'una e nell'altra prova. La comunicazione non poteva essere attribuita al vaso, poichè il cristallo doveva assorbirlo e non propagarlo: dall'altra parte le molecole della superficie, più calde e più leggiere, non potevano stabilire una corrente. Bisogna dunque che il calore si sia comunicato al termometro senza il soccorso delle correnti e del vaso. Queste esperienze provano di più, che il mercurio è miglior conduttore dell'olio.

189. Più difficile ancora è il dimostrare la conduttricità dei gas, per la prodigiosa mobilità delle loro molecole. Ciò che sembrerebbe far credere, che la facilità del moto delle molecole contribuisse a dare ai gas la facilità di condurre il calore si è, che quando si intercettano i moti dell'aria per mezzo di corpi leggieri, come piuma, lana, ec., questi divengono cattivi

conduttori. Per questo i guanciali di piuma e le ovatte servono ad impedire la dispersione del calore. Comunque sia, quando le molecole dei gas non sono impedita, trasmettono il calore rapidamente. Così Pictet non ha potuto rilevare un secondo di differenza fra l'elevazione d'un termometro a aria, e l'emanazione del calore da un corpo posto a distanza. È stato ancora osservato, che gli aerostati si dilatano all'improvviso quando spunta il Sole.

Delle densità

190. Vedemmo già (n.º 8) che si chiama gravità quella forza per cui i corpi precipitano verso il centro della Terra, e che l'azione di questa forza si esercita su tutte le parti della materia, in direzioni perpendicolari alla superficie terrestre. Quindi un corpo pesante è una riunione di punti materiali, a i quali sono applicate forze eguali e parallele; e la risultante di tutte queste forze è parallela alla lor direzione comune, ed è il peso del corpo.

Il peso d'un corpo omogeneo è indipendente dalla sua forma, e proporzionale al suo volume. Due corpi della stessa natura e di egual volume, sono eguali in peso; sicchè posti nei piatti d'una bilancia, devono formar l'equilibrio, il che appunto è conforme all'esperienza.

I corpi eterogenei non hanno lo stesso peso sotto lo stesso volume; e noi consideriamo questi corpi, come non composti della stessa quantità di materia sotto volumi eguali.

Un corpo si dice esser più o meno denso, secondo che, sotto egual volume, contiene maggiore o minor numero di molecole materiali, egualmente pesanti. Dunque la *densità* relativa di due corpi, non è altro se non che il rapporto del loro peso sotto uno stesso volume.

191. Il peso d'un corpo varia da un luogo ad un altro (n.º 27); e la bilancia non può far conoscere questa variazione, perchè i pesi di tutti i corpi crescono o scemano nello stesso rapporto. Se P rappresenta il peso d'un corpo, V il suo volume, D la sua densità, g la gravità del luogo ove si considera il peso, sarà $P=VDg$ (1).

Si noti che le lettere P , V , D , g rappresentano numeri astratti: così V è il numero d'unità cubiche che contiene il volume del corpo; D il rapporto numerico della sua densità a quella

(1) E siccome la gravità è costante per tutti i corpi sperimentati nel medesimo luogo, la formola si potrà esprimere con $P=VD$, e quindi la densità D di un corpo sarà sempre $\frac{P}{V}$, cioè uguale al suo peso diviso per il suo volume.

del liquido preso per unità; la gravità g è egualmente riferita alla gravità d' un luogo determinato, preso per unità; e P indica il numero d' unità di pesi, riferiti a questo medesimo luogo.

Le densità dei solidi e dei liquidi si riferiscono all' acqua a $30,92$, che è la temperatura della sua massima densità. L' aria a 0° di temperatura, e a $0^m,76$ di pressione, serve di termine di paragone per i fluidi elastici permanenti o non permanenti; ed è stata preferita l' aria a qualunque altro gas, perchè è della stessa natura in tutti i climi e in tutte le stagioni. Parleremo dunque delle gravità specifiche dei gas, di quelle dei liquidi e dei solidi, degli aerometri, degli aerostati, e della determinazione del massimo grado di densità dell' acqua.

Densità dei Gas

192. Il processo usato per la determinazione della densità dei gas è semplicissimo, e consiste nel pesare un globo di otto o dieci litri di capacità, voto e poi pieno successivamente d' aria e di differenti gas. Il globo deve esser chiuso con un robinetto esattissimo, per conservare il voto. Bisogna operare sopra un volume un poco considerevole, a motivo della leggerezza dei gas, e se la capacità del globo fosse di uno o due litri, gli errori influirebbero troppo sui risultamenti. E siccome non è possibile fare il voto oltre ad un millimetro, dopo l' introduzione dell' aria asciutta o d' un altro gas, sarà bene fare il voto di nuovo, e così è certo che non vi resta punta aria atmosferica.

Operando con aria atmosferica, basta soltanto ben prosciugarla; ma operando con un altro gas, è necessario che esso sia chiuso in campane. Che se il gas è poco solubile, come l' ossigeno, l' idrogeno e l' azoto, si conserva sull' acqua, e meglio sul mercurio; e se è solubile, come l' acido solforoso, l' acido idroclorico, il gas ammoniacale, si raccoglie assolutamente sul mercurio.

La *fig. 124* indica la disposizione dell' apparecchio. M è il globo voto, B la campana che riceve il gas, CD il tubo, che è pieno di cloruro di calcio sul quale passa il gas. Primieramente si introduce questo nella campana, dalla quale per gli aperti robinetti R , R' passa nel globo, e si prosegue poi ad introdurre nuovo gas, finchè il livello rimanga lo stesso tanto nell' interno quanto nell' esterno della campana, affinchè la pressione del gas sia la stessa all' interno e all' esterno.

Sia p il peso del globo voto, P il peso del medesimo pieno d' aria, $P-p$ sarà il peso dell' aria contenuta. Un altro gas peserebbe $P'-p$: e poichè a volumi eguali le densità son proporzio-

nali ai pesi, prendendo la densità dell'aria per unità, avremo la proporzione $1 : d :: P - p : P' - p$, e quindi $d = \frac{P' - p}{P - p}$.

193. Indichiamo ora il mezzo di riportare i risultamenti delle esperienze alla temperatura del ghiaccio che si fonde, ed alla pressione media di $0^m,76$ dell'atmosfera.

L'elevazione di temperatura tende a scemare la densità del gas, e ad accrescere la capacità del globo; quindi la pressione esercita una grande influenza, poichè abbiamo veduto (n.º 109) che i pesi d'uno stesso volume d'un gas qualunque sono proporzionali alle pressioni.

Sia p il peso trovato di un gas, alla temperatura $t = 15^{\circ},5$, e alla pressione $0^m,75 = h$: per la legge della proporzione fra i pesi e le pressioni, avremo $P : X :: h : 0,76$, e quindi $X = \frac{P \times 0,76}{h}$,

che è il peso corretto della pressione. Per correggerlo della temperatura, ricordiamoci che un volume d'un gas a zero essendo 1, diviene $1 + at$ alla temperatura t (essendo $a = 0,00375$); in conseguenza il peso del gas alla temperatura t , deve essere al peso a zero $:: 1 : 1 + at$. Bisogna dunque moltiplicare il peso trovato per $1 + at$; ed $X(1 + at)$ è il peso a zero ed alla pressione di $0^m,76$.

Resta solo da farsi la correzione della variazione del volume del gas, per effetto del cambiamento della temperatura del vaso che lo contiene. L'elevazione della temperatura del vaso lo dilata, e accresce la sua capacità nel rapporto di $1 : 1 + kt$, chiamando k il coefficiente della dilatazione del vetro per un grado. Il peso corretto della temperatura e della pressione sarà dunque

$\frac{P \times 0,76 (1 + at)}{h (1 + kt)}$. Siccome spesso la variazione di temperatura è

ben piccola, e siccome dall'altra parte il vetro è poco dilatabile, la dilatazione del globo può trascurarsi. In questo modo sono state trovate le densità dei gas solubili e degli insolubili.

194. Arago e Biot hanno determinato con grandissima precisione il peso d'un litro d'aria sotto la latitudine di 45° , alla pressione di $0^m,76$, e alla temperatura del ghiaccio che si fonde. La capacità del globo, nelle loro esperienze, era di $5^{lit}, 5814$: il peso dell'aria contenuta a 0° e a $0^m,76$ di pressione era $7,2532$; dal che si ha il peso d'un litro d'aria $1^{\circ}, 2995$, e quindi si deduce $\frac{1}{7,2532}$ per la densità dell'aria riportata a quella dell'acqua presa alla temperatura di zero. Se si paragonano le densità dell'aria e dei gas con quella dell'acqua al massimo grado di den-

sità, verrà un risultamento alquanto diverso. Un centimetro cubico d'acqua stillata a $3^{\circ},92$ pesa un grammo: riducendo un centimetro cubico d'aria a $3^{\circ},92$, abbiamo $0,001283$, dal che si deduce $\frac{1}{77}$ per il rapporto precedente.

Degli Aerostati

195. Il Lana verso la metà del secolo decimo settimo, e il Galieno verso la metà del decimo ottavo idearono alcuni mezzi d'innalzarsi nell'aria; ma questi mezzi che qui sarebbe inutile riportare, fondati su metodi incerti, non furon mai messi in esecuzione. La bella scoperta degli aerostati fu fatta da Mongolfier, che il primo lanciò in aria un pallone ad Annonay nel 1782: il suo globo aveva 36 piedi di diametro, era formato di carta, e pieno d'aria atmosferica, rarefatta per mezzo d'un fornellino posto alla parte inferiore. Pilatre Des-rosiers e Darlandes, furono i primi a lanciarsi nell'aria in un tal globo, mantenendo da se stessi il fuoco del fornello.

Charles riflettendo a tutti i pericoli a cui eran soggette le mongolfiere, pensò di sostituire all'aria dilatata l'idrogene, che è 14 o 15 volte più leggiero di essa. Egli stesso insieme con Robert si elevarono in un globo di 26 piedi di diametro, e percorsero uno spazio di nove leghe prima di scendere. Appena Charles ebbe perfezionati gli aerostati fino al grado a cui sono presentemente, nacque la speranza di farli servire alla pubblica prosperità, e furono adoprati per la guerra (1). Biot e Gay-Lussac secondando il desiderio dell'Istituto di Francia, intrapresero un viaggio aereostatico, con l'idea di cercare la legge di decrescimento delle forze magnetiche del globo, a grandi distanze, e si alzarono fino a 4000 metri. Gay-Lussac solo poi si alzò fino all'altezza di 6636 metri.

Per ben comprendere la teoria degli aerostati, figuriamoci primieramente un volume di gas idrogene contenuto in un recipiente senza peso: questo volume sollecitato dalla gravità tende a scendere; ma dall'altra parte è spinto in alto da una forza eguale al peso del volume d'aria della quale occupa il posto, sottrattone il peso del gas: dunque deve salire, finchè non si trovi in uno strato d'aria d'una densità eguale alla sua. Facilmente si calcola il peso che un globo d'un dato volume può sollevare. Per es., un

(1) In tempo di guerra i Francesi per esplorare il campo nemico si son serviti più volte delle mongolfiere, ritenute però sempre per una corda. L'aeronauta, munito di buon canocchiale, osservava in basso, e per mezzo di biglietti, che faceva scendere lungo la corda che riteneva l'aerostato, comunicava le sue osservazioni. Di questo mezzo si servì con successo il General Jourdan alla battaglia di Fleurus.

globo di 10 metri di diametro, ha un volume di 523,6 metri cubici: un egual volume d'aria alla pressione $0^m,76$ e a zero di temperatura, pesa 680 chilogr, 15; lo stesso volume d'idrogene pesa 46 chil., 23; dunque il globo è capace di sollevare 633 chil., 92, che è la differenza fra il peso dell'aria e quello d'un egual volume di gas; se non che si osserva di non caricar mai l'aerostata di tutto il peso che risulta dal calcolo, affinchè possa liberamente salire. Sulla parte superiore del globo è una valvula, per la quale si fa escire il gas quando si vuole scendere, e se si vuol salire, si getta via una porzione della zavorra che ne accresce il peso.

I soli aerostati a gas idrogene sono in uso al presente. Pilatre Des-rosiers volle combinare gli aerostati a gas idrogene con le mongolfiere; ma pericolosa non poco era una tal combinazione, e Pilatre infatti perì vittima della sua invenzione.

Molti tentativi sono stati fatti per dirigere gli aerostati; ma fin qui non v'è nessuno che abbia ottenuto verun resultamento soddisfacente (1).

(1) Napoleone Luigi Bonaparte fin dall'anno scorso ha mandato ad effetto un suo divisamento relativo alla direzione dell'Aerostato, la quale fu già dichiarata *assolutamente impossibile* dal Prof. Charles, e sperimentata inutilmente o pericolosamente da altri aeronauti. Egli ha imaginato un elice a due o tre spire (Fig. M. Tav. 5), ciascuna delle quali è formata d'un sol pezzo di drappo di seta. Questo elice è raccomandato all'estremità superiore d'una sbarra ad angolo, che ha il braccio orizzontale al di sotto dell'aerostato, e l'altro si eleva ad angolo per situar l'elice in faccia alla parte media di esso: il tutto è raccomandato a corde di seta, le quali sono appendici della gran rete che fascia il pallone stesso. Una corda perpetua è attaccata all'estremità dell'asse della spirale, e per via di rocchetti che le servono di guida, scende per avvolgersi ad una ruota adattata all'estremità del braccio orizzontale. Questa ruota è messa in moto per mezzo d'una manovella dalla mano dell'aeronauta che l'ha comodissima, stando egli nella galleria. Il moto di rotazione della spirale produce un voto continuo nell'aria, e quindi il pallone obbedisce alla maggior forza di pressione atmosferica che lo spinge dall'opposto fianco, e in conseguenza segue sempre la direzione della spirale. Se a questa si imprima un moto di rotazione in senso inverso, l'aria viene spinta da essa contro il vicino fianco del pallone, il quale per effetto di questo opposto impulso retrocede. Ciò è una doppia prova dell'azione efficace dell'elice.

Ma siccome un tal moto è sempre orizzontale e in una direzione costante, per cambiar direzione era necessario un altro apparecchio. Questo consiste in due remi, costruiti ed applicati in un modo molto diverso da quelli usati da altri. Non formati di due rettangoli di taffetà, che girano come una porta sopra due cardini, e sono applicati essi pure, non alla mongolfiera, come altri usarono, ma all'aerostato il quale è il corpo che dee fender l'aria. Il taffetà viene steso tirando una corda, e si avvolge intorno ad un lato del telaio se si rilasci la corda stessa. Queste corde dei remi sono attaccate superiormente ai due bracci d'una leva fermata alla galleria, e quindi comodissima

Densità dei Liquidi

I.° PROCESSO

196. Abbiamo già detto che le densità dei liquidi son riportate a quella dell'acqua. Si trova la densità d'un liquido pesando un matraccio chiuso ermeticamente, pieno successivamente d'aria, d'acqua, e del liquido di cui vogliamo conoscere la densità.

Esempio. Peso del matraccio pieno d'acqua . . . 195,¹ 578
voto d'acqua 128,² 595

Peso dell'acqua 66, 983
Peso dello stesso matraccio pieno d'alcool . . . 181, 515
voto d'alcool 128, 595

Peso dell'alcool 52,920

A motivo della gran differenza che esiste fra la densità dell'aria e quella dei liquidi più leggieri, è inutile fare il voto nel matraccio; e togliendo il peso del matraccio voto da quello del matraccio pieno, si ha il peso del liquido: ma poichè le densità sono proporzionali ai pesi, sotto lo stesso volume, la densità dell'alcool sta a quella dell'acqua, presa per unità: : 52,920 : 66,983, dal che resulta 0,790 densità dell'alcool.

Nel fare questa esperienza bisogna aver cura di tener immerso il matraccio in una medesima massa d'acqua mantenuta ad una temperatura costante: che se la temperatura variesse, bisognerebbe

essa pure per esser messa in azione dal viaggiatore aereo. Quattro soli colpi di remi fanno fare all'aerostato un'intera rivoluzione intorno a se stesso. È chiaro adunque, che mentre per la continua azione orizzontale dell'elice si può dirigere un pallone verso un dato punto, per l'azione dei remi si può deviare a piacere, senza far cessare l'altro moto.

La difficoltà di questo problema sembra dunque sciolta, almeno dentro i modesti limiti in cui l'Inventore lo ha ristretto (*V. Antologia*, 1828. Aprile e Ottobre.) Io stesso sono stato con lui e testimone e compagno in un lungo esperimento di questo genere, ed ho veduti costantemente verificati i surriferiti effetti. Questo esperimento è stato eseguito con un piccolo aerostato di 6 piedi di diametro, empito di gas idrogene: una molla faceva le veci della forza dell'uomo per mettere in moto la spirale. Non manca se non perfezionarne l'esecuzione; e sembra certo che, dentro i prescritti limiti, nell'esperimento in grande non possa incontrarsi veruna nuova difficoltà. Così il traduttore della vita d'Agricola, mentre sta preparando altra opera non poco laboriosa, ma onorevolissima alla storia della nostra Toscana, ha trovato la soluzione d'un problema creduto finora insolubile, e dalla quale possono col tempo risultare non mediocri vantaggi per le scienze fisiche almeno.

riportare i risultamenti ad una stessa temperatura, come si fa per i gas. In questa operazione v'è la sola differenza, che ogni liquido si dilata d'una quantità particolare per ogni grado del termometro, mentre tutti i gas hanno lo stesso coefficiente di dilatazione.

Non importa tener conto della variazione della pressione, perchè questa non ha influenza sensibile sulla densità dei liquidi e dei solidi.

L'esperienza precedente è stata fatta a $15^{\circ},5$. Per avere i risultamenti a zero, basta portare la correzione sui pesi dei liquidi, osservando che i pesi son tanto minori quanto i liquidi son più dilatati; sicchè se la temperatura è rappresentata da t , e i coefficienti della dilatazione dell'alcool e dell'acqua sieno a ed e , i pesi precedenti, ridotti a zero, diverranno $52^s, 920 (1+at)$, e $66^s, 983 (1+et)$. Ordinariamente si paragonano le due densità alla temperatura dei corpi circostanti.

197. Se volessimo tener conto del peso dell'aria contenuta nel matraccio, bisognerebbe conoscere la densità di questo fluido, paragonata con quella dell'acqua. Sia p il peso del matraccio pieno d'aria, e P il peso del medesimo pieno d'acqua: la differenza $P-p$ sarà il peso della quantità d'acqua che esso contiene alla temperatura dell'esperienza, meno quello del volume d'aria che l'acqua ha spostata. Se dunque P è il vero peso dell'acqua contenuta nel matraccio, a il rapporto fra la densità dell'aria e quella dell'acqua, è chiaro che avremo $P-Pa=P'-p$, e di qui $P = \frac{P'-p}{1-a}$, peso dell'acqua che si troverebbe se il matraccio

fosse prima pesato vuoto. Questa osservazione è fatta solamente, per mettere il lettore in grado di valutare l'influenza dell'aria; ma siccome il peso di questo fluido non è che $\frac{1}{800}$ di quello dell'acqua, così questa correzione può trascurarsi.

II.° PROCESSO

198. Il secondo processo è fondato sul noto principio, che un corpo immerso in un fluido, perde del suo peso una quantità uguale al peso del volume del fluido spostato (n.° 44). Questo principio idrostatico, noto sotto il nome di principio d'Archimede, fu scoperto da quel gran geometra, quando, invitato da Gerone Re di Siracusa, cercava la composizione d'una corona d'oro per mezzo delle densità (1).

(1) Ecco il problema coll'opportuna soluzione. Sia p il peso della corona, a, b, c i pesi perduti nell'acqua dall'argento, puro, dall'oro puro e dalla corona, dove si suppone $c \geq b$ e $c < a$, e sieno x, y le quantità

Per mettere in pratica questo principio, si sospende un cubo metallico ad un sottilissimo filo attaccato al piatto d'una bilancia. Lasciando il cubo sospeso nell'aria si forma l'equilibrio con l'altro piatto; quindi si immerge il cubo stesso, sempre attaccato al medesimo filo, successivamente in diversi liquidi; in essi perderà diverse quantità del suo peso, indicate dai pesi che ogni volta bisognerà aggiungere al piatto a cui esso è attaccato, per formar di nuovo l'equilibrio; e i pesi così perduti, equivalgono ai pesi dei volumi dei liquidi spostati: ma questi volumi sono eguali, perchè il corpo immerso è sempre lo stesso, e inoltre si suppone che la temperatura sia invariabile, il che si ottiene situando sempre il vaso in una stessa massa d'acqua, ad una temperatura che è mantenuta costante. E siccome a volumi eguali, le densità son proporzionali ai pesi, abbiamo qui tutti i dati necessari per trovar le densità.

incognite dell'argento e dell'oro mescolate nella corona. Poichè queste due quantità formano il tutto p , sarà $x+y=p$. Ma il peso p della corona d'argento puro, sta al peso della quantità x d'argento mescolato nella corona sospetta, come il peso a perduto da quella nell'acqua, sta al peso X perdutovi dalla quantità d'argento di questa, cioè

$p : x :: a : X = \frac{ax}{p}$: nella stessa maniera si ha per l'oro $p : y :: b : Y = \frac{by}{p}$. Ora queste due porzioni di peso perduto nell'acqua da x, y deb-

bono insieme essere eguali alla porzione c di peso perduto nell'acqua dalla corona sospetta, dunque $\frac{ax}{p} + \frac{by}{p} = c$. Ponendo in questa equazione il valore di $x=p-y$ preso dalla precedente, avremo $y=$

$p \left(\frac{a-c}{a-b} \right)$, quantità d'oro contenuta nella corona; e quindi $x=$

$p \left(\frac{c-b}{a-b} \right)$. Così se $p=10$, e si prendano le gravità specifiche dell'oro

e dell'argento, 19,263, e 10,477 indicate qui appresso dall'A. negli

esempj, sarà $a = \frac{10}{10,477}$, $b = \frac{10}{19,263}$: e la gravità specifica della

corona sospetta di lega, dovendo esser minore di quella dell'oro puro e maggiore di quella dell'argento, sia per esempio 16,666, sicchè $c=$

$\frac{10}{16,666}$. Sostituendo questi valori, si trova la quantità d'oro contenuta

nella corona, $y=8,14$, e la quantità d'argento in lega $x=1,86$.

DENSITÀ' DEI CORPI SOLIDI

Esempio. Un cubo di platino, che nell'aria pesa . 155,252
immerso nell'acqua perde 148,866

Peso del volume d'acqua spostata 6,386
Peso del platino nell'aria 155,252
nell'alcool 149,390

Peso del volume d'alcool spostato 5,862
Peso del platino nell'aria 155,252
nell'etere solforico 149,967

Peso del volume d'etere spostato 5,285
Peso del platino nell'aria 155,252
nell'essenza di terebinto 148,866

Peso del volume d'essenza spostata 6,366

Da ciò si rileva 1,00 ; 0,793 ; 0,715 , 0,861 , densità dell'acqua , dell'alcool , dell'etere solforico e dell'essenza di terebinto.

Quantunque il primo processo sia più in uso, nondimeno ambedue sono egualmente precisi, come si rileva paragonando i due numeri trovati con l'uno e con l'altro per la densità dell'alcool: solamente il primo è più comodo in molte circostanze, e specialmente quando i liquidi son soggetti a deteriorare per il contatto dell'aria atmosferica.

Densità dei Corpi solidi

199. Il secondo processo adoprato per conoscere le densità dei liquidi, può ancora applicarsi ai solidi, al qual fine basterà pesare i diversi corpi nell'aria e nell'acqua; e il peso nell'aria, diviso per la sua perdita nell'acqua, indicherà la densità del corpo relativamente a questo liquido, poichè la perdita nell'acqua è il peso d'un volume di questo fluido eguale a quello del corpo.

Esempio. Peso d'un pezzo di oro nell'aria 78,21
nell'acqua 74,15

Perdita di peso nell'acqua 0,406,
e di qui la densità dell'oro $\frac{78,21}{406} = 19,263$.

Nello stesso modo, e con i dati dell'articolo precedente si troverebbe la densità del platino 21,00.

200. Questo processo, oltre ad esser molto preciso, ha ancora

il vantaggio di potersi usare in grande. Se per esempio si voglia sapere la densità d' un pezzo di ferro fuso, di bronzo, di latta ec., si pesa il corpo nell' aria, quindi si fissa al bacino d' una stabile bilancia, si pesa nell' acqua, e il resto si fa al solito.

201. V' è un altro processo che è in uso più frequentemente. Si pesa una boccia della capacità di uno o due decimetri, piena d' acqua stillata, e chiusa esattamente. Sia P il suo peso, e sia p il peso d' un corpo nell' aria. Se si introduce questo solido nella boccia piena d' acqua, esso escluderà un volume di liquido eguale al suo: quindi se si pesi di nuovo la boccia col corpo introdottovi, e si trovi di peso P' , $P+p-P'$ sarà evidentemente il peso del volume d' acqua esclusa, e quindi $\frac{P}{P+p-P'}$ sarà la densità del corpo solido.

<i>Esempio.</i> Peso della boccia piena d' acqua	183,543
Peso d' un pezzo d' argento nell' aria	22,474
	<hr/>
Totale	206,017

Peso della boccia contenente l' acqua e il corpo . . 203,872

Peso dell' acqua esclusa 2,145

Abbiamo dunque $\frac{22,474}{2,145} = 10,477$ densità dell' argento.

202. Se il corpo è più leggero dell' acqua, se ne trova nondimeno la densità con lo stesso processo. Così se un pezzo di legno pesa 1,253 nell' aria, e immerso nell' acqua ne esclude 1,847, la sua densità sarà $\frac{1,253}{1,847} = 0,678$.

203. Questo processo è utile specialmente per determinare le densità dei corpi in polvere, come sabbia, carbone, ec. Solamente bisogna in tal caso porre sotto la macchina pneumatica la boccia contenente l' acqua e la polvere, per facilitare, facendo il voto, lo sprigionamento dell' aria interposta.

204. Se il corpo che si sperimenta è un sale solubile, o qualche altra sostanza che abbia azione sull' acqua, se ne cerca la densità relativamente ad un altro liquido sul quale essa non abbia azione, e del quale si conosca la densità relativamente a quella dell' acqua.

Degli Areometri

205. Quanto abbiamo detto fin qui basta per trovare le gravità specifiche. Tuttavia non dobbiamo tralasciare di far menzione degli areometri o pesa-liquori, strumenti immaginati per render più pronta l'operazione quando si tratta di liquidi; e ne è continuo e frequentissimo l'uso nel commercio dell'acquavite, degli acidi ec.

206. Gli areometri sono a volume costante o a volume variabile. La costruzione di tali strumenti è fondata su questo principio, che se un corpo immerso in un liquido, vi galleggia in parte, il peso del volume di liquido spostato eguaglia il peso del corpo intero (n.º 44).

L'areometro di Fahrenheit è a volume costante (*fig. 125*): C è un piatto destinato a ricevere i pesi; DC è un'asta lunga quattro o sei pollici, e d'una mezza linea di diametro; DE è un tubo più largo, che può avere uno o due pollici di diametro. Lo strumento termina in fondo con una palla M, che si empie di mercurio o di piombo, affinchè l'areometro sia stabilmente in equilibrio, essendo il centro di gravità nel punto più basso. In ogni esperienza lo strumento è immerso fino al segno *b*; e a tal effetto è composto di materia tanto leggiera, che immerso nel più leggero liquido non vi si immerga oltre a questo segno. Sul piatto superiore si pongono alcuni pesi, che uniti al peso dello strumento, rappresentano quello del volume del liquido spostato da esso; e poichè l'ultimo è costante in ogni esperienza, son noti tutti i dati per trovare la densità che si cerca. Sia *P* il peso dello strumento, e sia necessario il peso *p* perchè esso si immerga nell'acqua fino in *b*: se ora si immerga in un altro liquido, e sia necessario il peso *p'* perchè si fermi allo stesso punto *b*, è chiaro che le densità dei due liquidi saranno fra loro nel rapporto di $P+p : P+p'$, poichè in ogni liquido il peso del volume spostato è eguale a quello dell'areometro, aggiuntovi il peso addizionale, e il volume immerso è sempre lo stesso.

Applicazione

207. Un areometro che pesa 35,252, si immerge nell'acqua fino al segno determinato, con l'aumento d'un peso di 15,251: immerso in un altro liquido, per fermarsi allo stesso punto, ha bisogno di un peso di 25,174; dunque la densità del secondo li-

quido relativamente all'acqua sarà $\frac{60,426}{50,503} = 1,196$.

208. In vece di questo areometro, si usa in oggi quello di Nicholson, il quale ha esteso l'uso di quello Fahrenheit, adattando un piatto all'estremità inferiore del medesimo; e così il suo areometro diviene una bilancia idrostatica, con cui si possono trovare le densità dei corpi solidi, solche si pesino prima nell'aria, ponendoli sul piatto superiore, e poi nell'acqua ponendoli nel piatto inferiore, sul quale inoltre si fissano in qualche maniera, se sono più leggieri dell'acqua. In tutti i casi, il peso del corpo nell'aria, diviso per il peso che perde nell'acqua, indica la sua densità.

209. Con gli areometri a volume variabile e a peso costante, si hanno immediatamente le densità senza bisogno di pesi, ma bisogna graduarli. La forma dello strumento è quasi la stessa di quella dell'areometro di Fahrenheit, con l'asta soltanto meno sottile, cioè di 2 o 3 linee di diametro, e tutto lo strumento è di vetro (*fig. 126*). Supponiamo che immerso nell'acqua pura si fermi in D, e in un liquido di densità doppia si fermi in B: il volume dell'asta BD sarà evidentemente metà del volume totale DBC. Se l'asta è cilindrica, dividendola in dieci parti eguali, ognuna sarà la decima parte del volume BC; ma poichè il peso di tutto l'areometro è costante, le densità di diversi liquidi saranno in ragione inversa dei volumi immersi. Se il volume nell'acqua è 20, le densità corrispondenti alle divisioni 10, 11, 12, 13, ec. saranno

$\frac{20}{10}, \frac{20}{11}, \frac{20}{12}, \frac{20}{13}$, ec.; e dall'areometro così graduato si avran-

no immediatamente le densità dei liquidi più pesi dell'acqua.

Se si vuol trovare con lo stesso mezzo la densità d'un liquido più leggero, si dispongono le cose in maniera, che nell'acqua stillata quasi tutta l'asta sia fuori del liquido (*fig. 127*): A è il punto ove si ferma l'areometro immerso nell'acqua stillata, B è quello ove si ferma immerso in un liquido la metà meno denso dell'acqua.

L'asta AB, il volume della quale è eguale a quello della parte AC, è divisa in parti eguali: accanto ad ogni divisione si scrivano le densità corrispondenti, cominciando da B; e saran-

no successivamente $\frac{10}{20}, \frac{11}{20}, \frac{12}{20} \dots \frac{20}{20}$.

210. Per render più semplice la graduazione, abbiamo prese le densità in un rapporto doppio; ma anco per qualunque altro rapporto, le graduazioni si farebbero nello stesso modo.

Ma con questa graduazione si suppone il diametro eguale in tutta la lunghezza dell'asta, il che peraltro non può aversi in generale. Ecco dunque un altro processo indipendente da questa supposizione.

Supponiamo che l' areometro nell' acqua stillata si fermi in A (*fig. 128*), e si voglia graduare secondo le diverse densità. Ciò riescirebbe semplicissimo per mezzo di liquidi di densità diverse, perchè si immergerebbe in quelli lo strumento, notando sull' asta la densità del liquido ad ogni immersione: ma per operar così, vi bisognerebbe un gran numero di liquidi: dunque basta avere acqua pura, alcuni pesi ed una bilancia per graduare un areometro con molta esattezza. Infatti supponiamo che l' areometro immerso in un liquido d' una densità maggiore di quella dell' acqua stillata si fermi in B, il che può sempre ottenersi, essendo in nostra facoltà alleggerire l' areometro in modo, da farlo fermare nello stesso punto B. Sia p il peso primitivo dello strumento quando si ferma in B nel liquido che ha la densità d ; sia x il peso di cui bisogna alleggerire l' areometro, perchè nell' acqua si fermi nello stesso punto B. Nei due liquidi il volume spostato è lo stesso; dunque le densità di questi liquidi sono fra loro come il peso dello strumento; e quindi avremo la proporzione

$$p - x : p :: d : d = \frac{p}{p - x}. \text{ Se diamo un valore a } d, \text{ e ne de-}$$

duciamo x , avremo il peso che dovrà togliersi dall' areometro, affinchè immerso nell' acqua pura, si fermi allo stesso punto a cui si fermerebbe, se con tutto il suo peso fosse immerso nel liquido di densità d . Dando a d diversi valori, da 2 fino a 1 avremo tutti i punti dell' asta corrispondenti a queste densità, e così lo strumento sarà graduato. Bisognerà poi rendere all' areometro il suo peso primitivo, e chiuderlo alla lucerna, rendendolo così adattato a indicare tutte le densità da 1 fino a 2.

L' areometro così graduato servirebbe a indicare le densità dei liquidi più pesi dell' acqua. Che se ne volessimo uno per i liquidi più leggieri, non dovremmo che seguire lo stesso andamento nella graduazione. Sia CD (*fig. 129*) un areometro, che nell' acqua pura si fermi in D; immerso in un liquido meno denso, si fermerà in C. Se si accresca il peso dello strumento, esso potrà affondarsi parimente fino in C nell' acqua stillata. Se x è il peso addizionale, e p il peso primitivo dello strumento, avremo la proporzione

$$d : 1 :: p : p + x, \text{ e quindi } d = \frac{p}{p + x}. \text{ Dando succes-}$$

sivamente a d i valori 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5; avremo i pesi da aggiungersi al peso p dallo strumento; quindi lo immergeremo nell' acqua pura, e noteremo sull' asta le densità 0,9; 0,8. . . 0,5, e il resto si compirà come abbiamo indicato di sopra.

211. Gli areometri più comuni in commercio son quelli di

Beaumé. Per graduare questi strumenti, si immergono successivamente in acqua pura e in una mescolanza di 85 parti d'acqua e 15 di sale. Si divide l'intervallo in 15 parti eguali, e quindi si prolunga la scala al di sopra e al di sotto. Su questo areometro l'acido nitrico va fino a 45°, e l'acido solforico fino a 66°. L'areometro graduato in tal modo, serve per i liquidi più pesi dell'acqua, ed è conosciuto sotto il nome di *pesa-sali* o *pesa-acidi*. Per i liquidi più leggieri dell'acqua, si immerge successivamente lo strumento nell'acqua pura, e in una dissoluzione di 90 parti d'acqua e 10 di sale: si divide l'intervallo in 10 parti eguali, e si prolunga la divisione al di sopra. L'alcool di commercio indica 35°, l'alcool puro fra 44° e 45°, l'etere solforico 70°, ec. Ecco il modo di graduarlo, perchè indichi immediatamente le densità.

Supponiamo che lo strumento (*fig. 130*) si immerga fino in A nell'acqua pura, e fino in B in un altro liquido: supponiamo inoltre che l'intervallo AB comprenda m divisioni, ciascuna delle quali corrisponda a $\frac{1}{100}$ di variazione di densità. Sia V il volume CA, e V' il volume CB: questi due volumi avendo lo stesso peso, cioè quello dello strumento, sono in ragione inversa delle densità dei liquidi. Se dunque la densità dell'acqua è 1, avremo

$$V : V' :: 1 - \frac{m}{100} : 1, \text{ e di qui } V' = \frac{100V}{100-m}$$

$$\text{e } V' - V = AB = \frac{mV}{100-m}$$

Facendo successivamente $m = 1, 2, 3, \text{ ec.}$, avremo

$\frac{1V}{99}, \frac{2V}{98}, \frac{3V}{97}$ per le porzioni dell'asta corrispondenti alle densità $1 - \frac{1}{100}, 1 - \frac{2}{100}, \text{ ec.}$: dunque non resta che segnare sull'asta le divisioni corrispondenti ai volumi $\frac{1V}{99}, \frac{2V}{98}, \frac{3V}{97}, \dots$

A tal effetto basta costruire un triangolo equilatero (*fig. 131*) sopra una linea mn , divisa prima in parti proporzionali a $\frac{1}{99}, \frac{2}{98}, \frac{3}{97}$; e prendendo $pK = AD$, KF parallela ad mn sarà divisa in parti proporzionali a quelle di mn ; sicchè ponendo l'asta dell'areometro sopra la linea KF , essa resterà divisa come si desidera. Lo stesso si praticherebbe per un altro areometro.

Con un areometro costruito in tal modo, si hanno le densità dei liquidi più leggieri dell'acqua. Ma esso diverrà opportuno ancora per trovare le densità di liquidi più pesi, se si prolunghi la

divisione dell'asta al di sotto di A, in modo che, cominciando da questo punto, le parti sieno $\frac{1V}{101}, \frac{2V}{102}, \frac{3V}{103}$, ec.

Infatti, sia V' il volume dell' areometro immerso in un liquido di densità $1 + \frac{m}{100}$; avremo

$$V : V' :: 1 + \frac{m}{100} : 1; \text{ e quindi } V - V' = \frac{Vm}{100 + m}, \text{ e in con-}$$

seguenza, facendo successivamente $m = 1, = 2, = 3$, avremo la progressione indicata di sopra.

Del massimo grado di densità dell' acqua

212. In generale la densità d'un corpo è tanto maggiore, quanto meno alta è la sua temperatura. L' acqua però non segue questa legge generale, e apparisce nel massimo grado di densità ad una temperatura di $+4^{\circ}$. Partendo da questo punto, la densità è tanto minore, quanto la temperatura è più bassa. In varii modi si dimostra l' esistenza di questo massimo grado.

Hope, Fisico inglese, dispone in un cilindro due termometri, uno nella parte inferiore, l' altro vicino all' apertura: empie questo cilindro d' acqua alla temperatura del ghiaccio, quindi lo pone in una stanza dove la temperatura è a 15° : il termometro inferiore sale subito $3^{\circ},33$, e quello vicino all' apertura, comincia esso pure a salire, finchè non arrivi a $3^{\circ},33$: l' inferiore è rimasto stazionario a $3^{\circ},33$, e dopo la sua elevazione a $3^{\circ},33$ è restato sempre ad una temperatura più bassa del superiore. Da questa esperienza evidentemente risulta, che l' acqua da 0° a $3^{\circ},33$ cresce in densità, mentre dopo questo punto, essa divien tanto più leggiera quanto è più riscaldata.

In altre esperienze egli ha ottenuto questo massimo grado a $3^{\circ},88$; dal che conclude, che il massimo grado di densità è fra $3^{\circ},33$, e $3^{\circ},88$.

Trales, dotto Svizzero, pone il massimo punto a $4^{\circ},35$. Gilpins e Blagden, pesando l' acqua a diverse temperature, trovano il suo massimo grado di densità a $3^{\circ},88$.

Lefevre Gineau, cercando quanto perde di peso un cubo metallico, immerso successivamente in acqua a diverse temperature, ha trovato che la maggior perdita era alla temperatura di $4^{\circ},44$.

Da tutte queste esperienze si conclude, che il massimo grado di densità dell' acqua è circa a 4° .

Tom. I.

Il grammo è il peso d' un centimetro cubico d' acqua pura , presa alla temperatura del massimo grado di densità.

Spesso occorre di dover conoscere la dilatazione dell' acqua ; quindi crediamo utile il presentare una tavola di questa dilatazione da -12° a $+100$, quale la troviamo nel 1.^o vol. degli *An. ch.*, e quale i dotti redattori l'hanno estratta dal t. 2.^o *Natural Philosophy* di Young.

Tavola della dilatazione dell' acqua

La lettera D significa Dalton ; G Gilpins ; K Kirwan

Gradi del termometro centesimale	Dilatazioni osservate	Gradi del termometro centesimale	Dilatazioni osservate
— 12°. . . .	0,00185 D	+ 22°. . . .	0,00218 G
— 1	0,00019 G	+ 23	0,00243 G
0	0,00012 G	+ 24	0,00268 G
+ 1	0 00006 G	+ 25	0,00292 G
+ 2	0,00003 G	+ 26	0,00318 G
+ 3 89 <i>mass.</i>	0,00000 G	+ 27	0,00346 G
+ 5	0 00001 G	+ 28	0,00374 G
+ 6	0,00003 G	+ 29	0,00402 G
+ 7	0,00007 G	+ 30	0,00420 G
+ 8	0,00013 G	+ 35	0,00598 G
+ 9	0,00020 G	+ 40	0,00809 K
+ 10	0,00027 G	+ 45	0,01012 K
+ 11	0,00037 G	+ 50	0,01258 K
+ 12	0,00047 G	+ 55	0,01517 K
+ 13	0,00059 G	+ 60	0,01776 K
+ 14	0,00072 G	+ 65	0,02060 K
+ 15	0,00086 G	+ 70	0,02352 K
+ 16	0,00103 G	+ 75	0 02661 K
+ 17	0,00120 G	+ 80	0,02983 K
+ 18	0,00137 G	+ 85	0,03319 K
+ 19	0,00157 G	+ 90	0,03683 K
+ 20	0,00176 G	+ 95	0,04043 K
+ 21	0,00198 G	+ 100	0,04333 K

Per mezzo della cognizione del massimo grado di densità , si spiega perchè il fondo di tutti i grandi laghi , alimentati dalle acque che provengono dalla fusione delle nevi , si mantiene costantemente alla temperatura di circa 4° , poichè a questa temperatura l' acqua essendo pesantissima , cade nel fondo.

Egualemente si comprende la formazione di quei pozzi cilindrici che si trovano in mezzo alle ghiacciaie.

213. A questo proposito, è opportuno il parlare del modo di determinare la capacità dei vasi. I teoremi di geometria non bastano, ove si tratta di forme irregolari, e però bisogna ricorrere ai pesi. In due modi può trovarsi la capacità d'un vaso, cioè pesandolo vuoto d'aria e pieno d'acqua, e successivamente pieno d'aria e pieno d'acqua. Nel primo caso, il numero dei grammi, fatta l'opportuna correzione per la temperatura, esprimerà il numero di centimetri cubici che rappresenta la capacità del vaso: nel secondo, bisogna aggiungervi il peso dell'aria del vaso, poichè questo peso è stato tolto da quello del vaso pieno d'acqua. Citiamo minutamente un'esperienza per questo ultimo caso.

Esempio. L'esperienza è fatta a 20° ,₁.

Peso del vaso pieno d'aria.	542 ^s ,417
pieno d'acqua.	6100 ^s ,559

Differenza. 5567⁶,142

Peso dell'aria contenuta. 65,650

Acqua contenuta nel vaso. 5573⁶,792

Se l'esperienza fosse fatta alla temperatura del massimo grado di densità dell'acqua, questo numero di grammi rappresenterebbe un egual numero di centimetri cubici, e la capacità del vaso sarebbe 5^{litri},574; ma poichè l'acqua è dilatata dall'elevazione di temperatura, questo numero di grammi rappresenta una capacità maggiore. E da quanto abbiamo detto sulle dilatazioni, è chiaro, che il numero di grammi 5573,792, deve esser moltiplicato per $1 + E(20,1 - 3,42)$, essendo E il coefficiente della dilatazione assoluta dell'acqua, riferito alla temperatura 3°,42, e che è eguale a 0,000466. Così avremmo 5^{litri},617, capacità del vaso a 20°,1.

Se ora si cerchi la stessa capacità a $3^{\circ}/_2$, bisogna tener conto della dilatazione del vaso. Sappiamo che esso si è dilatato nel rapporto di $1 + V. 3,42 : 1 + V. 20,1$. Ma siccome V è il coefficiente della dilatazione del vetro, eguale a $\frac{1}{33.000}$, per correggere l'effetto della dilatazione, bisogna moltiplicarlo per questo rapporto; e con ciò si ottiene $5^{litri}_{,615}$

214. Non abbiamo considerato l'influenza dell'aria esterna sui pesi, perchè in generale essa è piccolissima e anco nulla il più delle volte: così quando pesiamo un globo pieno d'aria, e poi vuoto, la differenza è sempre il peso dell'aria contenuta in esso.

poichè ciò che esso perde, sempre eguale al peso del volume d'aria spostata, è lo stesso e quando è pieno e quando è voto, come si deduce dal solito principio d'Archimede (n.º 44).

Indichiamo ora il modo di valutare ciò che un corpo perde nell'aria. Sia P il peso del corpo, V il volume; la perdita sarà eguale al peso del volume del fluido spostato. Se si faccia l'esperienza alla pressione di $0^m,76$ e alla temperatura del ghiaccio che si fonde, il peso del volume V sarebbe in grammi $V \times 1^s,299$, poichè un litro d'aria in queste circostanze pesa $1^s,299$. A una diversa pressione H e ad una temperatura diversa t , la perdita

diverrebbe $\frac{V \times 1^s,299}{(1 + at)} \times \frac{H}{0,76}$, essendo a il coefficiente della di-

latazione dei gas; poichè abbiamo veduto che il peso d'un dato volume d'aria è in ragion diretta della pressione e in ragione inversa della dilatazione.

215. All'articolo delle densità dei gas, abbiamo sempre ragionato nella supposizione d'un gas privo di umido; ma anco non avendo a nostra disposizione che un gas umido, possiamo trovare la densità d'un gas asciutto; la qual ricerca riesce facile servendoci dei dati che abbiamo sui gas e sui vapori.

Per rendere più semplice il problema, ordinariamente si suppongono i gas perfettamente saturati di vapor d'acqua; e allora basta ricordarsi che la densità del vapore, a temperatura e a pressione eguale, è $\frac{1}{16}$ di quella dell'aria; e inoltre, che uno spazio determinato, voto o pieno di qualunque gas, ammette, ad una data temperatura, la stessa quantità di vapore (a).

(a) Sia P il peso d'un volume di gas umido alla pressione H e alla temperatura t ; si cerca il peso dello stesso volume di gas asciutto alla pressione $0^m,76$ e alla temperatura del ghiaccio che si fonde. Sia P' questo peso, sia f la forza elastica del vapore contenuto nel gas

umido: il peso P' diverrà $\frac{P' (H-f)}{0,76}$ alla pressione $H-f$. Per ridurlo

alla temperatura t , bisognerà dividerlo per $1+at$ (n.º 63); quindi

alla temperatura t e alla pressione $H-f$ sarà $\frac{P' (H-f)}{(1+at) 0,76}$. A que-

sto peso deve aggiungersi il peso del vapore contenuto nel gas umido; il qual vapore occupa tutto lo spazio occupato dall'aria nel gas asciutto: la sua forza elastica è f , la sua densità è $\frac{5}{8}$. La sua temperatura

è t ; dunque il suo peso sarà $\frac{5 \times P' \times f}{8 (1+at) 0,76}$; e aggiungendo questa

quantità al peso dell'aria asciutta, avremo $\frac{P' (H-\frac{5}{8} f)}{(1+at) 0,76}$. Stabilendo

Da ciò risulta, che dal conoscere il peso d' un dato volume d' un gas umido, si può sempre dedurre il peso d' un egual volume di questo medesimo gas asciutto, alla pressione $0^m,76$, e alla temperatura del ghiaccio che si fonde. Dunque per determinare le densità di due gas, è indifferente il pesarli o asciutti o umidi; tuttavia, per evitare i calcoli, si sogliono prosciugare i gas prima di pesarli.

un' equazione di condizione fra P e questa espressione, avremo soltanto P' d' incognita, della quale si dedurrà il valore dall' equazione suddetta.

Tavola delle densità dei corpi solidi e dei liquidi

Le lettere Kl. significano Klaproth; Br.; Brisson; B. e A., Biot e Arago; W., Wollaston; Be., Bergmann; St., Stomeyer; Ha., Hatchet; Hi.; Hielm; Mu.; Muschenbroeck; G. e T., Gay-Lussac e Thenard; Du., Dulong; Lo., Lowitz; G. e N., Gauchois e Biot; G., Gay-Lussac; T., Thenard, A. e G., Arago e Gay-Lussac.

Platino	{ 20,722 Kl. 20,980 Br.	Vetro comune	
Oro	19,258 Br.	verde	2,5 — 2,6
Mercurio	13,586 B. e A.	Vetro bianco	2,4 — 2,5
Piombo	11,352 W.	Cristallo inglese	3,529 Br.
Palladio	{ 11,5 battuto W. 11,8 lam.	Cristallo francese	3,20 G. e B.
Manganese	{ 6,85 Be. 8,446	Vetro com. franc.	2,487 G. e B.
Nikel	{ 8,324 rincotto 8,602	Ossido di ferro o	
Cobalto	{ 10,474 Br. 10,784 Kl.	ferro ossidulato	5,00
Argento	{ 9,822 Br. 9,070	Solfuro di ferro	
Bismuto	{ 8,604 St. 8,895 Ha.	(persolfuro)	4,0 — 4,8
Cadmio	8,395 Br.	Salpistra	1,900 Mu.
Rame	8,308 Be.	Sal comune	1,918 <i>id.</i>
Ottone	7,788 Br.	Sal ammoniaco	1,420 <i>id.</i>
Arsenico	7,400 Hi.	Solfato di calce	2,31
Ferro	7,767 Mu.	Carbonato di calce	2,70
Molibdèno	7,291 Br.	Ambra gialla	1,065 Mu.
Acciaio	7,166	Solfo	1,80 <i>id.</i>
Stagno	0,865 G. e T.	Cera	0,95 — 0,96
Zinco	0,972 G. e T.	Alcool (rettificato)	0,792 Lo.
Potassio	da 2,25 a 2,32	Etere solforico	0,715
Sodio	4,3 — 4,4	Olio d'oliva	0,915 Mu.
Marmo	1,8 — 2,0	Olio di terebinto	0,792 <i>id.</i>
Spatto pesante	2,653 Br.	Acido nitrico	{ 1,510 G. 1,513 T.
Terra gres	2,58 — 2,67	Acido nitroso	1,461 Du.
Cristallo di monte	2,44 — 2,60	Acido solforico	1,842
Pietra da fucile	0,914 Br.	Querce (fresca)	0,93 Mu.
Spatto fusibile	2,11 — 2,56	(vecchia)	1,67 <i>id.</i>
Pietra		Abete	0,55 <i>id.</i>
Gres		Sughero	0,24 <i>id.</i>
		Acqua (pura)	1,000
		Ghiaccio	0,916 Mu.

Tavola delle densità dei gas e dei vapori

Le lettere B. e A. significano Biot e Arago; B'. e D., Berzelius e Dulong; B'', Berard; C., Colin; C. e R. Colin e Robiquet. C.', Cruikshanks; G., Gay-Lussac; G. e T., Gay-Lussac e Thenard; H-D. Humphry Davy; J-D., John Davy; T., Thenard; T'. Tompson; T'', Tromsdorff.

NOMI DEI FLUIDI ELASTICI	DENSITA' deter- minata dall' espe- rienza	NOMI degli osser- vatori	DENSITA' calco- late	PESO d' 1 litro di gas trovato con l' espe- rienza a 0° e a 0 ^m 76 di pres- sione	PESO d' 1 litro di gas trovato col calcolo a 0° e a 0 ^m 76 di pres- sione
				grammi	
Aria	1,0000	. . . .	. . . .	1,2991	
Ossigene	1,1036	B. e A.	. . . .	1,4337	
Idem	1,1026	B'. e D.	. . . .	1,4323	
Gas azoto	0,9691	B. e A.	. . . .	1,2590	
Idem	0,9757	B'. e D.	. . . .	1,2675	
Gas idrogeno	0,0688	B'. e D.	. . . .	0,0894	
Cloro	2,4216	G. e T.	2,4260	3,2088	3,1516
Gas idriodico	4,4288	G. . . .	4,3599	5,7719	
— fluorico siliceo . .	3,5735	J-D. . .	. . . .	4,6423	
— clorossi-carbonico .	. . . .	. . . .	3,3990	. . . .	4,4156
Dentossido di cloro .	. . . .	. . . .	2,3155	. . . .	3,0081
Gas fluoborico	2,3709	J-D. . .	. . . .	3,0800	
— solforoso	2,1930	H-D. . .	. . . .	2,8489	
— solforoso	2,234	T. . . .	. . . .	. . . .
Cianogene	1,8064	G. . . .	1,8197	2,3467	2,3640
Protossido d' azoto . .	1,5269	G. . . .	1,5269	1,9752	1,9836
Acido carbonico . . .	1,5196	B. e A.	. . . .	1,9741	
Idem	1,5245	B' e D.	. . . .	1,9805	
Gas idroclorico . . .	1,2474	B. e A.	1,2474	1,6205	
— idrosolforico . . .	1,1912	G. e T.	. . . .	1,5475	1,6205
Dentossido d' azoto .	1,0388	B''. . .	1,0390	1,3495	1,3498
Iidrogeno bicarbonato .	. . . .	. . . .	0,9816	. . . .	1,2752
Ossido di carbonio . .	0,9569	C'. . . .	0,9732	1,2431	1,2643
Iidrogeno perfosforato .	0,9022	T'. . . .	. . . .	. . . .
Iidrogeno protofosforato.	0,0870	H-D. . .	. . . .	. . . .
Idem	0,9716	T'. . . .	. . . .	. . . .
Gas ammoniacale . . .	0,5967	B' e A.	0,5910	0,7752	0,7678
Iidrogeno protocarbonato	. . . .	. . . .	0,5596	. . . .	0,7270
Iidrogeno arsenicato . .	0,529	T'. . . .	. . . .	. . . .
Idem	0,5552	H-D. . .	. . . .	. . . .

Le densità della quarta colonna sono state calcolate, aggiungendo il peso degli elementi dei gas composti. Così un volume d'ossido di cloro è formato d'un volume d'ossigeno e d'un mezzo volume di cloro. Bisogna dunque unire il peso d'un volume d'ossigeno 1,102, a quello d' $\frac{1}{2}$ volume di cloro 1,211, e risulta 2,314 densità del gas. Il gas ammoniacale è formato d'una parte e mezzo d'idrogeno e d'una mezza parte d'azoto. Il peso d'una parte e mezzo d'idrogeno è eguale a 0,102; quello di una mezza parte d'azoto è uguale a 0,487; la somma di questi due numeri è 0,589, pochissimo diverso da 0,596 trovato direttamente. Nella stessa maniera si troverebbero le densità degli altri gas composti (n.° 104).

DELL' ATMOSFERA

216. L'aria atmosferica è un composto d'ossigeno e d'azoto, nel rapporto di 21 a 79: Essa nel suo stato naturale contiene sempre una maggiore o minor quantità di vapore acquoso del quale, nell'articolo dell'Igrometria, abbiamo imparato a conoscere la presenza e anco la quantità: contiene inoltre una piccolissima quantità d'acido carbonico, che proviene dalla respirazione degli animali e da varie altre sorgenti. Nell'articolo della Meteorologia torneremo su questo argomento.

Le proprietà fisiche dell'aria atmosferica, son quelle di tutti i gas permanenti. Questo fluido esercita una pressione per ogni verso; e inoltre, in virtù dell'elasticità, proprietà inerente nella natura dei gas, esercita una maggiore o minor pressione sulle pareti de' vasi che la contengono.

217. Il principio d'eguaglianza di pressione in tutti i gas, si verifica per mezzo d'un apparecchio assai semplice. (*fig. 132*). Questo consiste in un cilindro voto $Mnpq$, nelle pareti del quale son preparati a diverse altezze alcuni fori r, r', r'', r''' : a questi fori sono fissati altrettanti tubi curvati in forma di sifoni; e ognuno di questi contiene un liquido, che naturalmente si livella in ambedue i bracci. Il cilindro è chiuso nella parte superiore, e aperto nell'inferiore; si immerge in un vaso pieno d'acqua, e a misura che vi si immerge, si vede il liquido salire in tutti i tubi. Affinchè questo cilindro penetri nel liquido, bisogna necessariamente esercitare sulla sua parte superiore una certa pressione; l'aria interna in quest'operazione si trova compressa, e trasmette la compressione egualmente in tutti i punti della sua massa.

218. Ottone di Guerrick provò la pressione dell'atmosfera in un modo singolare. Ecco in che consiste l'esperienza. Si prendono due emisferi concavi (*fig. 133*), si uniscono, e fra i loro labbri o orli si pone un cerchio di cuoio umido, perchè l'adesione sia

più esatta; quindi si fa il voto, premendo alquanto in principio l'emisfero superiore. Fatto il voto, chiuso il robinetto che mette gli emisferi in comunicazione con la macchina pneumatica, e levatili dal piatto della medesima, è necessario uno sforzo grandissimo per separarli. Questo effetto non può attribuirsi che alla pressione atmosferica, poichè se si apre il robinetto, l'aria rientra, e i due emisferi si separano con la massima facilità.

219. In una massa d'aria o di qualunque altro fluido elastico in equilibrio, la forza elastica in ciascun punto è eguale alla pressione. Infatti sia ABCD (*fig. 134*) un vaso aperto dalla parte inferiore AB, e chiuso in DC per mezzo d'una vescica bagnata: se si chiuda la parte AB, la vescica resterà sempre tesa, il che prova, che l'elasticità dell'aria interna è eguale alla pressione esterna. Se riaperto il fondo si ponga il vaso sopra la macchina pneumatica, e si faccia il voto, dopo i primi colpi dello stantuffo l'elasticità dell'aria essendo scemata, non potrà più fare equilibrio alla pressione atmosferica, e quindi la vescica cederà, e anco si romperà, se si prosegue a fare il voto.

220. La pressione dell'atmosfera è la stessa per ogni senso; la pressione che opera dall'alto in basso sostiene il mercurio nel barometro. Si tolga dal pozzetto il tubo barometrico, tenendo sempre chiusa con un dito la sua estremità aperta: e lasciandovi la stessa quantità di mercurio si rovesci, e si adatti all'apertura una superficie che vi aderisca esattamente; quindi se si rovesci di nuovo, si vedrà che il mercurio resta alla medesima altezza. Qui il mercurio non è sostenuto che dalla pressione dell'atmosfera esercitata dal basso in alto: dunque la pressione atmosferica si esercita dall'alto in basso e dal basso in alto con eguale energia. Paragoniamo finalmente la pressione laterale con la verticale. Sia AB (*fig. 135*) un vaso pieno d'acqua, al quale sieno adattati due tubi orizzontali N e V; inoltre si introduca a incastro nel collo O del fiasco un tubo aperto ad ambedue le estremità. Questo tubo è destinato a trasmettere la pressione atmosferica, e si empie esso pure di liquido. Se si apre il canale superiore N, l'acqua sgorga, e lo sgorgo continua, finchè il livello dell'acqua nell'interno del tubo sia all'altezza dell'orifizio N. Allora poichè cessa lo sgorgo, bisogna che vi sia equilibrio fra la pressione atmosferica che si esercita lateralmente in N, e quella che si esercita verticalmente per il tubo O. Da questa esperienza e dalle precedenti resta dunque dimostrato, che la pressione atmosferica agisce in tutti i sensi con la stessa energia.

Gassometri

221. La molte ricerche fisiche è necessario fare escir da un recipiente l'aria o qualunque altro gas con una velocità costante. L'apparecchio immaginato a questo fine, si chiama gassometro a livello costante.

Per ben comprendere il meccanismo di questo importante apparecchio, supporremo che nell'esperienza del n.º 220 si apra il canale V posto al di sotto dell'apertura inferiore del tubo OH: in tal caso si vedrà l'aria entrare per l'estremità H di questo tubo, e l'acqua escire per il canale V con una velocità costante: il peso della colonna d'acqua HI, più il peso dell'atmosfera, forza l'aria in V, e l'acqua sgorga in virtù della differenza di livello HI, alla quale è proporzionale, sicchè la sua velocità è costante, finchè l'acqua resta al di sopra del punto H.

Sia ora A (*fig.* 136) un vaso pieno d'aria, e si voglia escludere quest'aria a porzioni eguali in tempi eguali. Si ponga sopra questo un altro vaso B pieno d'acqua. Per mezzo di un tubo che ha voltato in alto l'orifizio inferiore Q, si stabilisce la comunicazione fra il serbatoio dell'acqua e il vaso pieno d'aria. Al vaso superiore si adatta un tubo OH, immerso in esso fino ad una certa profondità H, e si tien chiusa l'apertura V, che serve per empir di liquido il vaso. È chiaro, che aprendo il robinetto R, il liquido caderà nel vaso A con una velocità costante, poichè il tubo di comunicazione essendo necessariamente pieno d'acqua in tutta l'esperienza, e dall'altra parte la pressione atmosferica esercitandosi egualmente in H e in Q, la sola altezza HQ obbliga il liquido a cadere; e finchè l'estremità H del tubo OH resterà immersa nell'acqua, il gas escirà per un robinetto R' con una velocità costante. Se la capacità della parte HV è assai grande, si potrà escludere dal vaso A tutto il gas; e se è troppo piccola, che è il caso più comune, si procurerà di sostituire nuova acqua a misura che ne scende.

Per raccogliere il gas, basterà avere un altro gassometro A' B' simile al primo. Supponiamo che il vaso A' sia pieno d'acqua, e che un tubo K' per il quale esce il gas, scenda fino in fondo del secondo gassometro: allora l'acqua del vaso A si trova nel caso del n.º 220. L'apertura del robinetto E' essendo a livello con l'estremità K' del tubo, l'acqua così premuta nei punti K' e E' non sgorgnerà più, ma basterà un piccolo eccesso di pressione in K', determinato dalla celerità del gas, perchè l'acqua esca per il robinetto E'. Così il vaso A' si voterà, e nel posto dell'acqua che esce, entrerà il gas. L'intervallo fra i

gassometri può esser comodo per osservazioni particolari. Per es., se si voglion paragonare le capacità dei gas, come hanno fatto De-la-Roche e Bérard, si riscalderà ciascun gas quando esce dal gassometro, fino ad una data temperatura, quindi si raccoglierà in un calorimetro che contenga una quantità nota d'acqua fredda, (*Vedi l'articolo delle capacità*), ec. Le due parti dell'apparecchio son disposte in maniera, che il gas può passare alternativamente dall'una nell'altra.

Il gassometro che abbiamo descritto, basta per i gas insolubili: ne descriveremo un altro all'articolo del *calore animale*.

Del Sifone

222. Gli effetti del Sifone dipendono dalla pressione dell'atmosfera. Questo strumento che serve a travasare i liquidi, consiste in generale in un tubo ricurvo con due bracci diseguali, de'quali il più corto si immerge nel liquido che si vuol travasare (*fig. 137*). Sia AB un vaso pieno d'acqua, che si voglia far passare nel vaso N. Si immerge nel liquido il braccio più corto HO del sifone, e dall'estremità opposta C si aspira in modo da rarefar l'aria nell'interno del tubo: allora il liquido subito si introduce in questo per effetto della pressione dell'aria esterna. Quando il sifone è pieno, si ritira la bocca; il liquido del braccio più lungo sgorga, e lo sgorgo prosegue finchè il vaso AB non è voto.

Da quanto abbiamo detto sugli effetti della pressione dell'atmosfera, facile comparisce la teoria del sifone. Questa pressione si esercita con eguale intensità all'estremità del braccio più lungo e sulla superficie del liquido, dimanierachè prima della rarefazione dell'aria, il liquido è al medesimo livello nel tubo e nel vaso. Al contrario se l'aria venga rarefatta, l'acqua del vaso essendo premuta dal peso totale dell'atmosfera, deve alzarsi nel tubo ed empirlo. Supponiamo pieno il tubo: è chiaro che i punti O ed E essendo egualmente premuti dall'aria esterna, e le due parti HO, HE del sifone facendosi equilibrio fra loro, la porzione EK deve cadere: e poichè a misura che il tubo si vota, viene immediatamente riempito dal liquido del vaso superiore, non finirà lo sgorgo finchè tutto il liquido non sarà passato nel vaso N. Se l'apparecchio suddetto fosse situato nel voto, il liquido ricaderebbe in ciascun braccio in virtù della gravità.

223. Per travasare i liquidi corrosivi, al tubo principale si unisce un tubo laterale, per il quale si fa l'aspirazione: anzi si gonfia verso la sua parte inferiore (*fig. 138*) per accumularvi il liquido, e quando questo è arrivato ad empire questo piccolo globo, si cessa d'aspirare. Invece del tubo laterale, si può adat-

tare al sifone una tromba aspirante, osservando di chiudere la parte inferiore m mentre si fa agire la tromba (1).

224. Sulla teoria del sifone è fondata la costruzione d' un piccolo apparecchio alquanto curioso, conosciuto sotto il nome di *Tazza di Tantalò* (fig. 139). Essa è composta di un bicchiere ordinario, nell'interno del quale è un tubo ricurvo COH: il braccio più corto OC sta nel bicchiere, e il più lungo esce per il piede. Se si versa acqua nel bicchiere in modo da non coprire il vertice O del sifone, non si osserva nulla di particolare; ma appena il livello del liquido è superiore al vertice O, il liquido sgorga per il braccio più lungo, sicchè inutilmente si versa nuova acqua nel bicchiere, che non si empie mai.

225. Esistono in natura alcune fontane intermittenti, l'azione delle quali è analoga a quella della tazza di Tantalò. Se esista (fig. 140) una cavità prodotta nella terra, quando le acque l'avranno empita fino al punto più alto K, la fontana sgorgherà finchè l'acqua sia sotto mn , e riprincipierà poi lo sgorgo, quando le piogge avranno ricondotto l'acqua alla medesima altezza K.

Del decremento della densità dell' Atmosfera

226. Dimostreremo che quando le altezze dell'atmosfera crescono in progressione aritmetica, le densità corrispondenti dell'aria scemano in progressione geometrica. Infatti, supponiamo che AH (fig. 141) rappresenti l'altezza di tutta l'atmosfera, cioè che questa retta sia condotta verticalmente dal suolo fino ai confini dell'atmosfera, e supponiamo inoltre condotte perpendicolarmente a questa retta più linee orizzontali ad egual distanza fra loro, le quali rappresentino i diversi strati dell'atmosfera. Sia P il peso di tutta la colonna dell'atmosfera che preme sulla superficie della terra, P' il peso di tutta la colonna d'aria, che pesa sul primo strato, P'' quella di tutta la colonna d'aria che pesa sul secondo strato, e così di seguito: sia D la densità del primo stra-

(1) A quest'uso, come pure a qualunque altro, può costruirsi ancora un sifone in modo che non vi sia bisogno d'aspirar l'aria. Questo si forma di due bracci uguali con le estremità un poco ripiegate in alto; quindi in qualunque maniera s'empie del liquido che vuol travasarsi, e poi si pone con un braccio nel vaso pieno e coll'altro nel voto. È chiaro che il fluido del primo, premuto dall'aria, premerà dal canto suo il fluido contenuto nel braccio del sifone, e vi salirà successivamente sgorgando in conseguenza dall'altro braccio nel vaso voto, ed è chiaro egualmente che continuerà lo sgorgo, finchè il liquido non sia in equilibrio in ambedue i vasi. Ognun vede che moltiplicando questi sifoni, si posson mettere tra loro in comunicazione più recipienti, senza bisogno di preparar di nuovo i sifoni, quand'anco l'operazione venga interrotta (Desaguliers, *Cours du Phys.* Nota 1 alla Lezione 8).

to, D' quella del secondo, D'' quella del terzo, ec., $P-P'$ sarà il peso del primo strato inferiore, $P'-P''$ quello del secondo, ec. Ora i pesi di due quantità di uno stesso gas, prese sotto uno stesso volume, son proporzionali alle densità: dall'altra parte si suppone che i diversi strati d'aria sieno tutti di volume perfettamente eguale, e però si avrà la proporzione $P-P' : P'-P'' :: D : D'$; ma $D : D' :: P' : P''$, perchè le densità dei gas, considerati sotto volumi eguali, sono proporzionali alle pressioni; dunque per il rapporto comune di queste due proporzioni sarà $P-P' : P'-P'' :: P' : P''$, dal che si ha $P^2 = PP''$; dalla quale equazione si ha la nuova proporzione $P : P' :: P' : P''$. Si troverebbe nella stessa maniera $P' : P'' :: P'' : P'''$; ec.

avremo dunque la progressione geometrica $\therefore P : P' : P'' : P'''$; ec., la quale è evidentemente decrescente, perchè P rappresenta il peso di tutta l'atmosfera, mentre P' rappresenta questo peso, scemato di quello del primo strato, P'' lo stesso peso scemato di quello dei due primi strati, e così di seguito. Dall'altra parte è chiaro, che le altezze dei varii strati d'aria, cominciando dal suolo, formano una progressione aritmetica crescente; e poichè dall'altra parte le densità son proporzionali alle pressioni, resta dimostrata la proposizione enunciata, cioè che le densità dei diversi strati d'aria, sono in progressione geometrica decrescente.

DEL BAROMETRO

227. Il Barometro fu inventato dal Torricelli. Questo celebre scolare di Galileo, meditando sulla causa dell'ascensione dell'acqua nelle trombe, concepì il bel pensiero di paragonare l'altezza del mercurio in un barometro, con l'altezza dell'acqua nelle trombe, e trovò che queste altezze erano in ragione inversa delle densità dei due liquidi, sicchè l'acqua che pesa 13,586 volte meno del mercurio, si eleva ad un'altezza 13,586 volte maggiore. Da questo fatto il Torricelli concluse, che appunto come avea sospettato, la pressione esterna dell'aria era la vera causa per cui l'acqua e il mercurio si alzano nei tubi, finchè nasca l'equilibrio.

Questa importante scoperta fu fatta nel 1643. Poco tempo dopo se ne sparse la nuova in Francia; e Mersenne e Pascal ripeterono l'esperienza nel 1646; anzi Pascal nell'anno dopo pensò di renderla più decisiva, facendola ad altezze diverse; e vide infatti che quanto più in alto portava il tubo, tanto più la colonna di mercurio si abbassava. Gli stessi risultamenti ottenne Perier, sul Puy-de-Dôme, invitato da Pascal. La spiegazione del Torricelli fu dunque pienamente confermata, e i fisici dovettero ri-

nunziare all'idea dell'orrore della natura per il voto. L'uso del barometro è indispensabile in moltissime esperienze, e noi stessi abbiám dovuto citarlo più volte nelle parti precedenti di quest'opera.

Diverse specie di Barometri

In tre modi può costruirsi il barometro, cioè a pozzetto, a sifone e a quadrante; ma questo, come vedremo, non è che un'applicazione di quello a sifone.

Barometro a pozzetto

228. Il barometro a pozzetto consiste in un tubo di vetro, lungo circa tre piedi, chiuso ad un'estremità e aperto all'altra, e immerso verticalmente per la sua estremità aperta in un pozzetto pieno di mercurio, dimanierachè una porzione di questo mercurio resta ad una certa altezza nel tubo, in virtù del peso dell'atmosfera, che preme sulla superficie del pozzetto. Affinchè il mercurio resti nel tubo, bisogna prima empirlo totalmente di questo metallo, chiuderlo con un dito, e rovesciarlo in un pozzetto. Se non che un barometro formato in questa maniera sarebbe sempre imperfetto, perchè nel mercurio penetra facilmente acqua ed aria; le quali sostanze sprigionandosi poi a poco a poco, in virtù della loro elasticità, impedirebbero al mercurio di salire liberamente fino a quell'altezza alla quale salirebbe, se l'interno del tubo fosse perfettamente voto. Per toglier dunque tutta l'aria e tutto l'umido, bisogna prima di tutto prosciugar bene il tubo di vetro, quindi versarvi una piccola quantità di mercurio già bollito, e farvelo nuovamente bollire, per toglier tutta l'aria che possa essersi mescolata nel mercurio, nel versarlo nel tubo; quindi se ne introduce un'altra quantità, si fa bollire ec., e così finchè il tubo sia pieno, e quindi si rovescia in un vasetto parimente pieno di mercurio. Il mercurio contenuto nel tubo scende allora fino ad un certo punto, ove resta fisso, lasciando sopra di se uno spazio perfettamente voto d'aria. Si noti però, che una tale operazione è delicatissima, e perchè riesca perfettamente richiede molte precauzioni.

229. Misuriamo ora esattamente l'altezza della colonna barometrica. Ciò non può farsi se non per mezzo di una scala graduata: bisogna dunque che lo zero di questa scala sia sempre a livello con la superficie del mercurio del pozzetto, e però bisogna render mobile o la scala o il pozzetto. Fortin, nel costruire i suoi barometri, i quali sono sicuramente i migliori, fa mobile il pozzetto, col render mobile solamente il suo fondo, il quale si alza o si ab-

bassa per mezzo di una vite A, col che si fa salire o scendere il livello del mercurio del pozzetto (*fig. 142*). Con questo mezzo si può sempre ridurre il livello tangente all'estremità inferiore di una punta sottile I, fissata invariabilmente, e corrispondente allo zero della scala. Questa scala è fissa, e segnata sopra un tubo di metallo che circonda e difende il tubo barometrico; il qual tubo metallico ha un'apertura longitudinale, per la quale si può vedere la colonna del mercurio.

È necessario che lo strumento sia tenuto in una situazione verticale, e però si attacca per la parte superiore, e si lascia appeso liberamente. Inoltre è chiuso in un astuccio che si divide in tre parti, le quali servono di sostegno. Quando si vuol fare un'osservazione, si apre l'astuccio, si posa sul suolo, e il barometro resta verticale da per se. In tal modo si rende facilissimo l'osservare l'altezza della colonna del mercurio nel barometro. Ma perchè tutte le osservazioni di questo genere sieno paragonabili fra loro, bisognerà riferirle ad una stessa temperatura, per es. a zero; poichè siccome è impossibile operar sempre assolutamente ad una stessa temperatura, le osservazioni che si facessero senza aver riguardo ad essa, non potrebbero essere che erronee. Or qui bisogna aver riguardo non solo alla dilatazione del mercurio, ma ancora alla dilatazione del metallo sul quale è segnata la scala: la dilatazione del mercurio fa sì che l'altezza osservata è troppo grande; e al contrario la dilatazione della scala metallica rende troppo piccola l'altezza osservata, poichè ciascuna divisione della scala essendosi dilatata d'una certa quantità, il numero delle divisioni necessario per eguagliare l'altezza della colonna del mercurio, è evidentemente minore alla temperatura t , alla quale si opera, di quello che non sarebbe a zero. In quanto alla scala è chiaro, che bisogna prender solamente la dilatazione lineare, perchè non se ne considera che la lunghezza, mentre per il mercurio bisogna prendere la dilatazione cubica. Sia dunque h l'altezza della colonna di mercurio osservata nel tubo ad una certa temperatura t , e supponiamo che a sia il coefficiente $\frac{1}{3 \frac{1}{2} \frac{1}{2}}$ della dilatazione cubica del mercurio. Poichè i volumi sono in ragione inversa delle densità, e le densità son qui in ragione inversa delle altezze, ne segue che i volumi son proporzionali alle altezze. Dunque, se 1 rappresenti il volume della colonna di mercurio a zero, $1+at$ sarà il volume di questa medesima colonna a t gradi, e l'altezza x del mercurio a 0° verrà dalla proporzione $1 : 1+at :: x : h$, e $x =$

$\frac{h}{1+at}$. Sia pure α' il coefficiente della dilatazione lineare del

metallo della scala: qui l'altezza osservata sarà in ragione inversa

della lunghezza di una divisione: ora se sia 1 questa lunghezza a 0° , a t gradi sarà $1 + \alpha' t$: avremo dunque la proporzione

$$1 : 1 + \alpha' t :: \frac{h}{1 + \alpha t} : x'; \text{ dal che finalmente si deduce, che la}$$

vera altezza del mercurio a 0° è $x' = \frac{h(1 + \alpha' t)}{1 + \alpha t}$. Per conoscere esat-

tamente la temperatura della colonna barometrica, si adatta allo strumento un piccolo termometro sensibilissimo, e si nota il grado che esso indica nel momento dell'osservazione. È chiaro infatti, che la temperatura dell'apparecchio non può cambiare, senza che ne risenta l'effetto anco il termometro, il quale fa parte di esso.

La dilatazione del tubo di vetro non merita considerazione, perchè abbiamo veduto (n.º 42), che l'altezza della colonna del mercurio nel barometro, deve essere indipendente dalla larghezza del tubo.

Applicazione

Un barometro con scala segnata sul metallo, indica $0,^m 762$ a 22° sopra lo zero; $3\alpha' = \frac{1}{19400}$, per ogni grado centigrado; $\alpha = \frac{1}{5550}$ parimente per ogni grado. Sostituendo alle lettere i valori numerici nella formola, si ha $0^m,759$ altezza ridotta per la temperatura zero.

Il barometro a pozzetto, quale lo abbiamo descritto, ha ancora il gran vantaggio di poter esser trasportato senza alcun inconveniente. A tal fine basta alzare il fondo mobile del pozzetto, finchè il tubo e il serbatoio sieno pieni, e quindi tutto si chiude in un astuccio convenientemente disposto. In questa maniera è evitata la rottura del tubo, qualunque scossa possa soffrire nel trasporto, al che sarebbe soggetto, se non fosse pieno, per le oscillazioni a cui resterebbe esposto il mercurio; e inoltre è impedito così l'accesso nel tubo alla minima quantità d'aria.

230. Due barometri simili a questo, e costruiti con la stessa diligenza, non presentano la stessa altezza in un luogo medesimo, se il diametro dei due tubi non sia eguale; e l'altezza sarà tanto maggiore, quanto più stretto sarà il tubo. A occasione più opportuna esporremo la causa fisica di questo fenomeno, e per ora basti aver determinato con l'esperienza l'abbassamento corrispondente a diversi diametri, come si rileva dalla tavola seguente, calcolata da Laplace dopo le più esatte esperienze.

TAVOLA

Delle pressioni del mercurio nel barometro dipendenti dalla capillarità

Diametro interno dei tubi in millim.	Depressione in millim.
10	10
12	12
14	14
16	16
18	18
20	20
22	22
24	24
26	26
28	28
30	30
32	32
34	34
36	36
38	38
40	40
42	42
44	44
46	46
48	48
50	50
52	52
54	54
56	56
58	58
60	60
62	62
64	64
66	66
68	68
70	70
72	72
74	74
76	76
78	78
80	80
82	82
84	84
86	86
88	88
90	90
92	92
94	94
96	96
98	98
100	100

[illegible]

La depressione è indicata in questa tavola per i diversi diametri che possono avere i tubi di barometro da 2 fino a venti millimetri. Quando si osserverà l'altezza di un barometro, all'altezza osservata bisognerà aggiungere la depressione che corrisponde al diametro del tubo. Per es. se un barometro, il tubo del quale abbia un diametro interno di $0^m,002$, indichi un'altezza di $0^m,752$, quest'altezza non sarà che apparente; e bisognerà aggiungere $0^m,0045$ per avere la vera altezza, la quale sarà $0^m,7565$. Così se sopra un tubo barometrico di $0^m,02$ di diametro interno si legga un'altezza di $0^m,764$, non sarà questa l'altezza vera, ma bisognerà aggiungere $0^m,00004$, dal che avremo $0^m,76404$ vera altezza cercata.

Barometro a sifone

231. Il barometro a sifone, così detto dalla sua forma, non ha pozzetto, o per dir meglio, il tubo stesso ne fa le veci.

Tòm. I.

13

Esso è curvato alla sua estremità inferiore C (*fig. 143*), e quindi forma due bracci CA, CB. Per costruirlo, si prende un tubo più cilindrico che sia possibile, chiuso ad un'estremità e aperto dall'altra, e si curva in forma di sifone ad una lucerna, in modo che l'estremità aperta appartenga al braccio più corto, e il braccio più lungo sia più di 28 pollici. Quindi si usano le stesse cautele che nel barometro a pozzetto, tanto per prosciugare il tubo e il mercurio, quanto per impedire che l'aria penetri nell'apparecchio. Ciò premesso, se nel braccio più lungo la colonna di mercurio si ferma in B, e nel braccio più corto in A, è chiaro che la differenza AB dei livelli di queste due colonne di mercurio, è la colonna di mercurio sostenuta dall'atmosfera che preme in A, e però la sua lunghezza rappresenta il peso dell'atmosfera, egualmente che la colonna di mercurio nel barometro a pozzetto. Ma qui la colonna di mercurio non può misurarsi che per mezzo di una scala, che si fa muovere parallelamente al braccio CB, in modo da ridurre lo zero delle sue divisioni al livello dell'estremità A della colonna di mercurio nel braccio più corto.

Il barometro a sifone, a preferenza del barometro a pozzetto, ha il vantaggio di essere indipendente dall'azione capillare del tubo: infatti poichè i due bracci, formati con uno stesso tubo, hanno sensibilmente lo stesso diametro interno, e poichè il tubo rettilineo è tutto quasi perfettamente cilindrico, e inoltre il braccio corto è parte del tubo intero, le tendenze alla depressione sono eguali da una parte e dall'altra, e si fanno scambievolmente equilibrio.

Per ridurre portatile il barometro a sifone, al braccio più corto era stato adattato un robinetto; ma questa disposizione importava un difetto nel moto del mercurio, dipendente dalla materia grassa necessaria alla libera azione del robinetto stesso. Gay-Lussac ha evitato l'uso d'un robinetto, e in conseguenza di una materia grassa, nel modo seguente. Unisce i due bracci AB, EC del barometro (*fig. 144*) con un tubo BC di diametro di uno o due millimetri, cioè molto minore del diametro del tubo; e il braccio più corto, chiuso alla sua parte superiore, è forato lateralmente con un'apertura capillare E a forma d'imbuto. Quest'apertura, bastante perchè l'aria eserciti la sua pressione sul mercurio del braccio più corto, è troppo piccola perchè possa escirne il mercurio quando si rovescia il barometro (*fig. 145*). In questa situazione si mette lo strumento, quando si vuol trasportare da un luogo ad un altro: e se nel tubo capillare BCD entra una piccola quantità d'aria, come si vede nella *fig. 146*, quest'aria viene esclusa dal mercurio, quando si rimette lo strumento nella sua situazione naturale (*fig. 144*). Un tale strumento non ha

sofferta veruna alterazione in molti viaggi, nei quali se ne son serviti Gay-Lussac e Descotils; ma però alcuni Fisici si sono accorti, che dopo un certo tempo, un poco d'aria si introduce nel braccio più lungo d'un barometro così costruito. Per rimediare a questo inconveniente, si può assottigliar questo braccio, come vien indicato dalla *fig. 147*; allora l'aria si trattiene nello spazio *mk*, di dove è facile farla escire, scuotendo lo strumento: una tal disposizione però rende molto difficile la costruzione di questo barometro. Comunque sia, anco questo barometro può chiudersi in un astuccio di metallo aperto longitudinalmente, sul quale è segnata la scala, oppure in una custodia di qualunque altra materia.

Barometro a quadrante

232 Il barometro a quadrante è poco diverso dal descritto barometro a sifone. Solamente sopra l'apertura del braccio più corto è una puleggia mobilissima *A* (*fig. 148*), il centro della quale è fissato al centro d'un quadrante, dietro a cui è attaccato il barometro. Questa puleggia corrisponde ad un ago destinato a percorrere le divisioni del quadrante; e intorno alla circonferenza di essa è avvolto un filo, alle estremità del quale sono attaccati due pesi *pp'*. Uno di questi *p'* è libero, e fa equilibrio all'altro *p* che entra nel tubo, e che è tangente alla superficie del mercurio; e il sistema di questi due pesi, perfettamente mobile intorno alla puleggia *A* è tale, che il peso *p* posa soltanto sulla superficie del mercurio, senza mai deprimerlo in nessun modo.

Da questa disposizione chiaramente apparisce, che quando il mercurio si abbasserà nel braccio aperto e si alzerà nell'altro, cioè quando l'atmosfera sarà più pesa del solito, il peso *p* scenderà insieme col mercurio, e l'estremità dell'ago verrà sulla parte superiore del quadrante; quando il mercurio si alzerà nel braccio più corto, e si abbasserà nell'altro, il peso *p* salirà con esso, e l'ago verrà nella parte inferiore del quadrante: finalmente quando il mercurio sarà ad un'altezza media, cioè quando media sarà la pressione dell'atmosfera, l'ago sarà in una situazione intermedia. E poichè è stato ripetutamente osservato, che quando il mercurio sale o scende nel barometro, è ordinariamente indizio di tempo sereno o piovoso, nel punto più alto del quadrante è stato segnato *bel tempo*, nel più basso, *cattivo tempo*, e nel punto intermedio, *variabile*.

Prima di fare un'osservazione con questo barometro, è bene batterlo alquanto, per vincere l'attrito delle diverse sue parti. Comunque sia, questo barometro non è opportuno per esperienze che richiedono molta esattezza.

233. L'altezza più comune del barometro al livello del mare, quando il tempo è in calma, suol essere $0^m,760$, ossia 28 pollici incirca; e questa appunto si considera come l'altezza media. Quando però il tempo è agitato e vicino alla tempesta, l'altezza del barometro è soggetta a continue variazioni.

234. Resta ora da vedersi in qual modo possa combinarsi una serie di osservazioni comparative sull'andamento del barometro. Un quadro grafico è il processo più comodo. Si prende una striscia di carta (*fig. 149*), in mezzo alla quale si segna una linea retta AB da un'estremità all'altra; si divide questa in un certo numero di parti eguali destinate a rappresentar giorni: sui punti di divisione si alzano tante perpendicolari prolungate indefinitamente al di sopra e al di sotto di questa linea, e quindi parallele alla medesima, e ad eguali distanze si conducono altre linee da una parte e dall'altra della stessa.

Ciò premesso, quando abbiamo osservato il barometro in un tal giorno, se l'altezza è media, cioè $0^m,760$, si segna il punto A della linea principale, che corrisponde a quel giorno. Se è più alta per es. d'un millimetro, si sale alla prima parallela sopra AB, e se è più bassa, si scende alla parallela corrispondente inferiore. Così si segnano le osservazioni di tutti i giorni successivi, ciascuna sulla linea e all'altezza che le conviene: per tutti i punti A, b, c, d, e... ec. si conduce la linea spezzata *Abcde*...; e questa linea, con le sue sinuosità, rappresenta fedelmente lo stato del barometro nelle epoche successive d'osservazione. Da prospettti di questa forma si rileva, che in un gran numero di casi, quando il barometro è abbassato, è caduta la pioggia, e al contrario quando si è alzato, il tempo è divenuto sereno. È vero che di tanto in tanto si osservano eccezioni a questa regola, ma però queste son più rare dei casi nei quali essa si verifica. Con simili osservazioni è stato rilevato, che il barometro, non ostante tutta l'irregolarità del suo andamento, è generalmente soggetto ad una causa che lo fa salire e scendere periodicamente a certe ore del giorno. Arriva infatti alla sua massima altezza alle ore nove della mattina, va poi scendendo fino verso le quattro del giorno; quindi risale fino alle undici della sera, elevandosi di nuovo alla sua massima altezza; riscende fin verso le quattro della mattina, arrivando al punto di massimo abbassamento, per risalir poi alla sua massima altezza alle nove della mattina, e così di seguito. Questo corso regolare, che resulta particolarmente dalle osservazioni fatte in America da Humboldt, e in Francia da Ramond è spesso disturbato in Europa, ove lo stato dell'atmosfera è variabilissimo; ma sotto i tropici il periodo è molto più costante, a segno

che Humboldt medesimo pensa che il barometro potrebbe servire a indicare l' ore del giorno (1).

Per le osservazioni sulla variazione del barometro in un medesimo luogo, è molto comodo il barometro inclinato. E poichè l' altezza del mercurio in questo barometro, sta all' altezza del barometro verticale, come $\cos lcl'$: 1, maggiori pure nello stesso rapporto saranno le variazioni (fig. 150) (a).

(1) *Flogergues*, che ha fatto uno studio particolare sull'azione che la Luna esercita sull' atmosfera, in venti anni d' osservazioni ha trovata costante una certa relazione fra il numero dei giorni piovosi e le fasi della Luna. Un' osservazione costante, dice egli, ha provato che piove più spesso quando il barometro è basso, che quando è alto. Da un' altra parte l' osservazione dimostra, che il barometro è più basso nel primo quarto della Luna che nell' ultimo, e più basso quando la Luna è nel suo perigeo, che nell' apogeo. Ne segue dunque necessariamente che vi debbon essere più giorni piovosi nella prima quadratura della Luna che nella seconda, come pure quando essa è al perigeo, che quando è all' apogeo, lo che si accorda perfettamente coi risultamenti di numerose osservazioni. Ant. Vol. 34. p. 147.

Sulla misura delle altezze per mezzo del barometro

(a) Sia AH (fig. 151) la colonna atmosferica; AB la superficie della Terra; la colonna atmosferica AH è divisa in parti eguali; BD è il barometro che fa equilibrio al peso dell' aria; Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 , sono le altezze sopra la superficie della Terra; h_1, h_2, h_3 , ec. le altezze del mercurio nel barometro: $Y_2 - Y_1$ è la grossezza d' uno strato d' aria di altezza sì piccola, che può supporre costante la densità: $h_1 - h_2$ è l' abbassamento del mercurio, corrispondente alla differenza $Y_2 - Y_1$. Se d sia la densità dell' aria, relativamente a quella del mercurio, sarà $d = \frac{h_1 - h_2}{Y_2 - Y_1}$.

La densità d' un fluido elastico è proporzionale alla pressione che esso sostiene: quindi $d = \frac{h_1 - h_2}{Y_2 - Y_1} = Ch$, essendo C una costante di cui poi si determinerà il valore.

Da questa equazione si deduce $h_2 = h_1 (1 - C (Y_2 - Y_1))$, e quindi $h_3 = h_2 (1 - C (Y_3 - Y_2))$, $h_4 = h_3 (1 - C (Y_4 - Y_3))$.

E siccome si può prendere la grossezza d' ogni strato eguale a D, queste equazioni daranno $h_2 = h_1 (1 - CD)$; $h_3 = h_2 (1 - CD)$; $h_4 = h_3 (1 - CD)$ ec. e $Y_2 - Y_1 = D$; $Y_3 - Y_1 = 2D$; $Y_4 - Y_1 = 3D$; $Y_5 - Y_1 = 4D$, ec.; dal che apparisce che le altezze crescono in progressione aritmetica, e le densità dell' aria scemano in progressione geometrica (n.º 226).

Della macchina Pneumatica

235. La macchina pneumatica, inventata da Ottone di Guericke, è uno strumento che serve per rarefar l'aria contenuta in

Per un'altezza qualunque sarà $Y_n - Y_1 = nD$; $h_n = h_1 (1 - CD)^n$,

$$\text{e quindi } n = \frac{\log h_n - \log h_1}{\log (1 - CD)},$$

$$\text{e } Y_n - Y_1 = X = D \frac{(\log h_1 - \log h_n)}{\log (1 - CD)}.$$

Sviluppando $\log (1 - CD)$, e supponendo D infinitesimo, verrà

$$X = \frac{m}{C} (\log h_1 - \log h_n).$$

Questa equazione indica, che X , o la differenza fra due stazioni, è proporzionale alla differenza dei logaritmi delle due altezze del barometro in queste due stazioni. Resta solo da determinarsi C : m è un numero costante, ed è il modulo delle tavole logaritmiche, eguale a 2,302585.

Nel principio supponemmo la densità d dell'aria proporzionale all'altezza del barometro, e quindi $d = Ch$: dunque il coefficiente C sarà noto, se la densità dell'aria, riportata a quella del mercurio, e l'altezza del barometro sieno note. Biot ed Arago hanno trovato a Parigi

$$d = \frac{1}{10463,0} \text{ sotto la pressione di } 0^m,76, \text{ e di qui si ha } \frac{m}{C} =$$

18336^m. E sostituendo H ad h_1 e h ad h_n ; la formola diviene $X =$

$$18336^m \log \frac{H}{h}.$$

Correzioni

Latitudine. Il coefficiente C cambia al cambiar di latitudine, e la gravità cresce dall'equatore ai poli (n.º 27). Se essa è l'unità alla latitudine di 45°, sarà $1 - 0,00284 \cos 2\Psi$ per la latitudine Ψ : ma la densità dell'aria, per una stessa altezza 0^m,76, è proporzionale alla gravità; dunque C crescerà nello stesso rapporto, e alla latitudine Ψ sarà $C (1 - 0,00284 \cos 2\Psi)$, e la formola generale diverrà

$$X = \frac{m}{C (1 - 0,00284 \cos 2\Psi)} \log \frac{H}{h}; \text{ e sviluppando, e limitandosi}$$

ai due primi termini avremo

$$X = \frac{m}{C} (1 + 0,00284 \cos 2\Psi) \log \frac{H}{h}$$

Temperatura. Le densità d'una massa d'aria sono reciproche ai volumi che essa occupa a diverse temperature sotto la stessa pressione, dal che apparisce, che la distanza X delle due stazioni sarà troppo

uno spazio determinato. Sul principio consisteva in un cilindro voto AC (*fig. 152*) chiamato corpo di tromba, nel quale scor-

piccola nel rapporto di 1 a $1 + 0,00375 t$, e però bisognerà moltiplicare X per $1 + 0,00375 t$.

Vapore d'acqua. Il rapporto fra la densità del vapore e quella dell'aria, è stato trovato $10^{\circ} 16$ (n.° 103); in conseguenza l'aria umida deve esser più leggiera dell'aria perfettamente asciutta. Se p è il peso della colonna d'aria asciutta, alla pressione h , il peso della stessa colonna d'aria umida sarà minore in un rapporto, che ora determineremo. Sia f la forza elastica del vapore; quella dell'aria asciutta sarà $h - f$, e il peso totale sarà

$$p \left(\frac{h-f}{h} \right) + \frac{pf}{h} \frac{10}{16}, \text{ ossia } p \left(h - \frac{3f}{8} \right), \text{ e quindi il rap-}$$

porto dei pesi diviene $\frac{1}{3f}$. Per questo numero bisogna moltiplicare X, che allora diverrà

$$X = 18336^m \frac{(1 + 0,002845 \cos 2\Psi)}{1 - \frac{3f}{8h}} \log \frac{H}{h} (1 + 0,00375 t).$$

Si osservi che le altezze h e H si riguardano come ridotte a zero, le quali riduzioni si eseguiscono facilmente (n.° 229).

Osserveremo, che in vece del coefficiente $\frac{1 + 0,00375 t}{1 - \frac{3f}{8h}}$, si può

sostituire $1 + \frac{2(T+t)}{1000}$, il che è lo stesso che sostituire $0,00400 t$ a $0,00375$, e trascurare $1 - \frac{3f}{8h}$. Da ciò risulta $1 + 0,004 t$, o $1 + \frac{t}{250}$:

ma la temperatura non è uniforme, e scema in proporzione della distanza dal terreno; e poichè scema quasi in progressione aritmetica, si prende la media delle temperature di ciascuna stazione, e si ha

$$1 + \frac{T-t}{2 \cdot 250}, \text{ o } 1 + \frac{2(T+t)}{1000}.$$

Ora la formola è $X = 18336^m (1 + 0,002845 \cos 2\Psi) \left(1 + \frac{2(T+t)}{1000} \right) \log \frac{H}{h}$.

V'è ancora un'altra correzione, relativa al decrescimento della gravità nella verticale. Laplace ha data la formola seguente (4.° vol. della *Mec. cel.*), nella quale si tien conto di tutte le correzioni, rappresentando con r il raggio della Terra, che è 6366,98^m.

$$X = 18336^m (1 + 0,00284 \cos 2\Psi) \left(1 + \frac{2(T-t)}{1000} \right) \left(1 + \frac{X}{r} \right) \log \frac{H}{h} + \frac{X}{r}, 86859.$$

Per determinare X, si faccia $X=0$ nel secondo membro, e quindi nel secondo membro medesimo si sostituisca ad X questo valore trovato.

reva a perfetto incastro uno stantuffo P, mosso per mezzo di un' asta T. Alla base inferiore di questo corpo di tromba erano due altri piccoli condotti: ad uno era adattato un robinetto R esattamente; all' altro, munito pure d' un robinetto R', si invitava il collo del recipiente B, del quale si voleva rarefar l' aria. Per fare il voto in questo recipiente, si cominciava dall' aprire il robinetto R e chiudere il robinetto R'; quindi si abbassava lo stantuffo P fino alla base inferiore del corpo di tromba: tutta l' aria che si trovava in questo corpo di tromba sotto lo stantuffo, era costretta ad escirne per l' apertura del robinetto R; allora si chiudeva il robinetto R, si apriva R', e si alzava lo stantuffo nel corpo di tromba. L' ascensione dello stantuffo formava necessariamente nel corpo di tromba un voto, e per conseguenza l' aria contenuta nel recipiente B, per effetto della propria elasticità, si spandeva in parte in questo spazio voto. Quindi si chiudeva di nuovo il robinetto R', si apriva R, e si riabbassava lo stantuffo, col che si escludeva dal corpo di tromba l' aria che vi si era introdotta. E così alzando e abbassando più volte lo stantuffo nel corpo di tromba, e aprendo e serrando alternativamente i robinetti R, R', si giungeva a rarefare più o meno l' aria contenuta nel recipiente.

Era però un grande inconveniente questo chiudere e aprire di robinetti; e in seguito furono infatti sostituite ad essi due valvole A e A' (*fig. 153*), una posta nello stantuffo medesimo, l' altra nell' interno del condotto del corpo di tromba, destinato ad essere in comunicazione col recipiente B, e costruite ambedue in modo da aprirsi dal di dentro al di fuori. Da questa stessa disposizione apparisce chiaramente, che quando si abbasserà lo stantuffo P, l' aria che si troverà sotto di esso nel corpo di tromba, essendo fortemente compressa, acquisterà tanta forza di elasticità per alzare la valvola A, ed escire per questa apertura. Se ora si alzi lo stantuffo P, la valvola A si chiuderà naturalmente per effetto del suo proprio peso: ma in virtù del voto che si è formato sotto lo stantuffo, l' aria interna del recipiente B, con la sua forza elastica obbligherà la valvola A' ad aprirsi; e si

Del resto, il punto del mezzo-giorno è indicato da Ramond come il più favorevole alle osservazioni barometriche. Bisogna evitare i tempi in cui la temperatura e l' altezza barometrica son molto variabili, o nei quali l' aria è molto agitata. Convien ancora lasciare il barometro per una giornata nella stazione della quale si dee misurare l' altezza, perchè esso acquisti la temperatura dell' aria. Bisogna inoltre isolare il barometro più che si può, ma non però situarlo in una gola di montagne. Queste ed altre cautele son necessarie, perchè riescano esatte le osservazioni di questo genere; e Ramond le ha diligentemente indicate nelle sue Memorie sulla formola barometrica. Si possono consultare ancora su questo proposito le Memorie di Olthmanns e di Delcros, come pure gli *An. ch. et phys.* t. 8, e 19.

spanderà in parte nel corpo di tromba. Essa si richiuderà subito per effetto del proprio peso: in seguito si abbasserà lo stantuffo P: la valvula A si aprirà per lasciar escir l'aria che si è sparsa nel corpo di tromba, quindi si richiuderà, quando lo stantuffo P sarà arrivato alla base inferiore del corpo di tromba, e così di seguito.

236. La valvula A' presenta un inconveniente, che non aveva il robinetto di cui fa le veci, cioè dopo un certo numero di colpi di stantuffo non più si solleva. Si comprende infatti, che dopo fatto un voto molto considerevole, la forza elastica dell'aria interna del recipiente B, non sarà bastante a vincere la resistenza di questa valvula: dunque non può farsi il voto oltre questo punto, in cui l'elasticità dell'aria del recipiente sarà così debole, da non poter vincere la resistenza della valvula. Quindi è che nelle macchine pneumatiche moderne, questa valvula non è più in uso; e in vece di essa si pone un piccolo cono troncato solido, che empie esattamente l'apertura del condotto che comunica col recipiente. In quale è parimente di forma conica: questo piccolo cono è fissato all'estremità d'un'asta metallica *tt'*, che passa a traverso dello stantuffo (*fig. 154*). Così quando si abbassa lo stantuffo, l'asta *tt'* si abbassa, porta seco il cono troncato nell'imboccatura del condotto, e lo stantuffo vincendo l'attrito dell'asta *tt'*, prosegue ad abbassarsi: quando al contrario lo stantuffo si alza, si alza pure l'asta *tt'*, e il cono troncato, escendo dalla sua imboccatura, lascia passar l'aria del recipiente, comunque debole sia la forza elastica. Ma ben presto lo stantuffo P si alza, senza più alzare l'asta *tt'*, perchè questa dopo poco incontra la base superiore del corpo di tromba, che le impedisce di inoltrarsi. Finalmente, alla valvula S è stata sostituita un'altra valvula metallica, fissata nell'interno dello stantuffo, e che si richiude da per se per mezzo di una molla.

237. Fin qui una tal macchina non è abbastanza comoda in pratica. Quando si principia a fare il voto nel recipiente, si solleva lo stantuffo con la massima facilità, poichè l'aria interna che esso contiene ha quasi la stessa forza elastica dell'aria esterna: ma quando si fa un voto molto considerevole, l'aria interna del recipiente ha una forza elastica debolissima. Lo stantuffo deve sollevare il peso dell'atmosfera; dunque bisogna fare uno sforzo notabile per alzarlo nel corpo di tromba. Ma si rimedia facilmente a questo inconveniente nelle macchine moderne di questo genere, controbilanciando il peso dell'atmosfera col peso dell'atmosfera stessa. Si fa uso perciò di due corpi di tromba, che per mezzo d'un condotto comune si mettono in comunicazione col recipiente (*fig. 155*). Questi sono perfettamente eguali, e nella loro interna costruzione non

differiscono dal precedente; e solamente le aste degli stantuffi sono dentate, e incastrano ambedue in una ruota parimente dentata, che si gira per mezzo d'un manubrio MM' , a traverso del quale passa l'asse della ruota: questa nel girare, opera contemporaneamente sopra i due stantuffi, sicchè mentre ne alza uno, abbassa l'altro. E poichè l'atmosfera gravita egualmente su quello che sale e su quello che scende, così l'effetto per far agire la macchina è sempre lo stesso nell'un tempo e nell'altro.

238. Per quanto sia buona una macchina pneumatica, pur non si giunge mai a fare un voto perfetto nel recipiente, giacchè ad ogni salita di stantuffo, l'aria contenuta in questo recipiente, per quanto ridotta a pochissima quantità, non passa che in parte nel corpo di tromba; ed inoltre l'umido che può trovarsi aderente alle pareti interne della macchina, somministra sempre un po' di vapore; di più, dopo una lunga azione, l'olio stesso destinato a render più facile il moto degli stantuffi, passa in parte esso pure allo stato gassoso.

È dunque necessario il poter giudicare ad ogni momento il voto che si è fatto. Ciò si ottiene col mettere in comunicazione l'interno del recipiente della macchina, con la parte superiore di un barometro comune a pozzetto: anzi nelle macchine più moderne, il barometro è sempre annesso, ma in modo da poterlo togliere a piacere. Prima che l'aria del recipiente sia stata rarefatta, preme sul mercurio interno del tubo barometrico con tanta forza, con quanta l'aria esterna preme sul mercurio del pozzetto; e nell'uno e nell'altro il livello è lo stesso: ma a misura che si fa il voto, la forza elastica dell'aria interna del recipiente scemando sempre più, il mercurio salirà necessariamente nel tubo; e poichè vi salirebbe alla stessa altezza che in un barometro libero, se si facesse il voto perfetto, così la differenza fra quest' altezza e l'altezza osservata, indica il grado del voto fatto. Sia h l'altezza del mercurio nel barometro adattato alla macchina, p la pressione dell'atmosfera; l'elasticità dell'aria interna sarà $p-h$. Ma l'aria del recipiente occupava lo stesso volume prima d'esser rarefatta, sotto la pressione p ; e poichè i pesi d'uno stesso volume d'aria son proporzionali alle pressioni, risulta, che se 1

rappresenta il peso dell'aria primitiva, $1 \times \frac{p-h}{p}$ sarà il peso

dell'aria dilatata.

In alcune macchine pneumatiche si giudica del voto fatto per mezzo di uno strumento detto *provetta* o *barometro raccorciato*, che si mette sotto una piccola campana. Questa cam-

pana è fissata ermeticamente sopra un piede, voto internamente; sicchè invitato questo sul tubo che stabilisce la comunicazione fra i corpi di tromba e il recipiente della macchina, tanto sotto questo recipiente, quanto nella campana è la stessa aria. Ecco ora in che consiste questo strumento. Esso è formato di un tubo BCA (*fig. 156*), curvato a forma di sifone, alto 8 o 10 pollici incirca: uno de' suoi bracci è aperto, e l'altro CB è chiuso e pieno esattamente di mercurio. Or siccome questo strumento comunica col recipiente, se in questo si potesse fare il voto perfetto, è chiaro che il mercurio si livellerebbe nei due bracci, poichè scendendo nel braccio chiuso, lascia sopra di se uno spazio perfettamente voto, e quindi non sarebbe premuto più da una parte che dall'altra. Dunque si abbasserà nel braccio chiuso, a misura che l'aria si rarefarà nel recipiente, ma vi resterà sempre ad un'altezza maggiore che nel braccio aperto: e la differenza di livello, misurata da una scala segnata sullo strumento, indicherà il vero grado di voto del recipiente.

239. Ora possiamo calcolare in qual proporzione si toglie l'aria da un recipiente per mezzo d'una macchina ridotta a questa perfezione. Basta pertanto conoscere il rapporto fra la capacità del recipiente, compresi i tubi di comunicazione, e uno dei corpi di tromba. E diciamo uno solo di questi corpi, perchè essendo ambedue eguali, e gli stantuffi essendo connessi fra loro in modo, che quando uno è all'estremità superiore del suo corpo di tromba, l'altro è all'inferiore del suo, così è chiaro, che il volume della quantità d'aria che esce per ogni giro del manubrio, è eguale alla capacità d'uno solo dei corpi di tromba (*a*).

(*a*) Sia *F* la capacità del recipiente, *P* quella di ciascun corpo di tromba, $\frac{F}{P}$ sarà il rapporto fra queste capacità; e sia *A* la massa

d'aria contenuta nel recipiente. Per maggior semplicità supponiamo che uno degli stantuffi sia nel suo punto più basso, e l'altro nel suo punto più alto: per un giro del manubrio, questo scenderà al suo punto più basso: e poichè il volume della quantità d'aria era $F+P$, e *P* era l'aria esistente sotto la base di questo stantuffo, questo primo giro di manubrio avrà fatto escire questo volume *P* d'aria; quindi dalla

proporzione $A : x :: F+P : P$, avremo $x = \frac{AP}{F+P}$, aria estratta

con questo primo giro: quindi la quantità d'aria rimasta sotto il recipiente, sarà $A - \frac{AP}{F+P} = A \frac{F}{F+P}$. Il resto si troverebbe pure dalla proporzione $A : x :: F+P : F$. Per un secondo giro di manubrio que-

Applicazione

240. Il rapporto fra la capacità di uno dei corpi di tromba d'una macchina pneumatica, e un recipiente in cui voglia farsi il voto, sia :: 5 : 12; e il recipiente contenga 5^{lit.} 35 d'aria. Si domanda quanta aria resterà in esso dopo otto colpi di stantuffo. Ecco il prospetto dell'esperienza.

	Quantità d'aria estratta	Quantità d'aria rimasta
	litri	litri
1.° colpo di stantuffo.	1,573	2,776
2.°	1,111	2,666
3.°	0,784	1,882
4.°	0,553	1,328
5.°	0,391	0,938
6.°	0,276	0,662
7.°	0,195	0,467
8.°	0,137	0,330

Dunque dopo otto colpi di stantuffo, l'aria che resta nel recipiente è 0^{lit.} 33.

Per quanto bastasse calcolare solamente l'ultimo resto, nondimeno abbiamo creduto utile il porre sotto gli occhi dei lettori la progressione decrescente delle quantità d'aria estratta, e di quella che resta; e per assicurarsi dell'esattezza dei calcoli, basta aggiungere all'ultimo resto le quantità estratte, e dovrà aversi la primitiva quantità d'aria.

sto stantuffo abbassandosi, farà pure escire un volume d'aria eguale a P, il peso della quale, calcolato per mezzo della proporzione

$\frac{AF}{F+P} : x' :: F+P : P$, sarà $x' = \frac{AFP}{(F+P)^2}$. Con un terzo giro, si toglierà

rebbe $\frac{AF^2P}{(F+P)^3}$. . . , e con n giri, $\frac{AF^{n-1}P}{(F+P)^n}$. Il primo resto è $\frac{AF}{F+P}$;

il secondo $\frac{AF^2}{(F+P)^2}$; il terzo $\frac{AF^3}{(F+P)^3}$; l'^mmo $\frac{AF^m}{(F+P)^m}$. Per saper dunque

la quantità d'aria che resta sotto il recipiente dopo m giri del manubrio, basta moltiplicare la quantità primitiva per la potenza m^{ma} del rapporto della capacità del recipiente alla somma delle capacità di questo recipiente stesso e d'un corpo di tromba.

241. Del resto, questi apparecchi sono d' un uso frequente in Fisica, e specialmente la macchina pneumatica serve a verificare moltissime esperienze istruttive. Così per provare che l'aria è necessaria alla respirazione, si pone sotto la campana un uccello, e facendo il voto, si vede l'animale ansare e morire. Parimente per provare che nell'acqua ed in qualunque altro liquido esiste aria, basta porre sotto il recipiente un vaso pieno di un liquido qualunque, e dopo i primi colpi di stantuffo si vede l'aria sprigionarsi in forma di bolle. Con la medesima macchina si prova ancora, che l'ebullizione dei liquidi sulle alte montagne è più pronta che al livello del mare. Infatti se si mette sotto il recipiente un vaso d'acqua tepida, si vede che bolle dopo che l'aria viene alquanto rarefatta; e se si lascia entrar l'aria di nuovo, subito cessa l'ebullizione.

Abbiamo pur detto altrove, che i gas, in virtù dello stato repulsivo delle loro molecole, tendono continuamente a dilatarsi. Ora per provare evidentemente questa proprietà, si pone sotto il recipiente una vescica che contenga una piccolissima quantità d'aria; e si osserva, che in proporzione del voto che si fa, essa si gonfia, ed empie infine tutto il recipiente.

Macchine di compressione

242. Le macchine di compressione servono a condensar l'aria in un dato spazio; e però sono l'opposto delle macchina pneumatica, la quale serve a rarefarla. La più semplice è composta di un corpo di tromba AC (*fig* 157), in cui scorre uno stantuffo tutto solido; la parte inferiore di questo corpo di tromba corrisponde ad un piccolo condotto a cui si invita il recipiente B, nel quale si vuol condensar l'aria; e all'orifizio di questo condotto è una valvola, che si apre dall'alto in basso: alla parte superiore poi del corpo di tromba è una piccola apertura *t*, per la quale entra l'aria esterna. Da questa disposizione si rileva chiaramente, che quando lo stantuffo P si abbassa, tutta l'aria che si trova nel corpo di tromba, venendo molto compressa, sforza la valvola ad aprirsi, e si introduce così nel recipiente B. Ma appena si alza lo stantuffo, si forma un voto nel corpo di tromba, la forza elastica dell'aria del recipiente tiene maggiormente chiusa la valvola, e però non può escirne. Quando lo stantuffo è sopra l'apertura *t*, l'aria esterna si precipita nel voto che è sotto di esso, e lo empie: allora si abbassa lo stantuffo, la nuova aria entra pure nel recipiente, ec., e così, ripetendo l'operazione, si condensa l'aria in esso quanto si vuole.

243. Nei corpi di tromba che si costruiscono presentemente per

condensar l'aria, non v'è altra differenza, se non che in vece della valvula S v'è una valvula meccanica che s'apre dal di fuori al di dentro, per dar adito a tutto ciò che tende a entrare nel recipiente, e si richiude per effetto di una molla, impedendo così a ciò che vi è entrato, di escirne. Anco all'apertura t del corpo di tromba è sostituita una valvula S' (fig. 158), che si apre dall'esterno all'interno per lasciar passar l'aria, e si richiude poi quando l'aria del corpo di tromba ha acquistato un certo grado d'elasticità.

Finalmente, per render continua l'azione della macchina, si usano due corpi di tromba, collegati insieme per mezzo di una ruota dentata, come nella macchina pneumatica; ma in quella di compressione questi non producono lo stesso vantaggio, poichè è chiaro, che è necessario uno sforzo molto considerevole per condensar l'aria esterna nel recipiente. Per scemare questo sforzo si fanno gli stantuffi del minor diametro possibile. Per evitar poi qualunque accidente, nel caso che il recipiente mn si rompesse per effetto della condensazione dell'aria, si circonda questo con una forte rete di ferro, e si fissa fra due piani di rame, tenuti stretti con viti (fig. 159).

In questa macchina ad ogni colpo di stantuffo si introduce nel recipiente una stessa quantità d'aria, mentre nella macchina pneumatica l'aria che si estrae scema in progressione geometrica.

244. Per conoscere il grado di condensazione operata con questa macchina, il mezzo più naturale sarebbe il mettere in comunicazione con l'aria del recipiente il pozzetto d'un barometro, di cui il tubo aperto alle due estremità pescasse per la sua parte superiore nell'atmosfera. Prima di far agir la macchina, il mercurio sarebbe allo stesso livello nel pozzetto e nel tubo, perchè l'aria interna del recipiente ha la stessa forza elastica dell'aria esterna; ma a misura che si condensasse l'aria, poichè la sua forza elastica diverrebbe sempre maggiore, il mercurio salirebbe sempre più; e si vedrebbe che l'aria è condensata, per esempio, il valore di una atmosfera, quando il mercurio si fosse alzato 28 pollici; di due atmosfere, se 56 pollici, ec. Ma questo mezzo non è adottato, perchè richiederebbe un tubo barometrico lunghissimo. Si fa uso piuttosto di uno strumento che è formato di un pozzetto pieno di mercurio, in cui pesca un tubo d'una certa lunghezza, chiuso alla sua estremità superiore, e pieno d'aria alla pressione ordinaria: s'invita questo apparecchio sul tubo CD , che mette in comunicazione il corpo di tromba e il recipiente della macchina, in modo che sul pozzetto sia a contatto l'aria del recipiente soltanto, e non vi abbia verun'azione l'aria esterna. Prima che la macchina agisca, il mercurio è allo stesso

livello nel pozzetto e nel tubo, perchè l'aria interna di questa provetta ha la stessa forza elastica dell'aria del recipiente: ma a misura che si condensa l'aria nel recipiente, il livello cambia, e il mercurio del pozzetto, premuto da una forza maggiore, va salendo nel tubo; e dalla differenza di livello, si rileva facilmente il grado di condensazione (a).

Schioppo a aria

245. Questo schioppo, come il nome stesso lo indica, opera per solo effetto d'aria condensata. La sua parte principale è un calcio di ferro, alla bocca del quale è una valvula elastica che si apre dal di fuori al di dentro. Per caricare questo schioppo si invita alla bocca del calcio un corpo di tromba analogo a quelli delle macchine di compressione, e dopo aver condensata nel calcio una certa quantità d'aria, si leva il corpo di tromba, e si invita in sua vece una canna di ferro lunga 4 piedi incirca, e nella quale si introduce una palla adattata al calibro di essa, come negli schioppi ordinarii. Per far escir la palla, si tira semplicemente col dito una piccola molla adattata al calcio, la quale fa aprire la valvula; quindi esce una porzione dell'aria che vi era condensata, la quale con la sua elasticità spinge fuori la palla, mandandola a grandissima distanza. E poichè la valvula si richiude quasi appena aperta, poca è l'aria che esce,

(a) Sia h questa differenza: la forza elastica dell'aria interna del recipiente fa equilibrio all'aria del tubo e alla colonna h . Se dunque P rappresenti la forza elastica primitiva di quest'aria, la quale non è altro se non che la pressione dell'atmosfera, V sia il suo volume primitivo, V' il volume attuale, ambedue osservati per mezzo di una scala segnata accanto al tubo o sul tubo stesso, la sua forza elastica attuale

secondo la legge di Mariotte, sarà $\frac{VP}{V'}$, e quindi $\frac{VP}{V'} + h$ rappresenterà

quella dell'aria interna del recipiente: ma si sa che le quantità d'uno stesso gas, di volumi eguali, sono proporzionali alle forze elastiche; dunque se sia A la quantità d'aria contenuta nel recipiente prima dell'esperienza, e x rappresenti la quantità che vi è condensata, la porzione

$$A : x :: P : \frac{VP}{V'} + h \text{ ci darà } x = A \left(\frac{\frac{VP}{V'} + h}{P} \right)$$

$$= A \left(\frac{VP + V'h}{V'P} \right); \text{ oppure in altri termini, l'aria è stata condensata}$$

nel recipiente nel rapporto di 1 a $\frac{VP + V'h}{V'P}$.

sicchè posson tirarsi molti colpi con lo stesso schioppo, senza bisogno di caricarlo di nuova aria. Quando nello stoppaccio è mescolata qualche materia dura, come sabbia o legno, si vede alla bocca della canna uno sprigionamento di luce.

Fontana di compressione

246. Questa fontana consiste in un vaso di forma AB (*fig.* 160). Nel mezzo di esso passa un piccolo tubo che entra per l'apertura o, la quale si chiude e si apre a piacere per mezzo di un robinetto R; e in questa è invitato il tubo che scende fin quasi in fondo del vaso. Si leva il tubo, per empier d'acqua il vaso fino in S, e poi si rimette; quindi si invita in o un corpo di tromba simile a quello dello schioppo a aria, si apre il robinetto R, e si fa agir lo stantuffo. L'aria che esso comprime penetra per il tubo nel vaso, e con la propria elasticità accresce quella dell'aria interna della fontana, sicchè con un'azione dello stantuffo alquanto prolungata, si può condensare una gran quantità d'aria nella parte superiore S. Dopo ciò si chiude il robinetto, per svitare il corpo di tromba, e in vece di questo vi si adatta un tubo che termina in un orifizio stretto. Allora, se si apre il robinetto, l'aria condensata sull'acqua, avendo una forza d'elasticità maggiore di quella dell'aria esterna, che preme su quest'acqua medesima per l'apertura del vaso, la fa escire in forma di zampillo che in principio si eleva a molta altezza, ma va sempre poi abbassandosi, a misura che scema la forza elastica dell'aria interna, e in fine cessa totalmente.

DELLE TROMBE

247. La teoria delle trombe va unita naturalmente a quella del barometro e di tutti gli apparecchi, gli effetti dei quali dipendono dal peso dell'atmosfera.

Vi sono tre specie di trombe: tromba aspirante, tromba premente, tromba aspirante e premente, o tromba composta.

248. La tromba aspirante è formata di un canale AB (*fig.* 161), chiamato corpo di tromba, che con l'estremità inferiore pesca nell'acqua, e nel quale si fa salire e scendere a piacere, per mezzo di un'asta T, uno stantuffo P, che empie esattamente l'interno del corpo di tromba. Questo stantuffo è munito di una valvula F che si apre dal basso in alto; e nell'interno del corpo di tromba, ad una distanza dal livello dell'acqua minore di 32 piedi, è un'altra valvula F', che si apre nel medesimo senso. Quando lo stantuffo scende, la valvula F' resta chiusa.

sa per il suo proprio peso; ma la valvula F è sollevata dalla forza elastica dell'aria compresa fra lo stantuffo e la valvula F', e di qui esce quest'aria. Quando si alza lo stantuffo, si forma un voto sotto di esso, la valvula F si chiude naturalmente, tanto per effetto del suo proprio peso quanto per la pressione atmosferica: al contrario la valvula F' è sollevata dalla forza elastica dell'aria compresa fra essa e la superficie dell'acqua. Quest'aria si sparge dunque in parte nello spazio voto, che è al disotto dello stantuffo; e poichè la sua forza elastica necessariamente scema, la pressione dell'atmosfera fa salir l'acqua ad una certa altezza nella parte del corpo di tromba situata al disotto della valvula F'. Se si abbassa di nuovo lo stantuffo, la valvula F' si chiuderà, la valvula F si aprirà, e uscirà l'aria dello spazio FF'. Si rialzerà allora lo stantuffo, F si chiuderà, F' si aprirà e lascerà passare sopra di se una nuova quantità d'aria che si trova al disotto, dal che pure resulterà ascensione d'acqua nel corpo di tromba, e così di seguito. È chiaro che questa continua azione dello stantuffo farà in poco tempo salir l'acqua sopra la valvula F'; e giunto lo stantuffo a contatto con essa, il liquido verrà sopra la valvula F, ed una certa quantità ne potrà esser trasportata per mezzo dello stantuffo medesimo ad un'altezza voluta, e sgorgare per un tubo laterale o.

Perchè una tromba aspirante produca l'effetto, bisogna che la valvula F' del corpo di tromba sia posta ad una distanza dal livello dell'acqua del serbatoio, non maggiore di 32 piedi, poichè oltre questa altezza l'acqua non arriverebbe mai alla valvula F', per quanto si facesse il voto nella parte M, non potendo il peso dell'atmosfera fare equilibrio che ad una colonna di 32 piedi d'acqua.

249. La tromba premente è formata essa pure d'un corpo di tromba AB (*fig. 162*), in cui sale e scende al solito uno stantuffo P. Se non che, in questa tromba esso è solido totalmente, e il tubo per il quale esce l'acqua, nasce alla base inferiore del corpo di tromba, e pesca ancora in parte nel serbatoio *mn*. All'ingresso di questo tubo è una valvula F che si apre dall'interno all'esterno del corpo di tromba; e questo immediatamente al di sotto del tubo laterale presenta un'altra valvula F' che si apre dal basso in alto. Quando si abbassa lo stantuffo, F' sta chiusa, ed F si apre per lasciar escir l'aria che esso condensa: quando si rialza, la valvula F si chiude, e poichè l'acqua tende sempre a mettersi a livello, F' si apre, ne lascia passare sotto di se una porzione, e poi si richiude. Si abbassa nuovamente lo stantuffo, F subito si apre per lasciar passare l'acqua, la quale viene nel tubo laterale fino ad una certa altezza. E così seguitando a far agir lo stantuffo, ad ogni ele-

vazione di esso una certa quantità d'acqua arriva sopra F' , ma ad ogni discesa, quest' acqua vien respinta nel tubo laterale, nel quale essa giunge poi a tale altezza, da potere sgorgare per l' orifizio o . In questa tromba non ha alcuna influenza la pressione dell' aria atmosferica, sicchè si otterrebbero gli stessi effetti anco nel voto; mentre nella tromba aspirante l' ascensione dell' acqua è effetto soltanto della pressione dell' atmosfera, sicchè non produrrebbe nessun effetto nel voto.

250. La tromba composta, così detta perchè produce gli effetti delle due precedenti, non differisce dalla tromba premente, se non in quanto che la valvula F' , e in conseguenza il tubo laterale, sono sopra il livello dell' acqua mn . Quando si abbassa lo stantuffo P (*fig. 163*) la valvula F' sta chiusa, e tutta l' aria compresa fra F' e P esce per la valvula F . Quando si alza lo stantuffo, F si chiude, F' si apre, e l' aria compresa fra questa e il livello dell' acqua, si sparge in parte nel voto formato sotto lo stantuffo. Si vede dunque, che facendo agir questo sufficientemente, si giunge ben presto ad alzar l' acqua sopra la valvula F' ; di là si spingerà nel tubo laterale sopra la valvula F , e quindi si potrà farla salire tanto in alto in questo tubo, che venga a sgorgare per l' orifizio o . È inutile avvertire, che in questa tromba ancora, come nella tromba aspirante, la valvula F' deve essere sopra il livello dell' acqua, ad un' altezza minore di 32 piedi,

Il getto si rende continuo, aggiungendo al tubo laterale un serbatoio d' aria. Per l' azione dello stantuffo l' acqua s' alza nel serbatoio R (*fig. 164*), e primieramente vi condensa l' aria che v' è, e dopo pochi colpi di stantuffo esce per il tubo S : e poichè l' aria preme continuamente contro la superficie AC del serbatoio, lo sgorgo del liquido sarà continuo, mentre nell' apparecchio precedente è prodotto soltanto dall' abbassamento dello stantuffo. La pratica insegna, che il serbatoio a aria deve avere una capacità ventitre volte incirca maggiore di quella della parte del corpo di tromba percorsa dallo stantuffo. La tromba premente modificata in questa maniera, può servire utilmente come tromba da irrigare i giardini, ec.

255. Sono state proposte diverse trombe a due stantuffi. La seguente (*fig. 165*), imaginata da Riccardo Franklin, ci sembra una delle più semplici e delle più ingegnose: ab è la leva che serve a muovere i due stantuffi P e P' ; il punto fisso della leva è in o ; bd è l' asta attaccata allo stantuffo inferiore P' , cf l' asta attaccata al superiore P : due ruote m, m' girando intorno a se stesse, mantengono verticali gli stantuffi. Dalla figura apparisce, che la leva ab alzandosi, fa salire lo stantuffo inferiore e scendere il superiore: e poichè le valvole degli stantuffi si

aprono dal basso in alto, ognuno di essi nell'abbassarsi lascerà passar l'acqua sopra la sua valvula, e la solleverà col suo moto d'ascensione. Del resto AB rappresenta il corpo di tromba, H il condotto che pesca nell'acqua, e K il tubo di scarico.

252. *La tromba da incendio* (fig. 166) che si usa in Francia, è composta di due corpi di tromba, fra i quali è un serbatoio a aria: questa tromba è situata in un serbatoio che si empie d'acqua; l'acqua è aspirata dalla tromba e respinta nel serbatoio, dal quale per mezzo d'un condotto di cuoio viene spinta nella direzione voluta. Vi sono alcune lastre di rame traforate che impediscono alla ghiaia, rena, ec. di penetrare nel corpo di tromba. Spesso i corpi di tromba son disposti in modo, da comunicare a piacere con qualsivoglia serbatoio d'acqua. In ognuno de' corpi di tromba, e in ogni condotto d'aria è una valvula, la quale lascia passar l'acqua dal serbatoio nel corpo di tromba, e da questo nel recipiente in cui vuol condursi.

Fontana intermittente

253. Questa fontana non sgorga che a intervalli, come lo indica il suo nome. Per quanto sia di poco uso nelle arti, nondimeno merita d'esser conosciuta, perchè è molto ingegnosa, e di più presenta un'applicazione delle cognizioni che abbiamo acquistate nell'elasticità e sul peso dell'aria. Il serbatoio è ordinariamente un globo di vetro (fig. 167), attraversato nella direzione del suo asse verticale da un tubo metallico AB. Questo ha la sua estremità superiore a piccola distanza dalla parte più alta del globo; l'estremità inferiore, alquanto incavata lateralmente, tocca il fondo d'un pozzetto CD, che ha nel centro un piccolo foro. Il tubo, tenuto in situazione verticale da un cilindro metallico EF nel quale è incastrato, e che è fissato al pozzetto CD, entra nel globo per un'apertura cilindrica che chiude esattamente. Finalmente intorno a questo tubo, il globo ha varii fori, ai quali sono adattati altrettanti piccoli tubi metallici t , t' , t'' .

Si empie il globo quasi interamente d'acqua per un'apertura o, che poi si richiude. L'aria interna essendo in equilibrio con la pressione esterna, il liquido sgorga in principio per effetto del suo proprio peso dagli orifizi t , t' , t'' , cade nel pozzetto CD, e per il foro indicato passa nel recipiente che è al di sotto di questo: ma poichè questo foro è tale, che in un tempo dato lascia escire minor quantità d'acqua che tutti insieme i tubi t , t' , t'' , accadrà che dopo un certo tempo l'incavo che è alla base del tubo metallico AB sarà totalmente chiuso dall'acqua del pozzetto, e allora l'aria esterna non potrà più salire in questo tubo per entrare nel globo.

Ma l'acqua continuando sempre a sgorgare per i tubi t, t', t'' , lo spazio superiore, cioè il volume dell'aria che la preme internamente, diverrà sempre maggiore, e quindi diverrà sempre più debole la sua forza elastica. E poichè dall'altra parte i tubi t, t', t'' sono strettissimi, è chiaro che dopo un certo tempo questa forza elastica, unita alla colonna d'acqua che resta nel globo, sarà equilibrata dalla pressione esterna, e allora lo sgorgo cesserà. Frattanto l'acqua sgorgerà dal pozzetto CD; e quando in conseguenza tornerà libera l'apertura dell'incavo, l'aria esterna si introdurrà nuovamente nel globo: allora ripriincerà lo sgorgo, e proseguirà finchè l'incavo stesso non sia nuovamente chiuso dall'acqua, nel qual caso cesserà di nuovo lo sgorgo, e così di seguito, finchè non resti più acqua nel globo.

Quando si fa l'esperienza si osserva, che lo sgorgo dell'acqua è quasi immediatamente seguito dalla improvvisa apparizione di una bolla d'acqua, che dal vertice del tubo AB si getta sulle pareti del globo. Questa piccola bolla deriva da una goccia d'acqua che l'aria porta seco nel salire nel tubo, e lo sgorgo principia prima che ce ne accorgiamo, perchè a misura che essa sale, respinge nel globo l'aria che si trova nel tubo, e accresce la sua forza elastica quanto basta per far ripriinciare lo sgorgo (a).

(a) La fontana intermittente dà luogo a molti importanti problemi, e che si sciolgono con l'applicazione dei principii precedenti. 1.º Un cilindro chiuso è pieno di mercurio fino ad una certa altezza, e nella parte superiore contiene aria asciutta, alla pressione esterna H. Si domanda quanto mercurio escirà, se si faccia un'apertura alla base. Sia A l'altezza totale del cilindro, B l'altezza del mercurio, X

altezza del mercurio escito. Avremo $B - X + H \left(\frac{A - B}{A - B + X} \right) = H$.

2.º Scogliere la stessa questione sostituendo l'acqua al mercurio. Supporremo gli stessi dati; e ammetteremo inoltre, che alla temperatura dell'esperienza, la forza elastica del vapore acquoso sia F. È chiaro che lo sgorgo sarà interrotto, quando l'elasticità dell'aria asciutta, scemata a motivo della dilatazione, più la forza elastica del vapore che essa contiene, più la colonna d'acqua farà equilibrio al peso dell'atmosfera. Ora l'elasticità dell'aria asciutta è $H - F$. Il volume cre-

ce nel rapporto $\frac{A - B + X}{A - B}$; l'elasticità dell'aria crescerà in un rap-

porto inverso, e sarà $(H - F) \frac{(A - B)}{(A - B + X)}$. La forza elastica del va-

pore è sempre F, perchè v'è acqua abbastanza per saturare lo spazio a misura che cresce per lo sgorgo del liquido. E poichè le diverse elasticità, come pure la pressione esterna, sono espresse per altezze di mercurio, bisogna dividere la colonna d'acqua residua per 13,586, den-

Fontana d' Erone

254. Questa fontana è composta di due globi, tenuti uno sopra l'altro con un cilindro intermedio. In questo cilindro è un tubo metallico che mette in comunicazione i due globi, e che si prolunga nel superiore fino ad una certa distanza dalla sua parte più alta. Al di sopra è un pozzetto AB, (*fig. 168*) per il centro del quale passa un tubo verticale *oc*, che pesca nel globo superiore quasi fino in fondo, e che dall'estremità aperta *o* scema sempre di diametro. Finalmente questo pozzetto comunica ancora col globo inferiore per mezzo d'un tubo laterale HK, che pesca quasi fino in fondo di questo globo. Empito d'acqua fino ad un certo punto il globo superiore, l'aria interna premendo sulla sua superficie egualmente che l'aria esterna, a cui dà il passaggio per l'orifizio *o*, si vede che essa è al medesimo livello nel tubo *oc* e nel globo. Ma se per il tubo HK si versi un po' d'acqua nel globo inferiore, l'aria di questo sale in parte nel globo superiore, accresce la forza elastica di quella che già vi è; e in virtù di questa forza elastica, l'acqua elevandosi nel tubo *oc*, escirà in forma di getto. Quest'acqua, a misura che caderà nel bacino AB, anderà per il tubo HK nel globo inferiore, il che manterrà la forza elastica dell'aria interna dei due globi. Dall'altra parte si vede che il getto d'acqua durerà tanto più, quanto maggiore sarà la capacità del globo inferiore, relativamente a quella del superiore.

Pressa idraulica

255. Pascal nel suo *trattato dell'equilibrio dei fluidi*, ha concepito la prima idea di questo strumento; e un meccanico inglese verso il 1796, applicò il principio di Pascal alla costruzione della pressa idraulica, della quale la *fig. 169* rappresenta una sezione verticale. ABCD è il quadro della pressa; EF l'oggetto da comprimersi; HK una lastra di ferro fuso, premuta da uno stantuffo P contro un'altra lastra MN; *p* stantuffo della tromba premente, che serve a introdurre l'acqua destinata a spingere lo stantuffo P della pressa; *xx* serbatoio pieno d'acqua; *r* ostacolo per limitare il corso dello stantuffo *p*; *m* valvola che lascia entrar l'acqua nel corpo di tromba in cui si muove *p*, e che si apre dal di fuori

sità del mercurio. Avremo dunque l'equazione

$$(H-F) \frac{(A-B)}{(A-B+X)} + F + \frac{B-X}{13,546} = H.$$

Sciogliendo queste equazioni si ha il valore di X, che è la sola quantità ignota.

al di dentro. In n è un'altra valvula, per la quale l'acqua è iniettata nel canale nl , e si apre come la precedente. Primieramente si comprime l'oggetto più che si può. Questa prima operazione è necessaria per evitare un lavoro lungo ed incomodo, giacchè la pressa idraulica non comprime che a poco per volta: quindi si fa muovere lo stantuffo p , il quale, per mezzo d'una disposizione particolare, si conserva verticale nei suoi moti.

Per impedire che l'acqua esca per l'intervallo lasciato fra lo stantuffo P e il cilindro che lo inviluppa, si adatta un collarino di cuoio, che si stringe con un circolo metallico, il quale penetra nel cuoio e lo fa gonfiare, e ciò tanto più, quanto è più forte la pressione.

Quando si vuol ritirare l'oggetto, si aprono le valvole m , n , e l'acqua rientra nel serbatoio xx per il canale nl .

Noi qui abbiamo supposto un solo stantuffo alla tromba prememente; ma in alcune presse ne son due di diametro diverso. In queste, quando si vuol render più lento il moto della lastra HK , si fa cessare l'azione dello stantuffo maggiore, lasciando in azione il piccolo solo. Quanto abbiamo detto può bastare per dare un'idea della pressa idraulica, le particolarità della quale appartengono a un trattato di macchine.

Del resto, il vantaggio di questo strumento consiste nel poter esercitare una fortissima pressione per mezzo di una debolissima forza; e con un calcolo assai semplice, si può rilevare la forza esercitata sulla lastra HK .

Supponiamo che lo stantuffo p sia mosso da un uomo, per mezzo di una leva, i bracci della quale sieno $\therefore 10 : 1$: lo sforzo d'un uomo di forza media è almeno di 30 chilogrammi; quindi la pressione esercitata sullo stantuffo p sarà $30 \times 10 = 300$ chilogr. La base dello stantuffo p è molto piccola in paragone della base di P : se per esempio sieno nel rapporto di $\frac{1}{20}$, per le proprietà dei liquidi (n.º 42), la pressione esercitata sulla base totale di P , sarà $300 \times 20 = 6000$ chilogr. La qual forza può molto aumentarsi, accrescendo il braccio della leva e la base dello stantuffo P .

MACCHINE A VAPORE

256. Le macchine a vapore son divenute, da un tempo in qua, d'un'applicazione sì generale nelle arti, che la storia di esse merita di far parte anco d'un'opera elementare.

L'azione di queste macchine è fondata sullo sviluppo della forza elastica del vapore svolto dall'acqua per mezzo del calore.

Vedemmo già, che l'acqua in ebullizione, alla presenza dell'aria, dà un vapore capace di vincere la pressione atmosferica, ossia, capace di far equilibrio ad una colonna di trentadue piedi

d'acqua, e che questa forza cresce rapidamente al crescere della temperatura, poichè è doppia a 122 gradi, tripla a 135, ec. Era quindi naturale, che gli uomini cercassero di trar partito da una forza sì energica.

La forza motrice del vapore fa le veci della forza dell'uomo, degli animali, delle acque e dei venti, e ciò con incontrastabile superiorità; sicchè l'uso di essa ha prodotto una rivoluzione in tutte le parti dell'industria.

257. Esistono molte specie di macchine a vapore: 1.° le antiche macchine sono a semplice effetto, e in queste il vapore opera sopra una sola base dello stantuffo: 2.° le nuove macchine sono a doppio effetto, e in queste il vapore agisce alternativamente sulle due basi dello stantuffo. Le macchine che sono più in uso, son tutte a doppio effetto, e sono a bassa, a media e ad alta pressione, secondo che il vapore nella caldaia ha un'elasticità di una, due, tre, ec. atmosfere: 3.° In molte macchine il vapore, dopo aver esercitato il suo potere ad una temperatura poco diversa da quella della caldaia, si dilata senza ricever nuovo calore, e produce tuttavia un certo effetto; e queste macchine si dicono a *scatto*: 4.° finalmente nella maggior parte delle macchine, il vapore dell'acqua nell'escire dallo stantuffo è condensato dall'acqua fredda, e solamente in ben poche esso si mescola immediatamente con l'atmosfera. Noi parleremo con qualche particolarità delle tre principali macchine, 1.° di Newcommen, 2.° di Watt, 3.° di Woolf; e ciò che diremo di queste basterà per far comprender tutte le altre.

Macchina di Newcommen e di Cawley (a semplice effetto)

258. Per dare primieramente un'idea dell'uso del vapore come forza motrice, supponiamo che si voglia far agire lo stantuffo di una delle trombe che abbiamo nominate. Sia P lo stantuffo che deve salire e scendere nel corpo di tromba AB (*fig. 170*). A tal effetto, si attacca l'asta dello stantuffo ad una catena, che si avvolge sopra una delle estremità di una leva arcata CDC' D', mobile intorno al centro O. Se si avvolge una simil catena all'altra estremità, è chiaro, che tirando questa, si farà salire lo stantuffo P, e aspirar l'acqua nel corpo di tromba AB. Supponiamo ora che il peso dello stantuffo P sia tale, che lasciato a se stesso arrivi al fondo del corpo di tromba: l'acqua in tal caso aprirà la valvola (1), e passerà di sopra; sicchè se si tira di nuovo la catena C' D' P', si farà salire lo stantuffo con l'acqua di cui è carico, e

(1) Di cui è munita la base dello stantuffo medesimo, e che chiude dall'alto al basso.

nel tempo stesso si aspirerà una nuova porzione d'acqua nel corpo di tromba, e così di seguito.

Si voglia ora far salire e scendere lo stantuffo per mezzo del solo vapore. Si ponga dunque una caldaia a vapore sotto il corpo di tromba A' B'. La temperatura di questo vapore sarà eguale o superiore a 100°: esso può esser introdotto a piacere nel corpo di tromba per mezzo di un robinetto R, il quale serve a mettere in comunicazione la caldaia a vapore col corpo di tromba. Un piccolo canale laterale *th*, (1), che si apre dal di dentro al di fuori, è destinato a lasciar passar l'aria che si trova sotto lo stantuffo. Questo arrivato al più alto punto del suo cammino, non lascerà sotto di se che un piccolo spazio pieno d'aria: se allora si apra il robinetto della caldaia, il vapore si precipiterà nel corpo di tromba sotto la base dello stantuffo, scaccerà l'aria per il tubo *th*, per il quale esso pure escirà in parte, e con la sua forza di elasticità farà salire lo stantuffo P'. Dopo pochi momenti il contrappeso W fa scender P, e fa salire P'. Quando questo ultimo stantuffo è arrivato al più alto punto del suo corso, l'operaio chiude il robinetto R, e nel tempo stesso introduce una corrente d'acqua fredda per il tubo laterale *vu*. Quest'acqua condensa il vapore; l'acqua così condensata, come pure l'acqua d'iniezione, sgorga per il tubo *cz*; e poichè l'aria della parte inferiore del corpo di tromba è stata esclusa, così si produce un voto quasi assoluto. La pressione atmosferica agisce sulla base superiore dello stantuffo P', lo fa scendere, e nel tempo stesso fa salire lo stantuffo P.

Il tubo per il quale si scarica l'acqua del pozzo, è indicato da K; e quello per cui è mantenuto pieno il serbatoio *u*, è indicato da K'.

Il vapore non serve, per così dire, che a fare il voto sotto lo stantuffo P'; e il solo peso dell'atmosfera fa scender questo, e in conseguenza fa salire lo stantuffo principale P; e perciò appunto una tal macchina vien detta *macchina atmosferica*.

L'acqua è sempre almeno a 100 gradi di temperatura nel momento in cui il vapore si precipita sotto lo stantuffo; la sua temperatura cresce finchè sta chiuso il robinetto R, e ne cresce pure la forza, la quale potrebbe ancora divenir maggiore fino a far crepar la caldaia. Per prevenire adunque questo inconveniente, si fa un foro in un punto della parte superiore della caldaia, al quale si adatta una valvula H, che si apre dal di dentro al di fuori con uno sforzo noto e determinato. Finchè il vapore non ha che una forza elastica eguale alla pressione esterna, o più debole, la valvula resta chiusa; ma se essa divien tale da superare la pressione dell'atmosfera

(1) Chiuso con una valvula.

e la resistenza della valvula, questa si apre, il vapore si sprigiona, e non v'è alcun rischio d'esplosione. Ma poichè potrebbe accadere, che la valvula non cedesse nel momento opportuno, è bene costruir molto solida la caldaia.

259. Questa macchina presenta molti gravi inconvenienti. E primieramente è molto considerevole la perdita che si fa di vapore, poichè lo stantuffo e il cilindro venendo raffreddati ogni momento dall'iniezione dell'acqua fredda, una porzione di vapore si condensa entrando nel cilindro. Un altro difetto di questa macchina è la necessità d'un operaio per chiudere e aprire a tempo il robinetto d'iniezione, e il robinetto della caldaia a vapore, poichè in una buona macchina, l'azione del primo motore deve mettere in moto tutti i pezzi senza alcun soccorso estraneo. Nelle macchine di Newcommen, che pur si trovano ancora in qualche stabilimento di manifatture, i robinetti vengono aperti e chiusi dalla macchina stessa. Si racconta che un giovanetto, il quale aveva la commissione di aprire e chiudere i robinetti, imaginò un meccanismo che risparmiava tal uffizio.

Questa macchina, la quale in sostanza è quella di Savery, perfezionata da Newcommen e da Cawley, per quanto molto imperfetta, è sempre migliore di tutto ciò che era stato imaginato prima.

Macchina di Watt (bassa pressione)

260. Watt, fabbricator di strumenti a Glasgow, ebbe occasione di sottoporre la macchina di Newcommen a certe esperienze, dalle quali dedusse importantissimi risultamenti. Questo ingegnoso meccanico vedendo la distruzione di una quantità immensa di vapore, prodotta dall'iniezione dell'acqua fredda nel cilindro stesso, cercò il mezzo di operare questa iniezione in un vaso separato, da lui chiamato *condensatore*. Si sa che se il condensatore è voto d'aria e in comunicazione col cilindro nel momento dell'iniezione dell'acqua fredda, il vapore vi si precipita totalmente: dunque non si tratta che di toglier l'aria e l'acqua del condensatore, per mantenerlo costantemente voto, il che si ottiene con una tromba aspirante adattata alla macchina. In queste prime macchine, non potendosi estrarre l'aria totalmente, attesa la forma del condensatore, bisognava, al riprincipiar del lavoro, lasciar escire una quantità di vapore, che scacciasse l'aria a traverso di un tubo detto sfiatatoio. Nella macchina precedente, era necessaria la libera ammissione dell'aria sopra la superficie dello stantuffo; ed inoltre, per impedire il passaggio del vapore fra il cilindro

e lo stantuffo, si copriva lo stantuffo stesso d'uno strato d'acqua fredda, la quale, mentre esso era in moto, inumidiva e raffreddava il cilindro. La macchina di Newcommen così perfezionata, era a *semplice effetto*, ma Watt concepì l'ardito pensiero di sopprimere totalmente la pressione atmosferica, e di far dipendere il moto dello stantuffo solamente dalla forza del vapore, mettendo successivamente questo vapore in comunicazione con ambedue le basi del medesimo, e facendo nel tempo stesso il voto sulla faccia opposta. A tal fine adoprò il vapore ad un'elasticità eguale o poco maggiore della pressione atmosferica; e per impedire l'accesso dell'aria, chiuse il cilindro con un coperchio solidamente applicato, nel mezzo del quale entra a incastro l'asta dello stantuffo. Così la macchina di Watt presenta economia di tempo e di combustibile, poichè lo stantuffo agisce efficacemente ad ogni salita e ad ogni discesa, sicchè non v'è la minima quantità di vapore che sia inutile, per mantenere il cilindro e lo stantuffo ad un grado elevato di calore; il che risparmia quasi tre quarti del vapore che si richiede nella macchina di Newcommen. Fortunatissima fu questa scoperta per Watt, e vantaggiosissima per la sua nazione, la quale a sua gloria sulle nazioni rivali, per riconoscenza eresse a lui una statua.

261. La *fig. 171* rappresenta la sezione verticale della macchina di Watt, perfezionata quale presentemente si usa. Il vapore passa dalla caldaia nell'intervallo lasciato fra il cilindro AA e il suo involuppo CB, e per mezzo di una valvola a cateratta viene alternativamente e sopra e sotto lo stantuffo P: l'asta T di questo resta verticale per mezzo d'un parallelogrammo LK; il suo moto vien trasmesso al bilanciere IH; a questo bilanciere è fissata una staffa MN, che per mezzo della manovella RN fa girare l'albero o asse della ruota S, e con esso la ruota medesima, detta comunemente *volano*, e che serve a render regolare il suo moto. Così il moto rettilineo dello stantuffo è cambiato in un moto di rotazione. In I è adattato il *regolatore* (n° 267).

Per far salire e scendere alternativamente la cateratta E, è stato situato un eccentrico sull'asse del volano. Il collare metallico nel quale si muove questo eccentrico, è fissato ad un triangolo *zuc*: il vertice di questo triangolo è infilato in un pernio, insieme con una leva ad angolo *sqr*, la quale gira intorno ad un asse rappresentato da *q*: l'eccentrico poi fa avanzare e retrocedere l'estremità *u* del triangolo stesso, e imprime un moto alternativo alla leva.

L'estremità *r* di questa leva fa salire e scendere l'asta E, e questa leva medesima fa chiudere e aprire la valvola del con-

condensatore per mezzo d'un'altra leva. Così ad ogni precipitazione del vapore nel condensatore O, accade un'iniezione d'acqua fredda. La tromba a aria $t' p'$ toglie l'acqua dal condensatore, e la porta in un serbatoio aa' , dal quale, per mezzo della tromba alimentare tp , una porzione passa nella caldaia, e l'altra sgorga fuori. Finalmente il serbatoio d'acqua fredda mantenuto pieno dalla tromba $t'' p''$, comunica con un pozzo o con una sorgente qualunque d'acqua fredda.

In f' è un'animella che lascia sprigionare l'aria dell'acqua di condensazione. Varie aperture situate a convenienti altezze impediscono che i serbatoi aa' e bb' non si riempiano troppo.

Macchina di Woolf (a media pressione e a scatto)

262. Fin dal 1781 sono state costruite alcune macchine a vapore a due cilindri, e il primo che ne costruì una la quale agiva ad un'atmosfera, fu Hornlower, che meritò un brevetto d'invenzione. In seguito Woolf ha fatte simili macchine, capaci dell'azione di due o tre atmosfere (α). In queste specie di macchine il vapore della caldaia ha una temperatura maggiore di 100° ; i due cilindri sono egualmente alti, e le loro basi sono proporzionali all'espansione del vapore. Così se la forza elastica del vapore nella caldaia o nel piccolo cilindro è di tre atmosfere, il gran cilindro avrà una base tripla del piccolo, se si vuol dilatare il vapore fino ad una atmosfera in circa; ma è vantaggioso il dilatarlo tanto che si riduca alla forza di una mezza atmosfera solamente. La temperatura del condensatore essendo 40° , si trova che la perdita, in pressione, a malgrado della dilatazione, è tuttavia di 0,07 atmosfere. Il limite però di questa dilatazione, relativamente all'effetto che si desidera, non può determinarsi che con la pratica.

263. I due stantuffi sono attaccati all'estremità del medesimo bilanciere, sicchè si alzano e si abbassano nel tempo stesso. Il vapore entra primieramente nel cilindro piccolo, quindi per la parte superiore di questo passa nella parte inferiore del grande, e all'opposto dalla parte inferiore del primo passa nella parte superiore del secondo (fig. 172); e non passa nel condensatore, se non dopo aver agito sopra ambedue gli stantuffi. Per mantener sempre ad un grado quasi uguale di temperatura i due cilindri, Woolf gli involupa in un altro cilindro di ferro fuso; due tubi

(α) Steel e Aitkin hanno modificato il sistema di Woolf, adoprando tre cilindri in vece di due.

provenienti dalla caldaia, comunicano uno con la parte superiore dell'inviluppo, l'altro con la parte inferiore, e da questo inviluppo appunto il vapore passa nel piccolo cilindro. Era stato proposto di riscaldare questo inviluppo con un fuoco particolare, ma una tal modificazione non è stata adottata.

Per evitare ogni perdita di vapore, nel passare che esso fa da quest' ultimo fra lo stantuffo e il cilindro, Woolf aveva pensato di introdurre il vapore in un cilindro isolato, e di farlo agire sugli stantuffi per mezzo d' un liquido; ma neppure questa modificazione è stata eseguita in grande.

Il vapore agisce primieramente sul piccolo stantuffo con tutta la sua forza, quindi si dilata sotto lo stantuffo maggiore, sicchè nel momento in cui penetra nel condensatore, è molto abbassato in temperatura per effetto dell' espansione.

264. Le macchine a due cilindri sono state modificate in diverse maniere. Uniremo qui la descrizione della macchina che Edwards ha portato in Francia.

La *fig. 173* la rappresenta di faccia. AA è una lastra di ferro fuso, sulla quale è posata la macchina; BB è il livello del terreno. Qui si suppone tolto di mezzo tutto il materiale che forma il sostegno di AA, BB, per far vedere allo scoperto le diverse parti della macchina. CC è un bilanciante formato di un sol pezzo di ferro fuso sostenuto da un appoggio *aa*, che è di varia forma, secondo la forza della macchina e le località; D, è il volano parimente di ferro fuso, composto di sei segmenti riuniti con chiodi; E, tubo che conduce il vapore dalla caldaia all'inviluppo dei due cilindri; FF, staffa che trasmette il moto alla manovella del volano; HH, parallelogrammo dell' asta dello stantuffo; I condensatore, formato col fondo del cilindro della tromba a aria; KL, tubo che conduce il vapore dal gran cilindro al condensatore; M, piccola tromba alimentare, che attinge una porzione dell' acqua del condensatore per portarla nella caldaia. L'eccesso dell' acqua di condensazione è versato fuori dalla tromba a aria, e può utilmente servire per bagni, ec. Un robinetto *r* è destinato a regolare la quantità d' acqua calda che deve entrare nella caldaia, dove è portata dal tubo *rq*. P, moderatore a forza centrifuga. QR, leva che mette in comunicazione il moderatore con l' asta del robinetto d' introduzione del vapore. Un robinetto regola l' acqua introdotta dalla tinozza nel condensatore.

In questa figura non è disegnata la tromba a acqua fredda, ma essa è analoga a quella della macchina precedente.

Da molti anni Edwards ha introdotti vari miglioramenti parziali, che difficilmente potrebbero esser resi noti in un' opera elementare.

Macchine ad alta pressione

265. Esistono pure alcune macchine ad alta pressione, nelle quali il vapore ha un'elasticità di otto e anco di dieci atmosfere. Queste macchine hanno per carattere di agire senza condensare il vapore; e molte ne sono state stabilite in America da Oliviero Evans e Trevithick, come pure sono state adoperate con vantaggio nelle miniere del Perù. Esse son utili principalmente per le macchine locomotive, come le carrozze a vapore. Le caldaie di queste specie di macchine devono esser solidissime: il vapore passando nell'atmosfera ad un'alta temperatura, perde una gran quantità di forza, la qual perdita potrebbe divenir minore con l'uso dello scatto.

266. Conosciute così le principali macchine a vapore, è utile parlare con qualche particolarità delle più importanti parti di queste macchine. Queste sono, il moderatore, le valvule di sicurezza, le valvule per il passaggio del vapore o dell'acqua, il condensatore, la caldaia, il manometro, il volano, lo stantuffo, il bilanciere.

Regolatore

267. La *fig. 174* rappresenta questa parte importante di una macchina a vapore. Il regolatore serve, come abbiamo detto, a regolare l'apertura della valvula d'introduzione del vapore.

Lo stantuffo del cilindro comunica all'asta *ab* un moto di rotazione: una guida *cd* fissata sull'asta *ab* forata in *c* e in *d* riceve le leve *lp* e *qh*; la corona *mn* porta un cilindro voto che entra a incastro, e può alzare la leva *rv*, alla quale è fissato il robinetto d'introduzione. Se il moto di rotazione dell'asse *b* viene accelerato, la forza centrifuga allontana le masse *h* e *p*, la corona *mn* si abbassa, e in conseguenza il robinetto gira in modo da lasciare entrare meno vapore. La diminuzione del ruoto dell'asse *ab* produce un effetto contrario.

Stantuffo

268. La *fig. 175* rappresenta lo stantuffo che è più in uso comunemente. Questo consiste in due lastre *mn* e *cq*, fissate l'una all'altra con una vite: l'intervallo fra esse è pieno di stoppaccio intriso nel sevo; e le lastre si ravvicinano a misura che lo stoppaccio si consuma. Questo stantuffo è opportuno nelle macchine a bassa pressione; ma nelle macchine ad alta

pressione, nelle quali io stoppaccio presto si consuma, è stato sostituito uno stantuffo metallico.

Lo stantuffo metallico più vantaggioso è rappresentato dalla *fig. 176*. Questo è composto di sei pezzi di rame; tre pezzi A, B, C sono segmenti; fra i segmenti sono i cunei *a, b, c*; altrettante molle serrano questi e i segmenti contro il corpo di tromba; e così a misura che i segmenti si consumano, i cunei spinti dalle molle, entrano più oltre, e rendono così lo stantuffo perfettamente cilindrico. Simili stantuffi possono servire molti anni senza bisogno di riparazioni.

Valvole per il passaggio del vapore

269. La *fig. 177* rappresenta l'azione delle valvole, per mezzo delle quali il vapore passa dalla caldaia nel cilindro, e da questo nel condensatore.

Il tubo che conduce il vapore dalla caldaia sotto lo stantuffo, è indicato da A; BC è il tubo che imbecca nel condensatore D; *mn* e *pq* son due cassette divise ciascuna in tre compartimenti, nelle quali sono le valvole *a, b, c, f*, che si aprono in alto, e ciascuna cassetta comunica in basso e in alto col cilindro. Nel compartimento di mezzo d'ognuna di esse, è una comunicazione in *k* e in *l*, che corrisponde alla base superiore e all'inferiore del cilindro. Il vapore per il tubo A arriva nella camera superiore della cassetta *mn*, e passa per il tubo E nella camera superiore della cassetta di fondo.

Quando è aperta la valvola *a*, lo stantuffo con la sua base inferiore sarà in comunicazione col condensatore D, per mezzo dell'apertura *l* e del tubo BC; e nel tempo stesso essendo aperta la valvola *b*, il vapore passerà dal centro della cassetta superiore al disotto dello stantuffo, per l'apertura *k*. Se le valvole *a* e *b* son chiuse, ed *f* e *c* aperte, il vapore della caldaia arriverà al disotto dello stantuffo per l'apertura *l*; sicchè mentre il vapore della parte superiore del cilindro è in comunicazione con la caldaia, la parte inferiore comunica col condensatore.

Di varie forme sono state immaginate le valvole, ma noi citeremo particolarmente le valvole a cateratta (*fig. 178*), le quali hanno il vantaggio di essere assai più durevoli. Anzi l'attrito che provano le rende sempre più adattate alla loro destinazione, e però sono le più usitate nelle nuove macchine.

Il vapore arriva per il tubo T. ABCD è una cassa che ne contiene un'altra EF, e questa scorre a incastro contro AID, per mezzo dell'asta verticale HK, che per K passa a traverso di

una cassetta impermeabile al vapore. Tre condotti PS, P'S', RV partono dalla cassetta ABCD; il primo comunica con la parte superiore del cilindro; il secondo con la parte inferiore, e il terzo col condensatore. Il vapore della caldaia passa al di sopra dello stantuffo per PS e il vapore che è al di sotto dello stantuffo, passa nel condensatore per il tubo VR e per P'S'. Se la cassetta EF sale, il vapore della caldaia comunicherà per mezzo di P'S' con la parte superiore dello stantuffo, ec.

Valvule di sicurezza

270. Le valvule di sicurezza consistono in generale in una lastra metallica, che s'applica esattamente sull'apertura circolare d'una tubulatura della caldaia (*fig. 179*), e possono caricarsi più o meno. Esse son destinate a lasciar passare il vapore, quando è arrivato ad una tale elasticità, che, per il bisogno presente, non deve oltrepassare. Ciascuna caldaia ha una grossezza determinata, e che è capace di sostenere una data pressione, sicchè si farà tanto più consistente, quanto maggiore sarà la pressione che deve sostenere. E siccome gli operai spesso sopraccaricano imprudentemente le valvule, in Francia, chi presiede al buon ordine, in conseguenza di un rapporto dell'Accademia, ha prescritto che ogni caldaia sia munita di due valvule, una delle quali non sia a disposizione dei medesimi; e di più, per timore che queste valvule, rese alquanto immobili per il disuso, non agissero prontamente all'opportunità, è stato ordinato che ciascuna caldaia sarebbe munita di due dischi di metallo di una tal lega, che fosse fusibile a una data temperatura. Tale è appunto una lega di stagno, di bismuto e di piombo, che con la loro combinazione formano una lega fusibile a 100°, a 110° ec. secondo le proporzioni. In proposito di questi dischi fusibili, sono state fatte alcune obiezioni, che in questi elementi non è opportuno esaminare.

La valvula più sicura sarebbe forse un tubo pieno di mercurio, adattato alla caldaia, simile ai tubi a pallina degli apparecchi chimici (*fig. 180*), secondo le prove che ne ha fatte Edwards.

Finalmente ci sembrerebbe anco più facile il far pescare in un bagno di mercurio un tubo curvo della forma indicata dalla *figura 181*. Questo tubo presenterebbe uno spazio AB tale da ricevere tutto il mercurio in caso di assorbimento; e facilmente si troverebbe un posto per collocar questo tubo accanto alla caldaia. È chiaro però, che questo mezzo non è applicabile se non a quelle macchine, la pressione delle quali non è maggiore di tre o quattro atmosfere.

Caldaie

271. Le caldaie sono di rame di getto, o a lastroni. Nelle antiche macchine, esse sono di forma quasi sferica al di fuori, e di forma piana a contatto col fuoco; ma da molti anni sono state notabilmente modificate e perfezionate.

Nella macchina a scatto la caldaia consiste in due tubi cilindrici di getto, posti orizzontalmente uno accanto all'altro, e al disotto di una caldaia parimente cilindrica, ma cinque o sei volte più larga (*fig. 182*) (1). Nel centro della caldaia superiore, o serbatoio di vapore, è un'apertura *m* larga quanto basta, perchè un operaio possa esaminare al bisogno l'interno della caldaia medesima. Vi son pure altre aperture più piccole per le valvule di sicurezza, per i dischi fusibili, e per il comodo di introdurvi l'acqua calda.

Queste caldaie sono in oggi molto in uso. Si aggiunga, che la fiamma dopo aver riscaldato i bollitori, passa intorno alla maggior parte del gran cilindro.

In altri sistemi sono stati moltiplicati i bollitori. I tubi piccoli son necessari specialmente nelle macchine ad alta pressione, perchè la resistenza di questi tubi è in ragione inversa del diametro.

La *fig. 183* presenta una caldaia di una macchina a bassa pressione con tutti i suoi accessori.

Manometro

272. Il manometro delle macchine è un tubo di Mariotte in comunicazione con la caldaia, e murato nel luogo ove è la macchina (*fig. 184*). Ma questo tubo si rompe ed è fuor d'uso dopo qualche tempo; ed ha ancora un altro inconveniente maggiore, cioè non indica che inesattamente la pressione dell'interno della caldaia, perchè il tubo di vetro essendo disegualmente premuto al di fuori e al di dentro, cede e cresce in volume. Ci sembra, che sarebbe più utile sostituire a questa provetta un tubo aperto (*fig. 185*), per le macchine a media e a bassa pressione; e in tal caso, l'altezza del mercurio nel tubo aperto, aggiuntavi l'altez-

(1) Con l'interno di questa essi sono in comunicazione per mezzo di tubi verticali detti *bollitori*, che con l'estremità superiore sorpassano il livello dell'acqua della caldaia: sicchè la fiamma riscalda immediatamente l'acqua di questi cilindri e presto la riduce in vapore, che entrando nella caldaia, riscalda l'acqua direttamente; al che poi contribuisce la fiamma, la quale dopo avere investiti i piccoli cilindri, sollevandosi investe anco le pareti della caldaia come dice l'A.

za del barometro all' esterno, rappresenterebbe la pressione dell' interno della caldaia. Per le macchine locomotive ad alta pressione, sarebbe forse più conveniente il far uso d' una provetta, (*fig. 186*) nella quale il tubo che contien l' aria essendo egualmente premuto in dentro e in fuori, indicherebbe esattamente le pressioni; e se si volesse una determinazione esattissima, si potrebbe anco tener conto della compressione del vetro. Questa correzione però si suol trascurare, perchè la compressione del vetro è infinitamente minore di quella dei gas.

Del Volano

273. Watt ha trovato utile il volano, per render regolare il moto delle macchine a vapore, giacchè senza il volano, queste macchine non potrebbero servire che a far agire le trombe destinate ad innalzar l' acqua. Esso però non accresce la forza effettiva della macchina, anzi la scema di una quantità dipendente dall' attrito del suo asse, e dalla resistenza che prova il suo moto nel mezzo circostante, ma serve bensì a render regolare il moto. La *fig. 171* indica quello che è più in uso presentemente. In alcune macchine è anco della forma rappresentata dalla *fig. 187*.

Quali dimensioni debba avere il volano nelle diverse macchine, è questione che non entra nel piano che ci siamo proposti. (*Vedi le addizioni all' Opera di Belidor, ove Navier tratta profondamente una tal questione*).

Del Bilanciere

274. Il moto dello stantuffo deve esser rettilineo; e senza questa condizione la macchina verrebbe ben presto a distruggersi.

Nelle antiche macchine si ottiene questa rettitudine di moto dello stantuffo, adattando alla sua asta una catena di Vaucanson, che si avvolge sull' estremità del bilanciere, come si vede nella macchina di Newcommen (*fig. 170.*). Nelle macchine a doppio effetto, nelle quali l' asta dello stantuffo è spinta con forza eguale nella sua ascensione e nella sua discesa, era necessaria un' altra maniera di conservare rettilineo il moto dello stantuffo, e ciò è stato eseguito per mezzo d' un parallelogrammo, il modello del quale è rappresentato dalle *fig. 171. 173*.

La *fig. 188* rappresenta una maniera più semplice e assai comoda per macchine non molto grandi. Una guida attaccata all' estremità del bilanciere porta due piastrelle, una per parte, le quali premono contro i ritti AA, e cconservano lo stantuffo in una direzion verticale.

275. Paragoniamo ora le macchine a bassa, a media e ad alta

Tom. I.

15

pressione, per rilevare qual sia la più vantaggiosa omettendo quella di Newcomen della quale son chiari gl'inconvenienti.

La teoria e la pratica sembrano d'accordo su questo punto. Le macchine che in oggi compariscono più vantaggiose, son quelle a media pressione e a scatto, il qual fatto sembra dimostrato dallo stato comparativo degli effetti delle macchine nelle miniere di Cornovaglia, nelle quali sono molte macchine di Watt e di Woolf; ma queste ultime sono molto superiori alle prime.

Nelle macchine di Watt perfezionate, uno staio di carbone eleva 20500000 libbre d'acqua ad un piede d'altezza. Nelle macchine di Woolf è un vantaggio del 30 per cento, come risulta dal rapporto che su questo proposito Dupin presentò all'Accademia di Francia.

Questo paragone non è stato fatto per le macchine ad alta pressione senza scatto; ma poichè il vapore passa immediatamente nell'atmosfera, senza lo scatto, una data quantità di combustibile deve produrre minore effetto in queste macchine, che nelle macchine di Watt e di Woolf con scatto; sul che possono consultarsi le tavole pubblicate da Clement.

Le macchine a vapore dei diversi sistemi, esigono diverse quantità d'acqua per il loro servizio.

La quantità d'acqua che per il loro servizio esigono le macchine a vapore, è tanto maggiore quanto esse sono più potenti; e in tutti i casi è tanta, che non può trasportarsi ad ogni momento sul posto, come si fa del combustibile. Può dunque accadere, che riesca qualche volta impossibile adoprare queste macchine in luoghi, che pur sarebbero i più adattati per scavi ec., specialmente quando queste operazioni esigono macchine di molta forza.

Madelaine, capitano d'artiglieria, è giunto a rimetter in uso l'acqua di condensazione, col raffreddarla; e così ha potuto senza difficoltà alimentare una macchina della forza di sei cavalli, con la soltanto della quantità d'acqua che sarebbe stata necessaria. Secondo il medesimo Madelaine, la rappresenta ancora un limite al quale non si giungerebbe con macchine sempre più potenti (*Bull. de la Soc. d'encourag. Guin.* 1827).

276. La forza d'una macchina a vapore suol paragonarsi alla forza d'un cavallo. Ora la forza che si attribuisce ad un cavallo, non è la stessa in tutti i paesi. Quindi Navier, combinando i risultamenti più meritevoli di fiducia, ha trovato, che la potenza meccanica d'un cavallo attaccato al tiro, che vada di passo, e che lavori otto ore per giorno, potrebbe esser rappresentata da $40 \frac{1}{2}$ chilogr., alzati ad un metro d'altezza in un minuto secondo. L'unità dinamica, o forza di cavallo robusto è calcolata diversamente dai diversi sperimentatori, ed è valutata 60, 70, 75 e anco

80 chilog. Una macchina a vapore di sei cavalli, sarà una macchina capace di far sei volte questo lavoro. Per i bisogni ordinarii bastano macchine di una forza fra sei e dieci cavalli, ma se ne posson fare della forza di cinquanta, di cento e di più ancora: e infatti nelle miniere di Cornovaglia si veggono ancora macchine che hanno la forza di 500 cavalli.

Poichè l'unità dinamica, adottata per la misura della forza delle macchine, non ha nulla nè di prciso nè di legale, potrebbe spesso dar luogo a questioni, vi voleva un mezzo semplice e rigoroso per misurar questa forza. Ecco quello proposto da Prony.

Questo dotto geometra fissa all'asse del volano della macchina di cui vuol conoscer la forza, un apparecchio al quale dà il nome di *freno* (fig. 189). Le parti CF e CF' si fanno equilibrio, cioè il loro centro di gravità passa per il centro dell'asse; ma il peso aggiunto P tende a far girare il freno in senso opposto al moto del volano indicato dalla freccia. Per l'esperienza si suppone il freno serrato sulla sala in modo, che mentre questa sala si muove, il braccio CF resti orizzontale, il che si ottiene per mezzo delle chiavarde *bb*, *aa*.

La questione si riduce a determinare l'effetto dinamico, prodotto quando il freno è reso orizzontale, mentre la macchina è in moto (a).

Calcolo degli effetti dinamici delle macchine a vapore

277. È stato convenuto di prendere per unità dinamica un metro cubico d'acqua alzato ad un metro d'altezza. Per le macchine da condensazione senza scatto, il calcolo dell'effetto si fa in un modo semplicissimo.

Sia T la temperatura del vapore della caldaia; H la forza

(a) Sia P il peso sospeso al punto H; R la distanza fra il centro di gravità di questo peso e l'asse della sala; *r* il raggio della sala; π il rapporto della circonferenza al diametro; Q l'unità dinamica, eguale a un peso convenuto moltiplicato per un'altezza parimente convenuta, alla quale si suppone alzato questo peso in un'unità di tempo; M il numero di *unità di forza* misuratrice dell'effetto dinamico che si tratta di determinare.

Prony, col mezzo di alcune considerazioni matematiche, trova

$$M = \frac{2\pi NPR}{Q},$$
 nella qual'espressione π , P, R, Q sono quantità note. Inoltre $N = K$, numero di rivoluzioni in un tempo dato, diviso per il numero d'unità di tempo: quindi si ha $\frac{K}{T} = N$. (V. *An. des Min.* t. XII.

P. 91.).

elastica del vapore a questa temperatura; t la temperatura del condensatore, e h la forza elastica corrispondente; sia B la base dello stantuffo, L lo spazio che esso percorre; la forza da cui verrà spinto sarà BLH meno BLh , ossia $BL(H-h)$ (ϕ)

Se B ed L son espressi in metri, e H , e h in altezze d'acqua, ciò che risulterà sarà il numero di metri cubici d'acqua alzati ad un metro d'altezza.

Il calcolo per le macchine a scatto può farsi per approssimazione con i semplici principii elementari. Sia b la base del piccolo stantuffo, l lo spazio che percorre; H , l'elasticità del vapore nella caldaia e nel piccolo cilindro, H'' , l'elasticità nel cilindro grande: dopo la dilatazione totale del vapore, per la pressione esercitata sul piccolo cilindro avremo $b l \left(H - \frac{H' + H''}{2} \right)$.

La pressione esercitata sul cilindro grande sarà $BL \left(\frac{H' + H''}{2} - h \right)$;

e per la forza totale impressa ai due stantuffi dal vapore avremo

$$b l \left(H - \frac{H' + H''}{2} \right) + BL \left(\frac{H' + H''}{2} - h \right) (\mu).$$

Bisogna ricordarsi che questo calcolo non è che un'approssimazione. Il vapore nel piccolo cilindro non ha assolutamente la stessa elasticità che nella caldaia; e dall'altra parte i mezzi aritmetici non sono rigorosissimi. Finalmente per fare il calcolo, bisognerebbe determinare H'' , ammettendo che il vapore si dilati secondo la legge di Mariotte, cioè che sia $H : H'' :: BL : bl$, dal

che si avrebbe $H'' = \frac{H bl}{BL} \text{ o } \frac{Hb}{B} L$; poichè in generale $l = L$. Ma

che il vapore segua questa legge non è dimostrato, e probabilmente è anzi molto lungi dal vero, anco per non molto alte pressioni. Tuttavia questo calcolo basta per dare un'idea dell'utile che resulta dall'uso della dilatazione del vapore.

Applicazione. Sia $B = 24$, $b = 10$, $T = 140^\circ$, $t = 35^\circ$. La tavola del numero 96 da $H = 2^m, 66$, e $h = 0^m, 040$. Moltiplicando H , e h per 13,586, che è la densità del mercurio, si avranno le altezze per acqua. Con questi dati, e con le formole (ϕ) e (μ), si troverà il rapporto fra gli effetti dinamici di una macchina di Watt senza scatto, e quelli di una macchina di Woolf con scatto.

Determinazione del massimo effetto che può produrre la quantità di vapore, formato dalla combustione d'un chilogrammo di carbone, in una macchina ordinaria.

Sia H_0 la pressione del vapore
nel cilindro, } in altezza d'acqua;
 H , la pressione nel condensatore,

P il peso d'un metro cubico d'acqua, ad una densità eguale a quella che dà le altezze H_0 , H ; V , il volume del vapore: l'effetto di questo vapore è dato dalla formola $PV_0H_0 - PHV_0$,

ossia $PH_0V_0 \left(1 - \frac{H}{H_0}\right)$; cioè la pressione esercitata sopra una delle basi dello stantuffo dal vapore della caldaia, meno la pressione esercitata dal vapore del condensatore: ora $1 - \frac{H}{H_0}$ è noto in

numeri; resta dunque da calcolarsi soltanto PH_0V_0 , nella quale espressione V_0 solamente è incognita, ma che può facilmente determinarsi in conseguenza di ciò che dicemmo sui vapori e sui gas. Sia H la pressione, V il volume del vapore a 100° :

si ha (n.° 63) $\frac{H_0}{H} = \frac{V(1+0,00375t)}{1,375}$; e quindi

$PH_0V_0 = PHV \frac{(1+0,00375t)}{1,375}$. Resta da calcolarsi V , ossia il volume del vapore a 100° che può farsi con un chilogrammo di carbone, prendendo l'acqua alla temperatura del condensatore. Un chilogrammo di carbone puro sprigiona 7914 gradi di calore; e supponendo l'acqua a 30° quando entra nella caldaia, si trova che un chilogrammo di carbone volatilizza 13 chil. 1, sotto la pressione

di $0,76$: così si avrà $PH_0V_0 = 0,76 \times 13,1 \frac{(1+0,00375t)}{1,375}$,

nella qual' espressione tutto è noto. Dunque

$PH_0V_0 \left(1 - \frac{H}{H_0}\right)$ diviene $\left(1 - \frac{H}{H_0}\right) 0,76 \cdot 13,1 \frac{(1+0,00375t)}{1,375}$.

Questa è la potenza meccanica della quantità di vapore prodotto da un chilogrammo di carbone, espressa in chilogrammi, e che agisce in una macchina senza scatto, nella quale l'acqua che entra nella caldaia è alla temperatura di 30° . Il numero 7914° , secondo le mie esperienze, esprime l'altezza alla quale si

alza un chilogrammo d'acqua, per la combustione d'un chilogrammo di carbone puro. Il numero adottato da tutti quelli che hanno scritto sulle macchine a vapore, varia da 7000 a 7050 gradi; ma a noi sembra troppo poco. Anco la combustione del carbone fossile, ci sembra che debba sprigionare più di 7914 gradi di calore. È vero che questa sostanza contiene $\frac{1}{2}$ incirca di materie terree; ma l'idrogene che pur sempre contiene in se, compensa abbondantemente $\frac{1}{2}$ di materia inerte.

I calcoli per determinare rigorosamente l'effetto che può produrre il vapore che resulta dalla combustione di un chilogrammo di carbone, son troppo sublimi per poter aver luogo in questo trattato (*V. Ann. min.*, t. 9; una Memoria di Combes, ec.)

Vascelli a vapore

279. L'applicazione delle macchine a vapore alla navigazione, non è molto antica. Jonathan propose i vascelli a vapore nel 1736, Perrier ne eseguì uno sulla Senna nel 1775; ma Souton esperto meccanico fu il primo che combinò le condizioni necessarie per la velocità di tali vascelli. Questa nuova applicazione della scienza è stata messa in pratica in America fin dal 1807, in Inghilterra nel 1812, e in Francia nel 1816.

Le ruote dei bastimenti a vapore son fatte a palette. Il moto di rotazione viene impresso a queste per mezzo d'un albero o asse, che riceve il suo moto direttamente o indirettamente da una staffa. A motivo della piccola altezza dei bastimenti a vapore, il bilanciante è situato in basso: qualche volta il moto del bastimento è determinato da una sola ruota, ma il più delle volte ve ne son due, una per parte. L'albero delle ruote ora è situato trasversalmente nel mezzo, ora ad una certa distanza. Siccome in tutte le macchine a vapore si rende regolare il moto per mezzo d'un volano, così posson supplirvi due macchine a vapore. Per esempio il bastimento che va da Parigi a Havre, ha due macchine a semplice pressione (della fabbrica di Charenten). Lo stantuffo di una di queste macchine sale quando lo stantuffo dell'altra scende, e reciprocamente. Così il moto dell'asse è reso regolare senza il soccorso d'un volano.

280. La macchina a semplice pressione è quella che è più comunemente in uso; ma per l'economia sarebbe preferibile la macchina a scatto. Una macchina a media o alta pressione sarebbe più vantaggiosa in quanto allo spazio, perchè ne occuperebbe meno, ma presenterebbe molti più casi di rischio. Basti questo per un'idea succinta dei bastimenti a vapore.

Carrozze a vapore

281. Trevithich e Vivian fecer muovere carrozze a vapore, sopra strade rotaie di Merthyn-Tydvil. Blenkinsop introdusse l'uso delle rotaie e delle ruote dentate; col qual sistema non v'è il rischio di veder precipitare le carrozze sulle scese. Edwards e William Champman hanno imaginato varii sistemi particolari.

Armi a vapore

282. Perkins in Inghilterra ha fatto alcune prove, affine di scagliare direttamente i proiettili per mezzo dell'elasticità del vapore, ed ha potuto scagliare con moltissima rapidità un gran numero di palle, che avevano tanta forza da forare a gran distanza una tavola di abete di undici linee di grossezza. Le palle poste in una specie di tramoggia, cadevano nel cannone, e il vapore nel momento stesso le scagliava con la sua elasticità. Sperava quindi il medesimo ingegnere di potere scagliare con lo stesso mezzo palle di varii calibri, ma Madelaine ha dimostrato, che il progetto di Perkins non poteva utilmente applicarsi alla guerra, e che non sarebbe possibile lanciare con sufficiente forza i proiettili d'artiglieria, anco i più leggieri, come sono le palle da 4. Madelaine, osservando la questione sotto un altro punto di vista, ha proposto di trarre dalle macchine comuni a vapore un part'ito più utile per difendere da vicino le fortezze, facendole servire come motori di molti volani di gran diametro, dotati di gran velocità, comunicata ad essi per mezzo di ruote dentate. Questi volani sarebbero muniti di palette forti ed elastiche, che lancerebbero a uno a uno proiettili, fino di 16 libbre, gettati in confuso in una tramoggia la quale fa un insieme con l'albero del volano in rotazione. Queste macchine potrebbero situarsi nei Bastioni, ec. ec. (*V. Journ. des Sc. milit. Janvier 1827*).

Macchine mosse dall'acido carbonico ec.

283. Il vapor di mercurio e il gas acido carbonico sono stati proposti come motori, ma il vapor di mercurio presenta troppi inconvenienti, per poter esser messo in uso. Brunel, ingegnere francese, che coi suoi arditi pensieri ha fatto più volte maravigliar l'Inghilterra dove da molto tempo si è stabilito, ha inventato una macchina, nella quale l'acido carbonico alternativamente liquefatto e ridotto in gas, sarebbe il motore. Il gas acido carbonico è ridotto allo stato liquido da una pressione di 36 atmo-

sfere alla temperatura del ghiaccio. L'acido carbonico liquido, a questa temperatura, ha una forza elastica di 36 atmosfere; ma questa elasticità diviene forse doppia, se la temperatura venga alzata 40 o 50 gradi. Ora questa nuova macchina di Brunel, è fondata appunto su questo considerevole sviluppo di forza elastica, per effetto d'un cambiamento anco piccolo di temperatura. La *fig* 190 ne presenta una sezione verticale: il cilindro di mezzo AB contiene lo stantuffo P, che deve esser messo in moto. I due cilindri C e C' sono eguali e son pieni d'olio fino alla metà della loro altezza, e l'olio è coperto da un galleggiante F. I due cilindri D e D' ricevono l'acido carbonico da un gran gassometro, per mezzo di una tromba premente. Quando l'acido è liquefatto in ognuno di questi cilindri, si chiudono le aperture O e O', per le quali è stato introdotto.

Essendo la macchina in tale stato, si fa venire un po' d'acqua calda nel tubo E d'uno dei due cilindri C e C' che contengono l'acido; allora l'acido si converte in gas, comprime il galleggiante F, e fa salire lo stantuffo P ad una data altezza: l'acqua calda arriva quindi nel tubo E', e l'acqua fredda nel tubo E, e allora lo stantuffo scende. Si vede dunque, che lo stantuffo è spinto dalla differenza delle elasticità che ha l'acido carbonico alla temperatura ordinaria, e alla temperatura di 50 o 60 gradi.

Questa macchina non è stata fin ora stabilita in grande: e infatti ha molti inconvenienti. L'alta pressione dell'interno esige che tutte le parti sieno fatte con la massima esattezza per impedire le esplosioni ed altre funeste conseguenze. I cambiamenti continui di temperatura dei cilindri che contengono l'acido carbonico, non possono non deteriorarla prontamente. Il prezzo dell'acido carbonico, il consumo d'una gran quantità d'acqua calda, devon anco accrescer la spesa; sicchè questa nuova macchina non presenta probabilmente reali vantaggi in pratica, se non che dà il mezzo d'un'applicazione ingegnosa delle proprietà dei gas, e per questo appunto abbiamo creduto opportuno l'indicarla.

DELL' ELETTRICISMO

Questo bel ramo di Fisica ha fatto i più estesi progressi in virtù delle moderne scoperte. Per molti secoli le cognizioni umane in questo genere eran ristrette a ciò che ci avevano insegnato gli antichi, relativamente alla proprietà di attrarre i corpi leggieri, che l'ambra acquista per mezzo della confricazione. Esporremo primieramente i fenomeni elettrici, e poi accenneremo almeno in

generale le principali scoperte per le quali questo ramo di Fisica ha progredito.

Nozioni preliminari

284. 1.° Confricando con panno lano o pelle di gatto un tubo di vetro, un pezzo d'ambra, o un cannello di ceralacca, e avvicinando questi corpi così confricati a corpi leggieri, questi sono attratti potentemente da quelli. Questa proprietà sviluppata per via di confricazione, è stata chiamata *elettricismo*, perchè per la prima volta fu osservata nell'ambra che in greco si nomina *ηλεκτρον*.

Se si avvicini al viso uno di questi corpi dopo averli confricati, si prova una sensazione simile a quella che produrrebbe il contatto d'una tela di ragno: e se si accosti ad essi un dito o una pallina di metallo, si sente lo scoppiettio d'una scintilla luminosa: anzi all'oscuro, il tubo stesso comparisce circondato d'una certa luce azzurrognola. Inoltre si osserva che i corpi così confricati, tramandano un odore di fosforo.

2.° Le proprietà elettriche appartengono ad ogni corpo semplice o composto, solido, liquido o gassoso. Per esempio, se si agita un vaso di vetro, contenente mercurio, il vetro diviene elettrizzato. Una simile esperienza si fa ancora in un'altra maniera: alla bocca di un largo tubo di vetro si adatta una ciotola di legno, con entro un poco di mercurio; quindi facendo il voto nel tubo, il mercurio, premuto dal peso dell'atmosfera, cade ben presto in forma di pioggia nell'interno del tubo; e in questa circostanza se si avvicinano corpi leggieri al tubo, si vede che questo è elettrizzato.

Questo fatto serve a spiegare un fenomeno che si osserva in un barometro ben purgato d'aria, cioè la luce fosforica che comparisce nell'atto di inclinare il tubo in modo che tutto venga riempito di mercurio, la qual luce è perfettamente simile a quella prodotta dall'elettricismo nel voto.

Anco un corpo solido può venire elettrizzato in un modo sensibile per mezzo della confricazione di un gas. Così se con un soffietto si dirige una corrente d'aria sopra una lastra di vetro, questa si elettrizza. Che due gas scambievolmente confricati sviluppino elettricismo, sarebbe difficile provarlo direttamente, ma ben si comprende per analogia; e anzi non è improbabile, che una porzione d'elettricismo sparsi nell'atmosfera, derivi dalla confricazione dell'aria con se stessa e con le nubi.

3.° L'azione elettrica si propaga a distanza, e a traverso di tutte le sostanze. Così una pallina di midollo di sambuco sospesa ad un filo di seta, sotto una campana di vetro, sarà attratta da un cannello di cera-lacca situato fuori della campana, e anticipatamente elettrizzato.

4.° L'elettricismo si propaga a traverso dei corpi; ma i corpi, considerati relativamente alla proprietà di condurre l'elettricismo, differiscono singolarmente fra loro: alcuni, come i metalli, il carbone calcinato, l'acqua e tutti i liquidi in generale, eccettuato l'olio, son buoni conduttori: le resine, la gomma, la cera-lacca, la seta, il solfo, le pietre, il vetro, gli ossidi, l'aria e gli altri gas analoghi, son cattivi conduttori. Questa distinzione fra i corpi conduttori e non conduttori fu stabilita da Grey e da Wheeler nel 1729 (*Hist. de l'electric. T. I, 56*) (1).

Per provare la differenza che esiste fra i corpi conduttori e non conduttori, si prendano due palline uguali di midollo di sambuco, se ne sospenda una ad un sostegno di vetro con un filo di seta; si sospenda l'altra ad un sostegno di metallo con un filo metallico; si elettrizzino ambedue, toccandole con una verga di vetro elettrizzato; e dopo ciò si osserverà, che la pallina sospesa al filo metallico, ha perduto nel momento il suo elettricismo, mentre quella che è sospesa al filo di seta, ha conservato perfettamente il suo. In questo caso, l'unica differenza dipende dal modo con cui queste comunicano col terreno: infatti una comunica con esso per mezzo di un filo metallico, per il quale l'elettricismo trova un facile passaggio, e si dissipa totalmente; l'altra separata dal terreno da una sostanza poco conduttrice, non perde nulla; e se al filo di seta si sostituisca un filo di vetro, di resina, di solfo, ec., accaderà pure lo stesso. Dunque tutte queste sostanze sono incapaci di trasmettere l'elettricismo. Che se si bagnino questi fili con acqua, tutto l'elettricismo sparisce subito, perchè l'acqua è buon conduttore.

Un corpo si dice isolato, quando ha per sostegno un corpo non conduttore, come un filo di seta, un cannello di cera lacca, un tubo di vetro, ec.; e così si chiama isolatore elettrico un pauchetto co' piedi di vetro. Molte sono le circostanze nelle quali bisogna isolare i corpi che si vogliono sperimentare. Così, volendo sapere se i metalli si elettrizzano per confrazione, bisogna isolarli con un manico di vetro; e allora confricandoli con pelle di gatto o con panno-lano, si vede che si elettrizzano come i corpi non conduttori, mentre se si confricassero tenendoli in mano direttamente, l'elettricismo si disperderebbe nel terreno.

(1) Fecher, esaminando comparativamente diverse specie di legni, relativamente al loro vario potere di condurre l'elettricismo, dalle sue esperienze ha potuto concludere una distinzione di cinque classi di legni, le quali, cominciando da quelli che meglio lo conducono, sono: 1.ª classe: carpino, bosso, betula, acero, faggio, ontano, sambuco; 2.ª tiglio, verzino; 3.ª querce, susino, makegani, pino, guaiaco; 4.ª arancio; 5.ª ebano.

L'aria atmosferica asciutta è un pessimo conduttore, ma diviene buon conduttore impregnata d'acqua. È quindi impossibile il fare esperienze elettriche in tempi umidi, perchè l'elettricismo in tal caso si perde nell'aria e nel terreno, appena viene sprigionato; sicchè non riescono mai meglio che nei tempi freddi e asciutti, quando nell'aria si trovano pochissimi vapori acquosi.

5.° L'elettricismo non altera le dimensioni dei corpi. Se infatti si immerga un termometro sensibilissimo a mercurio in un vaso metallico pieno d'acqua, e si elettrizzi potentemente il vaso e l'acqua, nel modo che indicheremo a suo luogo, il termometro resta assolutamente stazionario, come sperimentò Nollet.

6.° La velocità dell'elettricismo sembra immensa, ed è provato con esperienze, che esso percorre fin quattro miglia di spazio sì rapidamente, che noi non ci accorgiamo di successione di tempo.

7.° L'aria, come cattivo conduttore, con la sua pressione trattiene sulla superficie dei corpi l'elettricismo. Infatti, se si ponga sotto il recipiente della macchina pneumatica un corpo conduttore elettrizzato e isolato, esso perde tutto il suo elettricismo forse anco prima che il recipiente sia affatto voto di aria. Se si ripeta la stessa esperienza con un cannello di cerallacca o con qualunque altro corpo non conduttore, elettrizzato per confricazione, sparisce pure l'elettricismo nel voto, ma più lentamente, sicchè non si scarica affatto se non dopo un certo tempo. Ciò prova, che sulla superficie dei corpi non conduttori, l'elettricismo è trattenuto dalla pressione dell'aria, e dalla difficoltà che esso prova a sprigionarsi dalle loro molecole.

8.° Abbiain detto che bisogna isolare i corpi conduttori quando si elettrizzano: infatti senza questa precauzione, essi perdono tutto l'elettricismo, il quale si dissipa nel terreno, ove diviene insensibile; e però in queste esperienze il terreno si chiama *serbatoio comune* dell'elettricismo.

9.° Per render più facile lo sprigionamento dell'elettricismo per via di confricazione, bisogna prima ben prosciugare il corpo che deve essere elettrizzato, il che si ottiene riscaldandolo. Convien ancora riscaldare il luogo ove si fanno le esperienze, affinchè l'aria divenendo così capace di ricever nuovo vapore, non ne lasci depositare sui corpi che essa circonda.

285. Riprendiamo ora le prime esperienze, ed esaminiamo più attentamente le proprietà dei corpi elettrizzati. Ad un cannello di resina (*fig. 191*) si attacchino con due fili metallici due palline di sambuco; se dopo aver riscaldato e prosciugato

questo cannello, si strofini con un panno-lano parimente asciutissimo, le palline si respingono fino ad una certa distanza. Si faccia l'esperienza con un cannello di resina e una pallina sola: se dopo la confricazione si avvicini questa pallina alle prime due, accade pure repulsione.

Se al cannello di resina si sostituisca un cannello di vetro, le due palline si respingeranno egualmente.

Che se alle palline elettrizzate col vetro si avvicinino quelle elettrizzate con la resina, esse si attraggono scambievolmente. Da queste esperienze risulta dunque 1.° che *due corpi carichi della stessa specie d'elettricismo si respingono*; 2.° che *due corpi carichi d'elettricismo di specie diversa si attraggono*.

Dalle stesse esperienze risulta ancora, che fra tutti i corpi, alcuni, come gli ossidi, le pietre ec., sviluppano lo stesso elettricismo del vetro, e però detto elettricismo *vitreo*, altri, come i corpi infiammabili, l'ambra, la seta ec, sviluppano lo stesso elettricismo della resina, detto perciò elettricismo *resinoso*. Questa scoperta fu fatta nel 1733 e 1734 da Dufay, membro dell'Accademia delle scienze di Parigi. Siccome il vetro non sviluppa sempre l'elettricismo *vitreo*, nè sempre la resina il *resinoso*, e dall'altra parte, i due elettricismi distruggono reciprocamente le loro proprietà col riunirsi, i fisici hanno generalmente convenuto di sostituire alle espressioni *vitreo* e *resinoso*, quelle di *positivo* e *negativo*, prese nel senso che in Geometria si annette alle ordinate positive e negative.

286. Il panno-lano, la pelle di gatto, e tutte le materie di cui ci serviamo per confricare un corpo solido, si caricano di elettricismo negativo, se questo corpo acquista l'elettricismo positivo, o reciprocamente. In prova di che, se si presenti il panno-lano che ha servito ad elettrizzar la resina, alle palline di sughero cariche d'elettricismo negativo, esso le attrarrà, e respingerà quelle cariche d'elettricismo positivo.

287. Esaminando l'elettricismo sprigionato per confricazione da un gran numero di sostanze, si vede che la sua natura non ha niente di assoluto, e che dipende egualmente dalla natura del corpo confricatore e del confricato. Per esempio, la seta fregata col vetro liscio acquista l'elettricismo positivo, fregata con la resina acquista il negativo: un cilindro di vetro liscio, fregato con panno-lano, si elettrizza positivamente, e fregato con pelle di gatto si elettrizza negativamente.

Nella tavola seguente, le sostanze acquistano l'elettricismo positivo, confricate con quelle che le seguono; e acquistano il negativo, confricate con quelle che le precedono.

Pelle di gatto
Vetro liscio

Panno-lano
Piuma
Legno
Carta
Seta
Gomma lacca
Vetro scabroso.

In proposito di sviluppo d'elettricismo, citeremo una curiosa, benchè comune esperienza. Se due persone salgono sopra due isolatori, e una batte l'altra con una pelle di gatto asciutissima, la prima si carica d'elettricismo positivo e la seconda di negativo. Infatti, ambedue attraggono un piccolo pendolo in stato naturale che venga a loro presentato; ambedue tramandano scintille, se si avvicinano ad esse un corpo conduttore in comunicazione col terreno; ambedue appariscono luminose, se l'esperienza si faccia di notte; e finalmente la prima respingerà un pendolo elettrizzato positivamente, e la seconda lo attrarrà.

Molte indagini sono state fatte per trovare quali circostanze determinino un corpo a quella particolare specie d'elettricismo che acquista, ma non ne è risultata veruna cognizione positiva.

288. Ma la confricazione non è il solo modo di sviluppare l'elettricismo, quantunque il più antico e il più noto; giacchè si sviluppa in moltissime altre circostanze.

Nella fusione. Se si versa solfo fuso in un vaso metallico isolato, il solfo nel raffreddarsi diviene elettrico positivamente, e il metallo negativamente. Questo fenomeno però non è generale, giacchè la lega fusibile di Darcet, fusa in un bicchiere, non si elettrizza.

Nella pressione. Molti corpi acquistano le proprietà elettriche per via di pressione, come risulta dall'esperienza. Tali sono principalmente lo spato d'Islanda, il caoutchouc (gomma elastica), la scorza d'arancia, il sughero, ec. Altrove indicheremo le particolarità principali che presenta questo fenomeno.

Nell'unione chimica dei corpi. Sciogliendo la limatura di ferro nell'acido solforico, si sviluppa una quantità considerevole d'elettricismo, come hanno osservato Lavoisier e Laplace; e lo stesso si osserverebbe nella dissoluzione degli altri metalli negli acidi. Parimente è ormai provato che la combinazione degli alcali e degli acidi è un'abbondante sorgente d'elettricismo, e che l'alcali si elettrizza in un modo, e l'acido nel modo opposto.

Nell'elevazione di temperatura. Un gran numero di corpi, e forse tutti acquistano la virtù elettrica, quando si alza la loro temperatura; e un'estremità del corpo si elettrizza positivamente,

e l'altra opposta negativamente. Studieremo meglio questo fenomeno in altro luogo.

Nel contatto. Due sostanze qualunque, poste a contatto, divengono elettriche in senso opposto: così ponendo una lastra di rame a contatto con una di zinco, la prima si carica d'elettricismo negativo, e la seconda di positivo.

289. Del resto, in ognuno di questi modi, sempre si dà luogo allo sviluppo d'elettricismo positivo e negativo. È ben vero però, che non sempre è facile il dimostrare la loro presenza; e però più efficace sarà lo studio di queste circostanze, quando potremo farlo con opportuni delicati strumenti.

DELLE LEGGI ALLE QUALI SONO SOGGETTE LE AZIONI ELETTRICHE

290. L'elettricismo esercita la sua azione, come già osservammo, a distanze molto considerevoli. Per lungo tempo è stato supposto, che le azioni elettriche procedevano secondo la legge delle azioni planetarie, cioè in ragione inversa dei quadrati delle distanze. Ma Coulomb, celebre fisico francese, è stato il primo a dimostrare in un modo sperimentale la legge delle azioni elettriche; e fece questa bella scoperta per mezzo della bilancia di torsione, che con gran vantaggio della scienza egli stesso immaginò.

Questo strumento è fondato sulla proprietà che hanno i fili metallici, d'avere una forza di reazione proporzionata all'angolo di torsione; la qual forza di torsione è lo sforzo che fa un filo torto per ritornare alla sua prima situazione. Ed è tanto sensibile questo strumento, che può servire a misurar con precisione forze non maggiori in peso di un diecimillesimo di grano.

Costruzione della Bilancia

291. Questo apparecchio è formato (*fig. 192*) d'un cilindro di vetro di 12 pollici di diametro, e 18 pollici d'altezza, coperto con un piatto AC di vetro di 13 pollici di diametro: il piatto ha due fori di 20 linee di diametro, uno nel mezzo in *f* sul quale si eleva un tubo di vetro alto 24 pollici, cementato su questo foro con il solito cemento che si usa negli apparecchi elettrici; e all'estremità superiore del tubo in *h* è situato un micrometro di torsione. Questo micrometro è composto di un tubo di rame, introdotto a incastro nel tubo di vetro: su questo tubo di rame è situata una lastra *nm* forata nel mezzo per ricevere una piccola asta, alla quale è attaccato un ago *on*, che si fa girare insieme con l'asta; e la lastra è divisa sul lembo in 360 parti. L'asta ha una

forma simile all'estremità di un matitatoio che può serrarsi per mezzo di un anello. Nella pinzetta di questo matitatoio è serrata un'estremità d'un sottilissimo filo d'argento, e l'altra è tenuta in p nella pinzetta d'un cilindro pa di rame o di ferro, che ha una linea appena di diametro. Questo piccolo cilindro è spaccato e rigonfiato alquanto in c , per farvi scorrere l'ago ag . Un tal cilindro poi deve essere assai peso, per tener teso il filo senza romperlo. L'ago ag è sospeso alla metà in circa dell'altezza del gran vaso, e formato o d'un filo di seta coperto di cera lacca, o d'un filo di paglia similmente coperto, e terminato da p fino in a con un filo cilindrico di gomma lacca: all'estremità a di quest'ago è una piccola pallina di sambuco di due o tre linee di diametro: in g è un piccolo piano verticale di carta inverniciata, che serve di contrappeso alla pallina a , e che rende più lente le oscillazioni (*fig. 193*)

Il secondo foro del coperchio AC è in w . In questo si introduce un piccolo cilindro wt che nella parte inferiore è di gomma lacca: in t è una pallina parimente di midollo di sambuco: intorno al vaso all'altezza dell'ago si descrive un circolo kz diviso in 360 parti. Il foro w corrisponde quasi allo zero di questa divisione.

292. Quando si vuole operare con questo strumento, si pone l'ago nm del micrometro superiore sullo zero della sua divisione, quindi si fa girare tutto il micrometro nel tubo verticale, finchè l'ago ag corrisponda alla prima divisione del circolo kz . Si elettrizza un piccolo conduttore (*fig. 194*) il quale non è altro che uno spillo con grosso capo, impiantato in un cannello di ceralacca perchè resti isolato: si introduce questo spillo nel foro w e si fa in modo che tocchi la pallina t che è a contatto con la pallina a : si ritira poi lo spillo; e le due palline essendo caricate della stessa specie d'elettricismo, si respingono scambievolmente ad una certa distanza che si misura. Quindi si gira il micrometro superiore in modo da torcere il filo di sospensione, e si produce una forza proporzionata all'angolo di torsione, che tende a ravvicinare le palline. Con tal mezzo si osservano le distanze alle quali diversi angoli di torsione conducono la pallina a verso la pallina t ; e paragonando le forze di torsione alle distanze corrispondenti delle due palline, si determina la legge di repulsione.

Si aggiunga, che Coulomb ha dimostrato con l'esperienza, che le forze necessarie per mantener torto il filo, sono proporzionali al numero dei gradi di torsione.

Esperienza

293. Coulomb avendo elettrizzate le due palline, a è stata re-

spinta 36 gradi da t , l'indice del micrometro superiore essendo a zero. Torno il filo di sospensione, girando il micrometro per 126 gradi, le due palline si sono ravvicinate, e son restate a 18 gradi di distanza. Finalmente, avendo girato il micrometro per 567 gradi, l'azione del filo è stata accresciuta dello stesso numero di gradi, e le due palline son venute fino a $8\frac{1}{3}$ gradi di distanza.

Tali esperienze non sarebbero paragonabili fra loro, se in tutta la durata d'ognuna, che fu di due minuti, le palline avessero perduto parte del loro elettricismo. Ma nel giorno dell'operazione la perdita fu piccolissima, perchè le due palline respinte alla distanza di 30 gradi, non si ravvicinarono che di un sol grado in due minuti. Ciò dipendeva in gran parte dall'aria che era asciutissima, e dai sostegni perfettamente isolatori.

Nella prima esperienza la forza repulsiva delle due palline fa equilibrio a 36 gradi di torsione, alla distanza di 36 gradi tra loro. Dalla disposizione dell'apparecchio comparisce chiaro, che al principio dell'esperienza la torsione è nulla. Nella seconda esperienza, si torce il filo di sospensione nel senso opposto alla torsione 36° impressa dall'azione elettrica, e però bisogna sommare le due torsioni. La torsione impressa nella parte superiore è di 126° ; la forza repulsiva d'elettricismo ritiene le due palline a 18° di distanza, quindi la forza totale di torsione è $126^\circ + 18^\circ = 144^\circ$. Dunque per conservare le due palline alla metà della distanza primitiva, è necessaria una forza quadrupla. Nella terza esperienza, si torce per 567° il filo di sospensione per mezzo del micrometro superiore, e la distanza fra le due palline si trova maggiore di $8\frac{1}{3}$ gradi, cioè la forza totale di torsione è di $575^\circ\frac{1}{3}$; ove si vede, che la distanza è quasi la metà di quella della seconda esperienza, e la forza che fa equilibrio alle due palline è quadrupla.

Da questi tre esperimenti risulta adunque, che l'azione repulsiva, che le due palline elettrizzate nello stesso modo esercitano una sull'altra, procede in ragione inversa del quadrato della distanza.

Per meglio rilevare tal legge, vediamo come in un prospetto riuniti i tre resultamenti.

TAVOLA

Arco delle distanze	Misur. della forza repulsiva per mezzo della torsione
36°	36°
18	144
8 $\frac{1}{2}$	57 5 $\frac{1}{2}$

Del resto, tali esperienze devon farsi nei giorni in cui l'aria è più asciutta, per scemare la perdita d'elettricismo prodotta dall'aria e dai sostegni; e in ogni caso poi, bisogna conoscere tal perdita, per stabilire la correzione.

La distanza delle due palline, quando sono allontanate l'una dall'altra dalla loro azione repulsiva scambievolmente, non è misurata precisamente dall'angolo che esse formano, ma dalla corda dell'arco che unisce i loro centri. Dall'altra parte, l'azione repulsiva della pallina fissa sulla pallina mobile, diviene tanto più obliqua quanto è maggiore la distanza; ma la costruzione della macchina è diretta in modo, che i due errori si compensano (*Mem. de l'Acad. des Sc.* 1785 p 569).

Verificazione della Legge

294. Si dimostra in meccanica, che quando una sfera solida o vota è composta di punti dotati d'un potere attrattivo o repulsivo, e reciproco al quadrato della distanza, la sua azione su punti esterni è quale sarebbe se tutta la sua massa fosse riunita nel centro. Supponiamo che sia questo il caso delle palline della nostra bilancia, come l'esperienza sembra che dimostri; e allora nel calcolo potremo considerarle come semplici punti, e la forza totale con cui esse si respingeranno, sarà reciproca al quadrato della distanza dei loro centri (a).

Il primo membro $\frac{F}{4r^2m}$ dell'equazione (A) è formato inte-

(a) Rappresentiamo con F l'intensità di questa forza, all'unità di distanza delle due palline; alla distanza D diverrà $\frac{F}{D^2}$, e si eserciterà nella direzione della corda *ab* che unisce le due palline (*fig.* 195). Questa forza $\frac{F}{D^2}$ operando in una direzione obliqua a *cb*, deve essere scomposta in due altre forze, una perpendicolare a *cb*, e l'altra nella di-

Tom. I. 16

ramente di quantità numeriche, e il secondo deve esser costante in tutte le esperienze, se la legge della ragione inversa del quadrato della distanza è conforme alla verità. Infatti dalla tavola seguente apparisce, che qualunque sia l'angolo formato dall'ago nell'esser rimosso, quest'espressione conserva sensibilmente lo stesso valore di 3,6.

	C.	B.	$B \operatorname{sen} \frac{1}{2} C \operatorname{tang} \frac{1}{2} C$
1. ^a Esperienza	36	36	3,614
2. ^a	18	144	3,568
3. ^a	$8 \frac{1}{2}$	$575 \frac{1}{2}$	3,169
La stessa supponendo	9	576	3,557

I due primi risultamenti sono perfettamente concordi. Il divario del terzo, corrisponde ad un errore di un mezzo grado nell'osservazione dell'arco, il qual errore dipende in parte dalla perdita d'elettricismo nel corso dell'esperienza, e dai nuovi fenomeni che si sviluppano a sì piccola distanza. Tuttavia possiamo trascurare sì piccolo errore, e riguardare come giusta la legge che abbiamo trovata con la bilancia di torsione.

reazione cb : quest'ultima è distrutta dalla resistenza del punto c , e quindi non si considera. La prima, la quale è la sola che faccia equilibrio alla forza di torsione, è eguale a $\frac{F}{D^2} \cos abl$, per la regola del parallelogramma delle forze. Tale angolo abl è complemento di abc , questo è eguale a $90^\circ - \frac{1}{2} acb$, a motivo del triangolo hcb ; dunque abl è eguale a $\frac{1}{2} acb$; e chiamando C questo angolo, avremo $\frac{F}{D^2} \cos \frac{1}{2} C$, espressione della forza spesa per respingere le due palline.

La distanza D può esprimersi ancora in funzione dell'arco a . Infatti, se dal centro c si conduca la perpendicolare ch sulla corda ab , questa resterà divisa in due parti eguali ah e hb ; e chiamando r il raggio cb , si avrà $D = 2r \operatorname{sen} \frac{1}{2} C$; e sostituendo a D questo valore, l'espressione della forza di torsione diverrà $\frac{F \cos \frac{1}{2} C}{4r^2 \operatorname{sen}^2 \frac{1}{2} C}$.

Sia B il numero totale di gradi di torsione del filo nel caso d'equilibrio; la forza di torsione è proporzionale a questo arco, e può rappresentarsi con mB ; dove m essendo un coefficiente particolare al filo adoprato, o la forza corrispondente a un grado di torsione, queste due forze saranno eguali, poichè supponiamo stabilito l'equilibrio: dunque sarà $\frac{F \cos \frac{1}{2} C}{4r^2 \operatorname{sen}^2 \frac{1}{2} C} = mB$: di qui si ha $\frac{F}{4r^2 m} = B \frac{\operatorname{sen}^2 \frac{1}{2} C}{\cos \frac{1}{2} C} = B \operatorname{sen} \frac{1}{2} C \operatorname{tang} \frac{1}{2} C$. (A).

In quanto poi alle repulsioni, è stato provato con esperienze analoghe alle precedenti, che esse seguono la stessa legge delle attrazioni.

295. Con un altro metodo ancora, meno diretto ma più facile del precedente, Coulomb stesso ha dimostrata la legge delle attrazioni elettriche. Questo consiste nel sospendere un ago, elettrizzato in una sola estremità, e che posto ad una certa distanza da un globo carico d'elettricismo di natura diversa, è attratto ed oscilla in virtù dell'azione di questo globo: quindi dal numero delle oscillazioni fatte in un dato tempo, si determina col calcolo la forza attrattiva a distanze diverse, come si determina la forza della gravità per mezzo delle oscillazioni del pendolo ordinario (*Ac. des Sc.* 1785, p. 581).

L'ago è un filo di gomma-lacca, lungo 15 linee, sospeso ad un filo di seta, quale si trae dal bozzolo, e lungo 7 o 8 pollici. Ad un' estremità dell'ago si fissa perpendicolarmente alla sua direzione un piccolo cerchio di carta dorata, di 7 o 8 linee di diametro; e l'estremità superiore del filo di seta è attaccata ad un cannello di cera-lacca. La flessibilità della sospensione è tale, che un peso di un centoventimillesimo di grano applicato all'estremità dell'ago orizzontale, basterebbe per far fare all'ago stesso la rivoluzione di un circolo intero. Si osservi di lasciar libero in principio questo filo in uno spazio tranquillissimo, per distruggere ogni minima torsione che potesse avere acquistata.

Il globo è di rame o di cartone coperto di stagnola, retto da quattro tubi di vetro, ognuno dei quali termina all'estremità superiore con un cannellino di ceralacca; ed è situato in modo che può alzarsi o abbassarsi, finchè il suo centro sia perfettamente in faccia all'estremità dell'ago, e in modo ancora da poterlo allontanare dall'ago stesso o avvicinarvelo.

Disposto il tutto in tal modo, si elettrizza alquanto il globo per mezzo di una boccia di Leida, o in qualunque altra maniera; nel tempo stesso si dà all'ago un elettricismo contrario, sicchè il globo e l'ago agiscano reciprocamente fra loro per attrazione.

Esperienze

Distanza dal centro del globo al centro del circolo di carta dorata	Durata di quindici oscillazioni
9	20''
18	40
24	60

E poichè il piccolo circolo dorato non ha che 7 linee di

diametro, e in una sola esperienza si allontana dal globo o vi si avvicina d'una piccolissima quantità, la forza attrattiva del globo sul circolo dorato è costante; e se questa forza sia F

all'unità di distanza, alla distanza D diverrà $\frac{F}{D^2}$. In questo caso l'azione del globo attesa la sua sfericità, e quella del circolo attesa la sua piccolezza, possono considerarsi come agenti in un punto.

Inoltre, poichè le oscillazioni hanno una piccolissima estensione, e l'ago è allontanato moltissimo in paragone della sua lunghezza, le linee condotte dal cerchio di carta al centro del globo son parallele. Qui dunque possono adattarsi le formole del pendolo (n.º 25).

Sia pertanto l la lunghezza del pendolo, T la durata di un'oscillazione, g l'intensità della forza di gravità; avremo

$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, dove π esprime al solito il rapporto della circonferenza al diametro. Nella nostra esperienza, a g deve sostituirsi $\frac{F}{D^2}$, dunque sarà $T = D\pi \sqrt{\frac{l}{F}}$. La qual formola indica,

che con uno stesso ago, e con la stessa forza attrattiva F , i tempi delle oscillazioni sono proporzionali alle distanze D . Questo è ciò che presso a poco risulta dalle osservazioni; poichè è stato osservato che il cerchio dorato, a 9 pollici di distanza dal centro del globo, ha fatto 15 oscillazioni in 20''; a 18 pollici ha fatto 15 oscillazioni in 40''; a 24 pollici ha fatto 15 oscillazioni in 60''.

Le prime due esperienze sono perfettamente d'accordo; ma dalla terza sarebbe dovuto risultare 54.'' Per spiegare tal differenza si osservi, che i tre primi esperimenti hanno durato quattro minuti, e che in quel giorno l'elettricismo perdeva $\frac{1}{10}$ per minuto. Facendo la correzione, si trova che la durata avrebbe dovuto essere di 57'', se non vi fosse stata perdita, invece di 54, come risulta a rigor di proporzione, sicchè l'errore è $\frac{1}{3}$ del risultamento totale. Queste esperienze possono riguardarsi come una conferma della legge già scoperta per mezzo della bilancia di torsione (*Ac. des Sc.* 1786. p. 581). Facilmente potrebbe ripetersi l'esperienza con elettricismo di specie eguale.

296. Resta ora da vedersi in qual proporzione ciascun corpo contribuisca all'effetto totale nella reazione scambievolmente di due corpi elettrizzati. A tal effetto, basta togliere ad uno di questi la metà del suo elettricismo, il che si ottiene toccandolo con un corpo perfettamente simile.

Supponiamo per esempio, che nella bilancia di torsione le due palline essendo elettrizzate, e alla distanza di 28° , la repulsione sia capace di fare equilibrio a $120^\circ + 28^\circ$ di torsione. In tale stato si tocca la pallina fissa con un'altra pallina dello stesso volume e della stessa natura; si storce il filo di sospensione finchè sia ristabilito l'equilibrio a 28° ; allora il micrometro superiore non corrisponde più che a 44° , e quindi il filo di sospensione è torto soltanto di $44^\circ + 28^\circ$. Aggiungendo a 72° la perdita di $\frac{1}{5}$ per minuto, che è la durata dell'esperienza, si ha $72 + \frac{1}{5} = 73 \frac{1}{5}$. Il qual valore corretto è tanto vicino a 74 , metà di 148 , che può trascurarsi.

La stessa esperienza ripetuta più volte con palline, con dischi, ec., dà sempre lo stesso resultamento. Da ciò segue, che l'attrazione e la repulsione di due corpi elettrizzati, alla distanza

D , è espressa da $\frac{EE'}{D^2}$, essendo E , E' quantità costanti, pro-

porzionali alle quantità d'elettricismo di ciascun corpo.

È importante cosa osservare, che l'eguaglianza di divisione è indipendente dalla natura delle palline; sicchè la pallina fissa di midolla di sambuco ha perduto la metà del suo elettricismo per il contatto di una pallina tanto di rame quanto della stessa materia sua. Poichè dunque la divisione dell'elettricismo fra corpi conduttori della stessa forma e dello stesso volume, accade sempre in proporzioni eguali, resulta che questi corpi non hanno veruna affinità chimica per l'elettricismo, di qualunque natura essi sieno.

Della perdita dell'elettricismo per parte dell'aria e dei sostegni che lo ritengono imperfettamente. Leggi di questa perdita

297. Quando un corpo conduttore elettrizzato è isolato da sostegni che sono cattivi conduttori, l'esperienza insegna che il suo elettricismo scema e si annulla molto rapidamente. Vediamo in questo capitolo la legge di questo scemamento, perchè la cognizione di tal legge è necessaria per poter sottoporre al calcolo gli altri fenomeni elettrici che ci restano da studiarsi. Infatti le esperienze destinate per conoscere a fondo questi fenomeni, non potendo eseguirsi nel momento stesso, non posson paragonarsi fra loro, se non in quanto che si conosce l'alterazione che provano nella loro durata.

298. Due cause sembra che principalmente concorranco alla perdita dell'elettricismo per via dei sostegni. 1.º È probabile che in natura non esista alcuna sostanza perfettamente isolatrice; e infatti non conosciamo sostanza la quale non propaghi un elettri-

cismo molto energico. In prova di che, se si formino cilindri di vetro, di cera-lacca, di gomma-lacca, e di altre simili sostanze pochissimo conduttrici, e si mettano a contatto col primo conduttore di una macchina elettrica, si vedrà che essi si caricano d'una quantità d'elettricismo, sensibile all'elettroscopio; e di più, che l'elettricismo si è propagato sul cilindro con un'intensità decrescente.

Tutti i sostegni che si usano per isolare i corpi elettrizzati, devon dunque caricarsi d'elettricismo; e se sono molto corti sicchè possano venire elettrizzati in tutta la loro lunghezza producono un'uscita continua d'elettricismo. A questa perdita contribuirà ancora il vapor d'acqua contenuta nell'aria, il quale precipitandosi sui sostegni, accrescerà la loro facoltà conduttrice. Quindi è assolutamente necessario il ben prosciugare gl'isolatori, prima di principiar l'esperienza.

2.° I sostegni isolatori son sempre e per ogni lato inviluppati dall'aria atmosferica. Ora le particelle di vapore che essa contiene, essendo a contatto col corpo elettrizzato, si caricano d'elettricismo, sono respinte, e ad esse succedono altre, e così di seguito. Si debbono dunque stabilire sulla superficie del corpo elettrizzato alcune correnti d'aria, le quali infine le tolgano tutto il suo elettricismo. Così può concepirsi ancora, che l'elettricismo si propaga per mezzo delle molecole dell'aria.

Nelle presenti ricerche dobbiamo dunque proporci due oggetti; primo, di determinare con qual legge l'elettricismo si perde per il contatto dell'aria; secondo, determinare con qual legge l'elettricismo si perde lungo i sostegni isolatori.

Perdita per parte dell' aria

299. Coulomb è giunto ad ottener separata la perdita dell'elettricismo per parte dell'aria. Dopo molte prove ha riconosciuto, che quando l'energia elettrica non è molto considerevole, un piccolo cannello di cera-lacca o di gomma-lacca, lungo 18 o 20 linee, e di un diametro di mezza linea, basta quasi sempre per isolare perfettamente una pallina di midolla di sambuco di 5 o 6 linee di diametro. Ha veduto ancora che, in un'aria asciutta, produce lo stesso effetto un sottilissimo filo di seta, intriso nella cera-lacca bollente, e che nondimeno diviene un cilindro grosso più di un quarto di linea, purchè sia lungo 5 o 6 pollici. Un filo di vetro, tirato alla lucerna da smaltatori, lungo 5 o 6 pollici, non isola la pallina se non in tempi asciutissimi, e quando essa è pochissimo carica d'elettricismo: lo stesso si dica d'un capello o d'un filo di seta, se pure non sieno ricoperti di cera-lacca o meglio ancora di gomma-lacca. Se i sostegni isolino perfettamente, ce ne

accorgiamo quando col moltiplicarli non vediamo crescere la perdita dell' elettricismo (*Ac. des Sc.* 1785 p. 616).

300. Coulomb, guidato da queste osservazioni preliminari, sospese una piccola pallina di midollo di sambuco ad un sottilissimo filo di seta, coperto di cera-lacca, terminato con un piccolò cilindro di gomma-lacca di 18,0 20 linee, sicchè l'isolamento di essa poteva considerarsi come perfetto. Perfetto pure era l'isolamento della pallina mobile, perchè, come abbiamo veduto, (n.º 286), essa era attaccata ad un ago di gomma-lacca. Il diametro delle due palline era lo stesso; e tanta era la flessibilità del filo, che operando con una leva di 4 pollici, bastava un peso di $\frac{1}{31.6}$ di grano per torcerlo 360°.

Vediamone l'esperienza. Coulomb elettrizza le due palline per mezzo di uno spillo con capo grosso, ed esse si respingono fino a 40° di distanza: accresce egli allora la torsione in modo da ravvicinarle per 20°, per il che supponiamo che vi vogliano 140° di torsione. Si nota il momento in cui a questo grado di torsione le due palline restano alla distanza di 20°; e poichè l'elettricismo si dissipa, esse si riavvicinano qualche minuto dopo l'operazione: quindi per poter sempre osservarle alla primitiva distanza di 20°, si torce per 30° il filo di sospensione per mezzo dell'indice superiore, e allora le palline si respingono ad una distanza un poco maggiore di 20°; si aspetta che sieno giunte a questa distanza, e si nota il tempo decorso, che qui supporremo tre minuti.

L'intensità al principio dell'esperienza era di 140+20: dopo tre minuti, era 110+20; dunque era scemata 30° in tre minuti, ossia 10° per minuto.

L'intensità media era di 145; dunque ha perduto $\frac{10}{3} = \frac{1}{145}$ per minuto.

Per mezzo di tali operazioni Coulomb ha formato la tavola seguente, la quale è esposta in modo che non richiede spiegazione. Si riportano le date, i gradi del termometro e dell'igrometro, e l'altezza del barometro, come appunto ha fatto Coulomb nella sua *Memoria*.

EPOCHE DELLE ESPERIENZE			DISTANZA DELLE PALLINE	TORSIONE DEL MICROMETRO
I. ^a ESPERIENZA			mattina	
il 28 Maggio	Pr. Prov.	6 ^{re} 32' 30"	....30°....	... 120° }
Igrometro , 75°	2. ^a	6 38 15	....idem....	... 100° }
Termometro 15 $\frac{3}{4}$	3. ^a	6 44 30	....id....	... 80° }
Barometro 28 p. 3 l.	4. ^a	6 53 0	....id....	... 60° }
	5. ^a	7 5 0	....id....	... 40° }
	6. ^a	7 17 0	....id....	... 20° }
II. ^a ESPERIENZA			mattina	
il 29 Maggio	Pr. Prov.	5 45 30	30°	... 130° }
Igrometro 69°	2. ^a	5 53 0	....id....	... 110° }
Termometro 15° $\frac{3}{4}$	3. ^a	6 2 30	....id....	... 90° }
Barometro 28 p. 4 l.	4. ^a	6 12 15	....id....	... 70° }
	5. ^a	6 33 0	....id....	... 40° }
	6. ^a	6 51 0	....id....	... 20° }
III. ^a ESPERIENZA			mattina	
il 22 Giugno	Pr. Prov.	11 53 45	20°	... 80° }
Igrometro 87°	2. ^a	11 56 45	....id....	... 60° }
Termometro 15° $\frac{3}{4}$	3. ^a	11 59 45	....id....	... 40° }
Barometro 27 p. 11 l.	4. ^a	12 5 0	....id....	... 20° }
	5. ^a	12 12 15	....id....	... 5° }
IV. ^a ESPERIENZA			mattina	
il 2 Luglio	Pr. Prov.	7 43 40	20°	... 80° }
Igrometro 80°	2. ^a	7 49 0	....id....	... 60° }
Termometro 15 $\frac{3}{4}$	3. ^a	7 57 20	....id....	... 40° }
Barometro 28 p. 2 l.	4. ^a	8 9 10	....id....	... 20° }
	5. ^a	8 17 30	....id....	... 10° }

TEMPO SCORSO fra due OSSERVAZIONI consecutive	FORZA ELETTRICA perduta fra due osservazioni	FORZA MEDIA fra due osservazioni	RAPPORTO DELLA FORZA ELETTRICA perduta dal corpo in un minuto, alla forza media del corpo
.....5' $\frac{3}{4}$.....	.....20°.....	.....140°.....	.....$\frac{1}{40}$
.....6' $\frac{1}{2}$.....	.....20.....	.....120.....	.....$\frac{1}{30}$
.....8' $\frac{1}{2}$.....	.....20.....	.....100.....	.....$\frac{1}{40}$
.....10'.....	.....20.....	.....80.....	.....$\frac{1}{40}$
.....14'.....	.....20.....	.....60.....	.....$\frac{1}{42}$
.....7' $\frac{1}{2}$.....	.....20°.....	.....150°.....	.....$\frac{1}{50}$
.....9' $\frac{1}{2}$.....	.....20.....	.....130.....	.....$\frac{1}{61}$
.....9' $\frac{3}{4}$.....	.....20.....	.....110.....	.....$\frac{1}{64}$
.....20' $\frac{1}{4}$.....	.....30.....	.....75.....	.....$\frac{1}{48}$
.....18'.....	.....20.....	.....60.....	.....$\frac{2}{84}$
.....3'.....	.....20°.....	.....90°.....	.....$\frac{1}{13}, 5$
.....3'.....	.....20.....	.....70.....	.....$\frac{1}{11}$
.....5' $\frac{1}{2}$.....	.....20.....	.....50.....	.....$\frac{1}{13}, 5$
.....11' $\frac{1}{4}$.....	.....25.....	.....28.....	.....$\frac{1}{13}, 5$
.....5' $\frac{1}{2}$.....	.....20°.....	.....90°.....	.....$\frac{1}{14}$
.....8' $\frac{1}{2}$.....	.....20.....	.....70.....	.....$\frac{1}{19}$
.....11' $\frac{1}{8}$.....	.....20.....	.....50.....	.....$\frac{1}{30}$
.....8' $\frac{1}{3}$.....	.....10.....	.....35.....	.....$\frac{1}{10}$

Da questa tavola si rileva, che il rapporto della forza elettrica perduta alla forza totale, in un medesimo giorno o in un medesimo stato dell'aria, è stato rappresentato da una quantità costante; che questo rapporto non ha variato se non a misura che l'igrometro ha indicata una variazione nell'umidità dell'aria: dal che risulta, che per un medesimo stato d'aria, la perdita d'elettricismo è sempre proporzionale all'intensità elettrica.

301. Coulomb ha trovato ancora, con numerosa serie d'esperienze, che qualunque fosse il volume delle palline e l'intensità elettrica di ognuna di esse, il rapporto della forza perduta in un minuto alla forza totale, era una quantità costante. Così nell'esperienza del 28 Maggio, presentando alla pallina dell'ago una pallina doppia in grossezza, e dando alla seconda un'intensità elettrica maggiore o minore che alla prima, la perdita della forza elettrica in un minuto era sempre $\frac{1}{4}$ della forza totale. È da notarsi specialmente, che qualunque sia la figura del corpo elettrizzato, lo scemamento dell'intensità elettrica in tutti i casi ha per misura una quantità quasi costante, quando l'aria è asciutta e il grado dell'elettricismo non è molto considerevole. Coulomb ha fatto questa prova con un globo di un piede di diametro, con cilindri di qualunque grossezza e di qualunque lunghezza; ha sostituito alle palline della sua bilancia circoli di carta o di metallo; ha ancora armato una volta una di esse di un piccolo filo di rame, lungo 10 linee, e d'un quarto di linea di diametro; ed ha trovato, che nel giorno in cui faceva queste esperienze, lo scemamento dell'intensità elettrica di tutti i corpi, di forma tanto diversa, era $\frac{1}{100}$ per minuto. Tuttavia bisogna osservare, che questa eguaglianza di decrescimento non ha luogo per corpi di forme tanto diverse, se non quando l'elettricismo è poco energico.

302. Un'altra osservazione non meno curiosa si è, che la natura della materia del corpo non influisce nulla sulla legge di scemamento dell'elettricismo. Così il 28 Maggio, quando l'elettricismo scemava di $\frac{1}{4}$ per minuto, come si vede dalla tavola, per palline di sambuco, scemava di quantità eguale per una pallina di rame, e anco per una di cera-lacca, quantunque questa sia una sostanza pochissimo conduttrice.

303. Dalla tavola stessa risulta, che la perdita per parte dell'aria è tanto maggiore, quanto il grado dell'igrometro è più vicino al massimo umido.

Epoche delle esperienze	Igrometro	Quantità di vapore che un piede cubico d'aria tiene indissoluzione	Elettricismo perduto in ogni minuto
29 Maggio	69°	$\frac{46}{100}$	$\frac{1}{60}$
28	75	$\frac{52}{100}$	$\frac{1}{41}$
2 Luglio	80	$\frac{61}{100}$	$\frac{1}{29}$
22 Giugno	87	$\frac{73}{100}$	$\frac{1}{14}$

Coulomb aveva calcolato la quantità d' umido, secondo le tavole di Saussure, ma noi abbiamo preferita quella di Gay-Lussac, la quale, quantunque non sia stata fatta alla temperatura di 15° , che è quella delle esperienze di Coulomb, dà nondimeno per questa temperatura resultamenti più esatti di quelli che ci somministra la tavola Saussure, costruita dopo molte esperienze fatte a temperature diverse.

Perdita per parte dei sostegni

304. Conosciuta la legge di dispersione dell' elettricismo, per effetto del solo contatto dell' aria, ci resta da cercare la perdita prodotta dai sostegni che isolano imperfettamente.

Nelle esperienze precedenti si son considerati i sostegni isolatori perfetti, relativamente al grado d' elettricismo che si voleva osservare; e vedemmo, che possiamo contare su questa proprietà degli isolatori, quando moltiplicandoli, non si vede accresciuta la perdita.

Ora per fare questa ricerca sembra che dovessero scegliersi isolatori molto imperfetti, per ottenere una perdita molto considerevole in paragone di quella che l'aria sola produce; ma ognun vede che tal perdita sarebbe rapidissima; e dall' altra parte una tal rapidità nuocerebbe moltissimo al successo dell' esperienza. Infatti quando si elettrizzano due palline, l' ago oscilla per qualche tempo, e oscilla ancora quando si tocca il micrometro per scemare la torsione del filo, di maniera che con tal rapidità di dispersione verrebbe annullato tutto l' elettricismo prima che l' ago fosse in stato di riposo. Dunque bisogna adoprare isolatori tanto perfetti quanto basta, perchè l' intensità dell' elettricismo non provi variazione considerevole nel corso dell' esperienza.

Così Coulomb ha sospesa la pallina fissa, non più per un piccolo cannello di gomma-lacca, che isola perfettamente, ma per un semplice filo di seta, quale esce dal bozzolo. Questo filo era lungo 15 pollici, il diametro della pallina mobile era sempre eguale a quello della pallina fissa, ed essa era perfettamente isolata. La perdita si misura come nei casi precedenti. La tavola seguente presenta il quadro delle esperienze le quali sono state fatte nello stesso giorno, in cui furon fatte quelle sulla perdita dell' elettricismo per parte dell' aria; e quindi si può dedurre da queste la legge del decrescimento che avrebbe avuto luogo senza l' imperfezione dei sostegni.

TEMPO SCORSO fra due OSSERVAZIONI consecutive	FORZA ELETTRICA perduta fra due osservazioni	FORZA M E D I A fra due osservazioni	RAPPORTO DELLA FORZA ELETTRICA perduta in un minuto, a quella che resta al corpo
.....2' $\frac{1}{2}$.....	.....30°.....	.....165°.....	.....$\frac{1}{4}$
.....5 $\frac{1}{2}$.....	.....40.....	.....130.....	.....$\frac{1}{8}$
.....5.....	.....20.....	.....100.....	.....$\frac{1}{8}$
.....16 $\frac{1}{2}$.....	.....40.....	.....70.....	.....$\frac{1}{9}$
.....21.....	.....20.....	.....40.....	.....$\frac{1}{4}$
.....16 $\frac{1}{2}$.....	.....10.....	.....25.....	.....$\frac{1}{4}$
.....2 40.....	.....20°.....	.....170°.....	.....$\frac{1}{3}$
.....4 50.....	.....20.....	.....150.....	.....$\frac{1}{3}$
.....6 50.....	.....20.....	.....130.....	.....$\frac{1}{4}$
.....7 25.....	.....20.....	.....110.....	.....$\frac{1}{4}$
.....11 45.....	.....20.....	.....90.....	.....$\frac{1}{3}$
.....17 30.....	.....20.....	.....70.....	.....$\frac{1}{6}$
.....17 30.....	.....15.....	.....52.....	.....$\frac{1}{6}$
.....22 30.....	.....14.....	.....38.....	.....$\frac{1}{6}$

La prima osservazione che ci presenta questa tavola, è che lo scemamento dell' elettricismo, in principio molto più rapido che per il contatto dell' aria sola, quando l' intensità del grado di forza repulsiva delle palline è molto considerevole, diviene gradatamente minore, a misura che l' intensità divien più debole; dimanierachè v' è un punto in cui la pallina sospesa per il filo di seta, non perde più che quando è perfettamente isolata da un filo di gomma-lacca. Da ciò risulta, che a questo limite il filo di seta di quindici pollici è un isolatore perfetto, e che conserva questa proprietà per tutti i gradi minori d' elettricismo. Per un grado di forza repulsiva, capace di far equilibrio a 40 gradi di torsione, la perdita era di $\frac{1}{4}$ per minuto, cioè la stessa che nel medesimo giorno era stata trovata per l' aria sola (tavola prima). Nel giorno successivo, la perdita per parte dell' aria era ridotta a $\frac{1}{8}$, e allora il filo di seta aveva principiato ad essere un isolatore perfetto, quando la forza repulsiva era di 70 gradi. Quanto dunque è maggiore la perdita per parte dell' aria sola, è altrettanto per parte dei sostegni. Coulomb ha inoltre cercato il rapporto fra le intensità elettriche, che sostegni di una medesima sostanza possono completamente isolare; e da queste sue ricerche è risultato, che il grado d' intensità elettrica, a cui un filo di seta, un capello, o qualunque altro sottilissimo cilindro di sostanza analoga comincia ad isolare, per un medesimo stato d' aria è *proporzionale alla radice quadra della lunghezza*; dimanierachè, per esempio, se un filo di seta lungo un piede, comincia ad isolare un corpo di cui l' intensità elettrica sia A, un filo di quattro piedi potrà isolar questo corpo caricato d' un' intensità elettrica 2A.

Delle macchine elettriche

305. Per accrescere gli effetti elettrici, bisogna operare la confricazione sopra grandi superficie; e a questo uso appunto son destinate le macchine elettriche. Nella macchina elettrica che in oggi è più in uso, l' elettricismo è prodotto dalla confricazione che molti cuscini pieni di crine esercitano sulle due superficie d' un disco di vetro, il quale è fissato verticalmente ad un asse, che vien messo in moto per mezzo d' una manovella (*fig. 196*). Si ungono alquanto questi cuscini con una materia grassa, e poi vi si applica sopra un poco d' oro musivo, ossia deuto-solfuro di stagno, oppure un' amalgama di stagno e di mercurio, o anco una lega tripla di 1 parte di stagno, 2 p. di zinco e 4 p. di mercurio, giacchè tutte queste sostanze sono state riconosciute per esperienza come le più opportune allo sviluppo dell' elettricismo.

L'elettricismo a misura che è sviluppato, e attratto da punte metalliche, situate orizzontalmente a piccola distanza dal disco, le quali fanno parte d'un cilindro d'ottone, che si chiama conduttore principale, e che per lo più è della figura d'un ferro di cavallo. Esso deve avere tante braccia quanti sono i cuscini, affinché il disco, quando arriva sopra un confratore, sia già perfettamente scaricato. Inoltre le punte devono esser situate in modo, da scaricare il disco da ogni parte (*fig. 196*).

Tutto è disposto in maniera da rendere la confrazione estesa e durevole. Infatti i cuscini si applicano esattamente sulla superficie del disco, per mezzo d'una molla che tende a ravvicinare i due telai di legno ai quali sono attaccati. In questa macchina i cuscini si caricano d'elettricismo negativo, e il disco d'elettricismo positivo. È però necessario il far comunicare i cuscini col suolo per mezzo d'una catena metallica, senza di che sarebbero deboli gli effetti prodotti dalla macchina. Se il confratore restasse carico d'elettricismo negativo, non si svilupperebbe più nuovo elettricismo dopo un certo termine: infatti se l'elettricismo negativo del confratore fosse capace di vincere la resistenza dell'aria, questo sarebbe giunto al massimo grado di saturazione, e però il disco non si caricherebbe più d'elettricismo positivo, se non d'una quantità corrispondente alla quantità d'elettricismo negativo che potrebbe sprigionarsi nell'aria; e se l'isolamento dei cuscini fosse perfetto, il disco non si caricherebbe più di nuova porzione d'elettricismo.

306. L'elettricismo non cessa d'accumularsi sui conduttori, se non quando la forza repulsiva è capace di vincere la resistenza dell'aria. Per accrescere più che si può questa forza repulsiva, si cerca di rendere unitissima la superficie del conduttore, e specialmente di evitare le punte.

307. Si accresce la superficie dei conduttori, aggiungendo alcuni cilindri di metallo, sospesi con cordoni di seta, o retti da tubi di vetro, i quali cilindri, che si dicono conduttori *secondarii*, si mettono in comunicazione col principale per mezzo d'una catena o d'un'asta metallica. Con questa disposizione si può interrompere a piacere la comunicazione fra il conduttore principale e i secondarii, quando si cessa di far girare il disco; e quindi si impedisce la dispersione dell'elettricismo raccolto, il quale uscirebbe per le punte, quando dal disco non si sviluppa più elettricismo che lo spinga.

Il conduttore della macchina elettrica è necessariamente isolato, essendo retto da cilindri di vetro coperti di cera-lacca o meglio di gomma-lacca.

308. Ordinariamente si pone sul conduttore l'elettrometro a quadrante del Lana; e dal numero di divisioni percorse dall'ago,

si rileva l'energia della carica dei conduttori. Per lo più, in tempi asciutti, pochi giri del disco bastano per produrre la massima carica.

Affinchè le parti del disco che vengono successivamente confricate, arrivino davanti al conduttore prima di perdere notevole quantità d'elettricismo per il contatto dell'aria, si fissano ai confricatori altrettanti pezzi di taffetà ingommato, che si stendono sulla superficie del vetro nella direzione del suo moto.

309. La macchina da noi descritta produce sui suoi conduttori elettricismo positivo: ma mettendo il disco in comunicazione col terreno, e i confricatori in comunicazione col conduttore, questo si caricherebbe d'elettricismo negativo. Nella macchina costruita da Fortin sul modello di quella di Van Marum ad Harlem, il conduttore è mobile, e può mettersi a piacere in comunicazione col disco e con i confricatori. Se si vuole l'elettricismo positivo, il conduttore AB è orizzontale; e i confricatori CD sono in comunicazione col serbatoio comune. Se si vuole il negativo, si toglie questa comunicazione, si gira il conduttore, e si riduce verticale (*fig. 197*). I confricatori son muniti di lastre metalliche per rendere più completa la comunicazione. È chiaro che in questa macchina i sostegni devon esser fatti delle sostanze più perfettamente isolatrici; come pure, che in questo ultimo caso, i bracci metallici armati di punte, in comunicazione col terreno, debbon rimettere continuamente il disco nello stato naturale.

310. Le macchine elettriche sono state perfezionate in proporzione, e finchè non si conoscevano che le attrazioni e le repulsioni elettriche, non apparve il bisogno di macchine più perfette, quali sono in uso presentemente; e un semplice pezzo d'ambra o di cera-lacca bastava per confermare qualche fatto già conosciuto.

Ottone di Guerick e Hauksbée, per sviluppare maggior quantità d'elettricismo, confricavano globi di vetro o di solfo, imprimendo ad essi un moto di rotazione. Ma per la scoperta della boccia di Leida è stato necessario ingrandire le macchine, e costruirne di nuove. In tutte quelle però dell'Ab. Nollet, di Wilson e di Nairne, il corpo confricato era sempre un globo o un cilindro.

Ramsden ha contribuito al perfezionamento delle macchine elettriche, sostituendo ai globi e ai cilindri un piano circolare di vetro, tenuto in situazione verticale, il qual piano gira fra quattro confricatori, ed è questa la macchina in uso presentemente.

La macchina di Nairne, rappresentata dalla *fig. 198*, è un cilindro voto di vetro, che si frega con due cuscini A e B fissati ad un conduttore: l'elettricismo vien preso dalle punte d'un conduttore CD, sicchè può aversi a piacere o l'una o l'altra specie d'elettricismo.

Disposizione dell' elettricismo sulla superficie dei corpi conduttori isolati

311. Dacchè l' esperienza ci ha insegnato, che la sola conformità della superficie di due corpi che sono a contatto, basta per stabilire fra loro una divisione eguale d' elettricismo, e dacchè la stessa eguaglianza si osserva fra un corpo pieno e uno voto, non possiamo a meno di concludere, che l' elettricismo si distribuisce sulle superficie. Infatti, si ponga sopra un sostegno isolatore una sfera metallica vota, aperta in un punto, con un foro circolare di 2 o 3 centimetri di diametro, e con la macchina elettrica venga comunicata ad essa una certa quantità d' elettricismo, o anco si metta in comunicazione il suo interno col corpo elettrizzato. Se quindi si allontanano la sfera dal conduttore, per introdurre una pallina di metallo, fissata all'estremità d' un lungo filo di gomma-lacca, ritirandola poi, e presentandola ad una pallina di midolla di sambuco liberamente sospesa, si vede che non presenta la minima quantità d' elettricismo. Se al contrario si tocca la superficie esterna con la stessa pallina metallica, essa si caricherà d' elettricismo tanto da far muovere quella di sambuco; e se questa era prima carica d' una certa quantità d' elettricismo, si vedrà che la sfera aveva lo stesso elettricismo del conduttore.

Quando si ripete quest' esperienza, bisogna osservare di introdurre nella sfera la pallina e ritirarnela con la maggior prontezza possibile, facendola passare per il mezzo del foro, per evitare di prendere una porzione dell' elettricismo accumulato sugli orli. Qualche volta si trova, che la pallina presenta deboli segni d' elettricismo di specie *contraria* a quello della sfera, e che non sparisce neppure col contatto dei corpi conduttori. Questa permanenza indica, che un tale elettricismo non appartiene propriamente alla pallina, ma che le vien comunicato dalla gomma-lacca, la quale glielo rende a misura che le vien tolto. In altro luogo vedremo, come la gomma-lacca può caricarsi a distanza d' un elettricismo contrario a quello della sfera.

L' esperienza può ripetersi anco in un altro modo. Si prenda un corpo di qualunque forma, vi si facciano varie aperture cilindriche di due o tre centimetri di diametro, e di una profondità a piacere; si isoli questo corpo, si carichi d' un elettricismo noto, e con destrezza si introduca in un' apertura un piccolo disco metallico tenuto in un punto della sua periferia da un filo di gomma-lacca, osservando bene di non toccar gli orli dell' apertura: questo disco non acquisterà il minimo grado di elettricismo, e presentato ad una delle solite palline caricata prima d' eguale specie d' elettricismo, non produrrà la minima repulsione. Ma se si metta

a contatto con la superficie esterna del corpo, o con l'orlo di una delle aperture, respingerà vivamente la pallina suddetta.

Questa tendenza dell'elettricismo a spargersi sulla superficie dei corpi, può rendersi anco sensibile con una curiosa esperienza. Sia MN (*fig. 199*) un cilindro conduttore isolato, mobile intorno ad un asse orizzontale: su questo cilindro è avvolto un nastro metallico, all'estremità del quale è attaccato un cordone di seta. Questo apparecchio è in comunicazione con un elettroscopio sensibile, composto di due fili metallici, ai quali sono appese due palline di midolla di sambuco. Se si elettrizza il cilindro ed il nastro, subito le palline divergono: allora si svolge il nastro, tirandolo per il cordone isolatore D, e si vedgono i fili ravvicinarsi, e indicare l'indebolimento progressivo della loro reazione. Lo slontanamento delle palline potrebbe anco divenire insensibile, se il nastro fosse molto lungo, in proporzione della carica elettrica dell'apparecchio. Se di nuovo si avvolge il nastro al cilindro, di nuovo i fili divergono; e se il tempo è favorevole alle esperienze, la reazione dei fili si riproduce come in principio dell'esperienza.

Da queste esperienze, che pur potrebbero variarsi in molte altre maniere, risulta che l'elettricismo va sulla superficie dei corpi conduttori, e non penetra in verun modo nell'interno. E l'esperienza pure ci insegna, che su queste superficie è ritenuto dalla sola pressione dell'aria, la quale è il solo ostacolo che gli impedisce di abbandonare i corpi (n.º 284).

3.12. Quando il corpo conduttore è una sfera, la sola ragione di simmetria richiede, che lo strato elettrico sia egualmente grosso in tutti i punti, il che infatti è confermato dalle esperienze.

Quando si accumulano sopra una sfera quantità sempre maggiori d'elettricismo, è indifferente per le esperienze, che i nuovi strati si dispongano sui primi e ne accrescano la grossezza, oppure che restando la stessa la grossezza, la densità dell'elettricismo cresca in ogni punto.

3.13. Cerchiamo ora come l'elettricismo si distribuisca sui corpi di forme diverse, e a questo fine possiamo servirci egualmente del piccolo disco metallico isolato con un filo di gommalacca, il quale basterà a farci conoscere non solo la specie dell'elettricismo, ma ancora la quantità assoluta che si trova sparsa sopra ciascuna parte del corpo. Si presenta pertanto questo disco al disco mobile della bilancia elettrica, che prima però è stato caricato d'una certa quantità d'elettricismo della stessa natura. La reazione del piccolo disco sarà proporzionale alla sua carica; e se si ripeta l'esperienza col disco stesso elettrizzato a un grado diverso, ma senza alterare la carica della pallina mobile, è chiaro che le torsioni necessarie per ricondurle alla stessa

distanza, indicheranno i rapporti delle cariche (a). Bisogna ora vedere, se un piccolo piano applicato sopra un corpo elettrizzato, gli tolga una quantità d' elettricismo proporzionata all' intensità dell' elemento che esso tocca. Ecco il modo di assicurarsene.

Si pone sopra un isolatore un corpo di figura qualunque e si elettrizza; si tocca poi in un punto determinato b col piano di prova, si porta questo nella bilancia, caricata già d'un elettricismo della stessa specie, e si nota la torsione necessaria per far equilibrio alla repulsione, ad una distanza fissa D , e sia B questa torsione.

Si ritira il piano di prova, e si mette a contatto con un altro punto b' ; si porta quindi nella bilancia, e si osserva parimente la torsione necessaria per far equilibrio alla forza repulsiva, alla medesima distanza D , e sia mB questa torsione: il suo rapporto adunque con la prima sarà m .

Se dopo qualche minuto si ripetano le esperienze stesse, portando sempre il piccolo piano sui punti b e b' , non si troveranno più assolutamente le stesse torsioni, a motivo della dispersione dell' elettricismo per parte dell' aria, ma il rapporto sarà sempre lo stesso; dimanierachè, se la prima era B , la seconda sarà mB . Perchè poi il paragone sia esatto, bisogna che l'intervallo di tempo fra i due contatti successivi sia sempre lo stesso che nelle prime esperienze, poichè altrimenti la perdita dell' elettricismo non sarebbe in proporzione la stessa. E per quanto si moltiplichino tali prove, le torsioni saranno sempre proporzionali, finchè resterà elettricismo sui corpi conduttori.

Queste esperienze provano, che la quantità d' elettricismo assoluto tolta dal piano di prova ad ogni contatto, è proporzionale alla somma attuale e totale dell' elettricismo del conduttore. Infatti, avendo notate l' epoche delle osservazioni successive, si vede che l' indebolimento assoluto è precisamente quale deve risultare dal solo contatto dell' aria; cioè la repulsione del piano e

(a) Infatti si sa (n.º 296) che la reazione elettrica di due corpi elettrizzati è $\frac{EE'}{D^2}$: la carica E del disco mobile, e la distanza D dei due dischi, sono costanti, e varierà soltanto la carica del disco di prova: e poichè $\frac{EE'}{D^2}$ fa equilibrio alla torsione nel primo caso, e

$\frac{EE''}{D^2}$ nel secondo, chiamando m , m' i gradi di torsione, avremo

$E' : E'' :: m : m'$. E inoltre, siccome E' , E'' sono proporzionali alle intensità dei punti che essi toccano, si ha il rapporto esatto di queste intensità.

della pallina mobile, a qualunque epoca, è assolutamente la stessa di quella che sarebbe se si fosse messo il disco nella bilancia con la carica primitiva d'elettricismo che aveva acquistata nel punto *b*.

314. Può provarsi la stessa verità in un modo più diretto e più semplice. Sia un cilindro conduttore isolato, e carico di una certa quantità d'elettricismo, e supponiamo che sia molto più lungo che largo. Se si presenti il piano di prova sul punto di mezzo di esso, e poi ad un'estremità, si troveranno due quantità molto diverse. Ma se si tocchi il cilindro con un altro cilindro di specie, di forma e di dimensioni uguali ed egualmente isolato, la divisione accadrà sicuramente in modo eguale fra i due corpi, e quindi il primo conduttore non conserverà che la metà del suo elettricismo. Se si riporta il piano di prova sopra i due punti medesimi *b*, *b'*, si trova che le reazioni elettriche son ridotte esattamente alla metà di quelle che erano in principio.

Resta dunque dimostrato da queste esperienze, che il piano di prova prende quantità assolute d'elettricismo, proporzionali alla quantità totale dell'elettricismo sparso sulla superficie dei corpi, nel momento del contatto; e qualunque sia questa somma, le quantità prese nel medesimo momento sopra diversi punti della superficie, son fra loro in un rapporto invariabile. Da ciò resulta questa conseguenza: *l'intensità dell'elettricismo di ciascun punto d'una superficie, cresce o scema nello stesso rapporto della quantità totale d'elettricismo sparso su tutta la superficie.*

315. Coulomb ha cercato il rapporto fra la quantità d'elettricismo che prende il piano di prova, e quello che si trova sull'elemento della superficie che esso tocca. Ha posto pertanto sopra un isolatore un globo di 8 pollici di diametro, ed ha elettrizzato positivamente tanto esso quanto la pallina mobile della bilancia; quindi l'ha toccato con un globo di un solo pollice di diametro, ed ha poi portato questo globo nella bilancia, ed ha trovato, che vi è voluta una torsione di 144° per far equilibrio alla forza repulsiva, ad una data distanza.

Ha toccato quindi il globo più grosso con un piano circolare isolato, di 16 pollici di diametro, ed ha ripetuta l'esperienza fatta col piccolo globo, e questa volta, per equilibrare la forza repulsiva, è bastata una torsione di 47 gradi.

Per ben analizzare questa esperienza, bisogna considerare che i due globi, essendo di figura uguale e toccandosi precisamente nello stesso modo, la divisione dell'elettricismo ha dovuto farsi sempre in un rapporto dipendente soltanto dalle loro superficie. Le reazioni elettriche del globo grande nelle due esperienze, hanno dunque dovuto esser proporzionali a quelle del globo piccolo, o a 144 e 47 . E per ciò che sappiamo relativamente alle forme sferiche, questi numeri possono considerarsi come nel rap-

porto delle quantità d' elettricismo sparso sul globo grande alle due epoche. Così il globo, per il contatto del piano, ha perduto 144-47, ossia 97, cioè il doppio incirca di ciò che ha conservato. Ora la superficie di un globo di 8 pollici di diametro è $4\pi r^2$; quella d' un piano circolare di 16 pollici di diametro, è $2\pi r^2$, cioè doppia di quella del globo. Sembra dunque che nel contatto tangenziale d' un globo e d' un piano, la divisione dell' elettricismo si faccia quasi proporzionatamente alle due superficie: il qual rapporto è anzi tanto più esatto, quanto il disco piano è più piccolo, come parimente risulta da altre esperienze dello stesso Coulomb. Così il piano di prova prende una quantità d' elettricismo doppia di quella dell' elemento che esso tocca; e riportato sulla bilancia, appunto per la sua piccolezza, agirà sull' ago elettrizzato come un sol punto carico della stessa quantità d' elettricismo. La torsione del filo sarà dunque proporzionale ad esso, e in conseguenza proporzionale all' intensità elettrica dell' elemento che ha toccato. Si vede dunque come le torsioni posson dare i rapporti d' intensità elettrica dei diversi punti d' un corpo.

In esperienze di questo genere è inutile tener conto della quantità d' elettricismo tolta dal piano di prova, perchè è piccolissima in paragone di quella della superficie totale del corpo.

La perdita d' elettricismo accade sempre, quando in maggiore, quando in minor quantità, e bisogna necessariamente considerarla, il che può farsi per mezzo di ciò che abbiamo detto di sopra (n.º 209). Ma è meglio supplire a questa correzione, combinando le esperienze in modo che si rettificino fra loro. Si tratti per esempio di paragonare le intensità di due punti *a*, *b*: prima si toccherà il punto *a* col piccolo disco, quindi si osserverà la reazione proporzionale che ne risulta in questo, e si farà poi lo stesso nel punto *b*, e si osserverà la reazione corrispondente. Allora se fra le due osservazioni è passato un certo tempo, per esempio 3 minuti, si lasceranno passare 3 minuti, e poi si ripeterà il contatto di *a*. E prendendo una media aritmetica fra quest' ultimo resultamento e il primo, è chiaro che si avranno tali resultamenti, che staranno fra loro in rapporto come se non vi fosse niuna perdita d' elettricismo. Questo modo di correzione per mezzo d' osservazioni corrispondenti, è eccellente, perchè semplice, e perchè non richiede che bilance di piccol volume (*Accad.* 1787. p. 425.)

316. Bisogna far attenzione sulla qualità della gomma-lacca. Quella di colore scuro è la migliore, ma nondimeno è bene provarla. Ciò può farsi, per esempio, tirandola in fili, e presentando questi fili ad un conduttore elettrizzato: se questi si impregnano d' elettricismo, bisogna escluderli, ritenendo quelli soltanto che presentano una completa impermeabilità.

317. Riporteremo varie esperienze nelle quali Coulomb si è servito del metodo che abbiamo descritto.

Primieramente cercò come si distribuiva l'elettricismo sopra una lama d'acciaio lunga 11 pollici, larga 1 pollice, e grossa $\frac{3}{8}$ linea; e per poterla toccare in tutta la sua lunghezza, fece il piano di prova lungo un pol. e largo 3 pol. ed ottenne i risultamenti seguenti.

	Torsioni osservate	Torsioni medie nel mezzo	Torsioni medie a un pollice dalle estremità	Rapporto
Nel mezzo	370	360	440	1,22
A 1 pol. dall'estr.	440	350	417,5	1,19
Nel mezzo	350	335	395	1,18
A 1 pol. dall'estr.	395			
Nel mezzo	320			
				Media 1,20

cioè le intensità dell'elettricismo nel mezzo e ad un pollice dalle estremità, sono nel rapporto di 1 a 1,2.

Lama medesima

	Torsioni osservate	Torsioni medie nel mezzo	Torsioni medie all'est.	Rapporto
All' estr.	400	195	395	2,03
Nel mezzo	195	190	390	2,05
All' estr.	390	185	370	2,00
Nel mezzo	185			
All' estr.	350			
				Media 2,03

Lama medesima

	Torsioni osservate	Torsioni medie nel mezzo	Torsioni medie al di là degli orli	Rapporto
Nel mezzo	305	295	1175	3,98
Al di là degli orli	1175	285	1156	4,05
Nel mezzo	285			
Al di là degli orli	1137			
				Media 4,01

Così dal mezzo fino ad un pollice di distanza dagli orli, l'intensità elettrica è sensibilmente costante; dal mezzo all'estre-

mità cresce nel rapporto di 1 a 2; finalmente quando il piano di prova è applicato sul taglio della lama, dà un'intensità quadrupla di quella del mezzo.

In un'altra lama lunga 22 pollici, e nel resto eguale alla precedente, fu trovato lo stesso rapporto fra il mezzo e le estremità.

Da ciò Coulomb conchiuse, 1.° che il piano di prova, nell'esser posto a contatto sulle superficie delle lame, partecipa dell'elettricismo della sola faccia che tocca; 2.° che al di là d'una certa lunghezza, sufficiente perchè l'intensità dell'elettricismo sia sensibilmente uniforme in una gran parte della sua superficie, un nuovo aumento di lunghezza non influisce più sul rapporto delle quantità d'elettricismo accumulate nelle estremità e nel mezzo, essendo la seconda la metà della prima.

Il rapido aumento dell'elettricismo verso le estremità delle lame, non è particolare ad esse soltanto; anzi si osserva in generale nei corpi prismatici o cilindrici, nei quali l'aumento è tanto più rapido, quanto essi son più sottili. Coulomb ha fatte alcune esperienze simili alle precedenti, con un cilindro lungo 30 pollici, e di 2 pollici di diametro, terminato in due emisferi.

Resultamenti

	Rapporto delle torsioni
Nel mezzo e a 2 poll. dalle estremità	1,25
Nel mezzo e a 1 poll. dalle estrem.	1,80
Nel mezzo e alle estrem.	2,30

Per cilindri molto assottigliati verso le estremità, ha trovato che l'aumento è molto più rapido; e se l'estremità si allunga in punta, l'intensità cresce a tal segno, che la resistenza dell'aria non basta più per trattenerla. Torneremo su questo proposito all'articolo dei parafulmini.

Esperienza fatta con un disco di 10 pollici di diametro

	Intensità elettriche
Nel centro	1
A 1 poll. dal centro	1,001
A 2	1,005
A 3	1,170
A 4	1,52
A 4,5	2,07
A 5	2,90

La stessa esperienza è stata ripetuta con dischi circolari diversi, ed è stato trovato, come già si trovò per le lame, che al di là d'una certa estensione, la legge d'intensità verso gli orli diviene la stessa. Bastino questi esempi per dare un'idea della distribuzione dell'elettricismo sui corpi.

Distribuzione del fluido elettrico fra molti corpi a contatto

318. Coulomb ha fatte molte ricerche su questo proposito, ma qui non riferiremo se non quelle relative ai casi più semplici. In seguito vedremo che i risultamenti dell'esperienza son concordi con la teoria. Del resto Coulomb per studiare la distribuzione del fluido elettrico, si è servito del metodo generale di cui abbiám parlato in principio di questo capitolo.

Se primieramente due sfere eguali sieno caricate d'una stessa specie d'elettricismo (*fig. 200*), l'elettricismo è insensibile dal punto di contatto fino a 20° . Da 30° in C a 90° in D, l'intensità elettrica cresce nel rapporto di 208 a 1000; da 60 in B a 90° in D, l'aumento è nel rapporto di 799 a 1000.

Finalmente da 90° a 180° , l'aumento è quasi insensibile, giacchè è nel rapporto di 1000 a 1058.

Resultamenti ottenuti con due globi diseguali, che hanno i diametri uno doppio dell'altro. Osservazioni fatte sul globo più piccolo

319. Dal punto di contatto a 30° in C (*fig. 201*), elettricismo insensibile; da 60 in B, a 90° in D, rapporto di 588 a 1000; da 90° in D, a 180° in A, rapporto di 1000 a 1333. L'intensità sul globo più piccolo in D, sta all'intensità nel punto D sul globo maggiore, nel rapporto di 1,25 all'unità. Poisson però trovò col calcolo 1,24.

Resultamenti ottenuti con 12 globi di 2 poll. di diametro

320. I globi posti ad egual distanza dal mezzo sono egualmente carichi d'elettricismo.

L'intensità dell'ultimo globo sta all'intensità del globo seguente, come 1,50 a 1,00; e all'intensità del globo di mezzo come 1,75 a 1,00. La disposizione dell'elettricismo sopra un cilindro, è poco diversa da quella che ha luogo sopra una serie di globi eguali.

321. Coulomb ha cercato ancora come accada questa distribuzione fra un globo di 8 pollici di diametro e varii cilindri

di grossezza diversa, ma di egual lunghezza, ed ha trovato che

L' intensità sul globo essendo	1,00
L' intensità sopra un cilindro di 2 pollici di diametro, e lungo 30 poll. è	1,30
L' intensità sopra un cilindro di 1 poll. di diametro	2,00
L' intensità sopra un cilindro di 2 linee di diametro	9,00

Da ciò chiaramente si vede, che l' intensità elettrica sopra un cilindro a contatto con un globo sarà tanto maggiore, quanto minore sarà il diametro del cilindro. Finalmente questa intensità potrà accrescersi a segno da vincere la resistenza dell' aria, e con ciò si comprende il potere delle punte per mandar fuori il fluido elettrico (*Ac. des Sc.* 1788).

322 Poisson ha sottoposto all' analisi la distribuzione del fluido elettrico sulla superficie dei corpi: ed ha trovato, che esso deve restare appunto sulla superficie dei corpi, formandovi uno strato sottilissimo. La superficie esterna dello strato elettrico è eguale a quella dei corpi, e l' interna è necessariamente poco diversa dall' altra, perchè lo strato elettrico è sottilissimo.

Perchè il corpo resti in uno stato permanente, è chiaro che la forma della superficie deve esser tale, che lo strato interno non eserciti nè attrazione nè repulsione sui punti posti nella sua cavità. Questa condizione analitica appunto determina in generale la forma e la grossezza dello strato, la qual grossezza per lo più è diseguale.

Sopra una sfera la grossezza dello strato è costante. Si dimostra infatti che un tale strato, nella legge del quadrato delle distanze, non esercita alcuna azione sui punti del suo interno. Sopra un' ellissoide questa grossezza è variabile; anzi le grossezze che corrispondono ai vertici dei due assi son fra loro come le lunghezze di questi.

Uno dei risultamenti dell' analisi è, che la pressione esercitata in un punto contro l' aria, è in ragion composta della forza repulsiva delle molecole e della grossezza dello strato in questo punto; e poichè ognuno di questi due elementi è proporzionale all' altro, resulta, che la pressione esercitata contro l' aria, è proporzionale al quadrato della grossezza dello strato elettrico.

Tutti i risultamenti trovati da Poisson per via d' analisi, e che sono di tal natura da poter esser sottoposti alla prova dell' esperienza, sono stati pienamente confermati, e specialmente dalle esperienze di Coulomb.

Poisson medesimo ha studiato ancora sulla distribuzione del fluido sopra molti corpi elettrizzati, sottoposti alla loro influenza reciproca. La disposizione dell' elettricismo è sottoposta ad un principio generale, che ha il vantaggio di ridurre tutte le

questioni di questo genere ad una condizione matematica. Eccone l'espressione.

« Se molti corpi conduttori elettrizzati sien messi in presenza l'uno dell'altro, e giungano ad uno stato elettrico permanente, bisognerà in tale stato che la risultante delle azioni degli strati elettrici che li coprono, sopra un punto qualunque preso nell'interno di uno di questi corpi, sia nulla; poichè altrimenti l'elettricismo combinato che esiste nel punto che si considera, sarebbe scomposto, e lo stato elettrico cambierebbe, contro ciò che abbiamo supposto ».

Questo principio evidente per se stesso, tradotto in calcolo, somministra tante equazioni quante incognite presenta la questione, la soluzione delle quali è però qualche volta superiore alle forze dell'analisi. (*Mem. de l'Institut.* 1811).

*Degli elettricismi dissimulati — Della loro separazione
a distanza*

323. Fin qui abbiamo considerato i corpi elettrizzati per comunicazione o per sfregamento. Studiamo ora l'elettricismo sviluppato a distanza per la sola influenza d'un corpo elettrizzato.

Per render sensibile la scomposizione a distanza, si prenda un cilindro conduttore (*fig. 202*) ritondato alle sue estremità in forma di sfera; vi si attacchi una serie di piccoli pendoli; si tocchi primieramente per metterlo in stato naturale, quindi ad una distanza, tale che non accada esplosione, si presenti ad un corpo elettrizzato *m*, e appariranno i seguenti fenomeni.

La divergenza dei fili posti alle estremità A, B del cilindro conduttore *n*, prova che esso è elettrizzato.

Nel mezzo la divergenza è nulla; e da questo punto in poi comincia e va crescendo fino alle estremità.

Il punto non elettrizzato varia di situazione, a misura che si avvicina o si allontana il corpo elettrizzato.

Una piccola pallina di midolla di sambuco, nello stato naturale, sospesa ad un filo di seta, presentata ai diversi punti del cilindro, è dovunque attratta, eccettuato il punto di mezzo che si trova nello stato naturale.

La pallina elettrizzata è attratta da una delle estremità e respinta dall'altra, il che fa vedere che ciascuna estremità è caricata d'un elettricismo particolare.

Se si porta successivamente il piano di prova su ciascuna delle estremità, si vede che la più vicina al corpo conduttore è carica d'elettricismo di specie opposta alla sua, e di elettricismo eguale sulla estremità più lontana: e se si toglie il cilindro per mezzo de' suoi isolatori, cessano tutti i segni elettrici.

Il corpo elettrizzato non perde nulla per l'influenza che esso esercita sul conduttore cilindrico, come si può riconoscere per mezzo del piano di prova. Tutti questi fenomeni possono prodursi più volte.

L'esperienza precedente riesce con qualunque conduttore. Bisogna dunque che i due elettricismi positivo e negativo esistano in tutti i corpi, e che vi sieno in stato di combinazione in modo da farsi equilibrio; il qual equilibrio può esser rotto senza che vengano alterati i due elettricismi, poichè si riproducono sempre gli stessi fenomeni nel medesimo modo.

Del resto in tutti questi fenomeni non abbiám supposto perdita d'elettricismo, ma è vero però che, se l'aria non è asciutissima, sempre se ne perde e per parte dell'aria stessa e per parte degl'isolatori. Se dunque una porzione dell'elettricismo positivo del conduttore è respinta dal corpo carico d'elettricismo positivo con tal forza che basti a vincere la resistenza dell'aria, questo conduttore cilindrico conserva un eccesso d'elettricismo negativo, dopo che vien sottratto all'influenza del corpo elettrizzato. I quali fatti ci spiegano ciò che abbiám veduto fino dal principio, cioè perchè il corpo confricato e il confricatore si caricano sempre d'elettricismo diverso.

324. Abbiám trovato che i corpi elettrizzati attraggono i corpi leggieri: ora possiamo provare con l'esperienza, che l'attrazione non ha luogo realmente se non fra due elettricismi di specie diversa. In fatti, sospendiamo a due fili di seta sottilissimi due palline di gomma-lacca pura, una delle quali sia coperta di una foglia metallica sottilissima: avviciniamo a queste due palline un corpo elettrizzato, come un cannello di cera-lacca o di vetro, e vedremo che la sola pallina coperta di metallo sarà attratta nel primo momento, mentre l'altra non verrà attratta che dopo un certo tempo, quando cioè l'elettricismo si sia decomposto sulla sua superficie.

325. Se supponiamo che il corpo elettrizzato m opponga al moto dell'elettricismo un ostacolo invincibile, il suo fluido naturale non proverà alcuna scomposizione. Se all'opposto è buon conduttore, i due elettricismi del conduttore n , divenuti liberi agiranno a vicenda sul conduttore m , e produrranno la scomposizione di una porzione del suo fluido naturale; la quale scomposizione la produrrà pure nel corpo n , e così di seguito, finchè vi sia equilibrio fra tutte le forze repulsive e attrattive.

Se si tocca l'estremità A del conduttore n , scema la divergenza dei fili posti in A , e quella de' fili dell'estremità opposta cresce. Se si ritira il corpo elettrizzato, si troverà il corpo conduttore n caricato d'elettricismo positivo, se il conduttore era carico d'elettricismo negativo. Infatti l'elettricismo negativo essendo re-

spinto, è passato nei corpi circostanti; e l'elettricismo positivo, trattenuto dalla presenza del corpo elettrizzato, deve esservi in eccesso: anzi, se anco si fosse eseguito il contatto con un conduttore isolato e nello stato naturale, si sarebbe trovato egualmente dopo l'allontanamento del corpo elettrizzato il conduttore n carico d'elettricismo positivo, ma però in grado molto più debole. Questa esperienza ci sarà utile quando parleremo dei condensatori.

326. Da quanto abbiamo detto fin qui si rileva chiaramente l'azione dell'elettricismo a distanza. L'esperienza seguente è opportuna per dare un'idea dell'attrazione scambievole dei due elettricismi. Si prendano due dischi sottili di vetro CD, C' D' (*fig. 203*) bene spianati, di cinque pollici incirca di diametro, e si attacchino a due manichi isolatori: quindi si strofinino l'uno con l'altro, tenendoli in mano per gl'isolatori: se dopo la confricazione si presentino insieme uniti ad un pendolo formato d'una pallina di sambuco attaccata ad un filo di seta, non si manifesterà veruna attrazione; ma se gli si presentino successivamente, il pendolo sarà attratto da ambedue. E se il pendolo sia stato prima elettrizzato, si vedrà che un disco è carico d'elettricismo positivo, e l'altro di negativo. Nel primo caso il pendolo resta fermo, perchè le azioni dei due dischi a contatto si distruggono reciprocamente.

Si può far l'esperienza anco in un altro modo. Si presenti uno dei due dischi al pendolo, e questo verrà subito attratto; e se in questo stato si presenti il secondo disco al primo, si vedrà il pendolo allontanarsi a poco a poco, e quando i due dischi saranno a contatto, esso sarà tornato in situazione verticale.

Dell' Elettroforo

327. L'elettroforo è stato inventato da Wilck, dotto Svedese. Questo strumento è composto d'un piano di materia resinosa, unitissimo, sul quale si pone un piatto di metallo, munito d'un manico di vetro (*fig. 204*).

Nella teoria di questo strumento, si vede un'applicazione della teoria delle influenze elettriche.

Primieramente si batte il piano di resina con una pelle di gatto, quindi si pone sopra di esso il piatto metallico: allora l'elettricismo negativo sviluppato sulla resina dalla confricazione, scompone il fluido naturale del piatto metallico, attrae l'elettricismo positivo, e respinge il negativo. Se dunque si tocchi con un dito il piatto metallico, l'elettricismo negativo passerà nel terreno, mentre il positivo sarà ritenuto dal negativo del piano resinoso, senza che possa effettuarsi la combinazione, attesa l'imper-

meabilità del piano stesso. Dal che risulta, che se prima si scosti il dito, e poi il piatto metallico, tenendolo per il manico isolatore, si vedrà che esso è carico d'elettricismo positivo, e accostandovi un corpo conduttore, esso darà una forte scintilla. E siccome il piano resinoso conserva per moltissimo tempo il suo elettricismo, così l'esperienza può ripetersi molte volte; e da ciò è nato il nome di *elettroforo* o portatore d'elettricismo.

Questa esperienza però non sempre riesce, specialmente nei tempi umidi, perchè allora l'elettricismo si perde a misura che si sviluppa; e però prima di servirsi dell'elettroforo, è bene scaldarne tutte le parti.

La resina è ordinariamente contenuta in un involuppo di latta. L'elettricismo di questo involuppo è scomposto dall'elettricismo della resina; sicchè l'elettricismo negativo di quello passerà nel terreno, e il positivo sarà attratto dalla parte inferiore del piatto. Se ora vi si accosti il piatto metallico, toccandolo con un dito perchè comunichi col terreno, l'elettricismo positivo dell'involuppo agirà per repulsione sull'elettricismo positivo del piatto metallico, e sarà esso pure respinto; dimani-rachè se si tocchi l'involuppo, una porzione d'elettricismo positivo passerà nel terreno, e allora si avrà la massima carica.

L'elettroforo è d'un uso frequente nei laboratori di chimica. Per esempio, se occorra accendere una mescolanza detonante, come una mescolanza d'aria e d'idrogene contenuta in un eudiometro (*fig. 205*), si tocca il bottoncino *a* col piatto metallico elettrizzato; allora la scintilla elettrica passa a traverso della mescolanza e l'accende. È questa adunque una piccola macchina elettrica molto comoda, perchè per procurarsi forti scintille, basta battere di tempo in tempo con pelle di gatto il piano resinoso.

328. La lucerna elettrica è un'applicazione dell'elettroforo (*fig. 206*). Essa è composta di un vaso di vetro, pieno in parte d'acido solforico allungato con quindici parti d'acqua almeno; dentro è sospeso un cannello di zinco, attaccato ad un filo di platino. In principio lo zinco pesca nel liquido, e perciò si sviluppa il gas idrogene, che si fa escire a piacere per il robinetto *R*. Dopo che ne è sviluppato alquanto, si chiude il robinetto: allora il gas premendo sul liquido, lo fa salire nella parte superiore *O*, sicchè ben presto lo zinco non è più a contatto con l'acido, e cessa quindi lo sviluppo del gas. Questo gas sviluppato, compresso dalla colonna di liquido *AB*, esce per il primo orifizio che trova. Ora nella parte inferiore *CD* dell'apparecchio è disposto un elettroforo in modo, che mentre si apre il robinetto, si alza il piatto metallico, e un'

asta di metallo in comunicazione col piatto che dall'altra parte è isolato, manda sopra un'asta vicina comunicante col terreno, una scintilla elettrica a traverso della mescolanza d'aria e d'idrogene; questa si accende, e brucia finchè prosegue a escire, e ciò può essere opportuno per accendere un lume ec. Di varie forme, ed anco piuttosto eleganti si costruiscono in oggi queste lucerne.

Sopra un punto del piano resinoso è una piccola striscia di metallo che comunica col terreno, sicchè il piatto metallico cede al terreno l'elettricismo negativo respinto dall'elettricismo della stessa specie dalla resina.

DEI CONDENSATORI

329. La boccia di Leida, la batteria e il condensatore propriamente detto, sono strumenti nei quali si accumula l'elettricismo, e che in conseguenza posson chiamarsi condensatori.

Nel 1782 il Volta presentò un nuovo strumento, destinato a riunire piccolissime quantità d'elettricismo. Esso è formato (*fig. 207*) d'un disco di metallo, e d'un altro d'una sostanza media fra i buoni e cattivi conduttori, quale, per esempio, è il marmo. Posto sopra un tal disco un disco metallico, si comunica a questo un piccol grado di elettricismo negativo, il quale scomporrà l'elettricismo naturale del disco di marmo, in modo da attrarre l'elettricismo positivo, e respingere il negativo. Il marmo agirà a vicenda sull'elettricismo negativo del disco, e neutralizzerà la sua forza repulsiva, sicchè si potrà somministrare al disco metallico una nuova porzione d'elettricismo negativo, che scomporrà una nuova porzione del fluido naturale del marmo, e così di seguito. In tal modo adunque si accumulano nel disco metallico piccole quantità d'elettricismo negativo. Se quindi si tolga il piatto, accostandovi un dito, esso darà una scintilla: e poichè agirà ancora sopra un pendolo già elettrizzato, così potrà conoscersi anco la natura dell'elettricismo. Il disco inferiore deve esser formato d'una sostanza talmente conduttrice, che il suo fluido naturale venga scomposto dalla piccola quantità d'elettricismo che riceve il disco metallico: dall'altra parte deve opporre un sufficiente ostacolo al moto dell'elettricismo, sicchè il fluido positivo del disco metallico che esso attrae a se, non possa penetrare nel suo interno.

330. V'è un altro condensatore anco più attivo del precedente, e che in sostanza non è che una boccia di Leida sotto forma più semplice. Esso consiste in due dischi metallici, simili al piatto superiore dell'elettroforo, e separati uno dall'altro per

mezzo d' una lastra di sostanza non conduttrice. Quindi potrebbe formarsi un tal condensatore separando due lastre di metallo con uno strato sottilissimo di resina, con un pezzo di drappo, o anco semplicemente con uno strato d' aria, cioè situando i due dischi ad una certa distanza uno dall' altro. Ma nel condensatore ordinario (fig. 208) lo strato di separazione è una lastra di vetro. Per render comodo l' uso di questo strumento, si dà al disco inferiore un piede solido B, lasciando però ad esso, come pure al disco superiore, il manico di vetro, e anco inverniciato di gomma-lacca, perchè sia miglior isolatore. Quando si vuol caricare questo strumento, si posa sul piatto inferiore la lastra di vetro LL', e su questa il secondo disco: per mezzo di fili o di catenelle si mette in comunicazione col terreno il disco inferiore, e il disco superiore col conduttore della macchina elettrica. Il disco superiore si chiama *collettore*, perchè esso appunto raccoglie l' elettricismo della macchina. Per fissare le idee, supponiamo che la macchina elettrica produca elettricismo positivo. Primieramente questo elettricismo si spargerà egualmente sul conduttore della macchina, e sul disco superiore del condensatore: ma attesa la sottigliezza della lastra LL' di separazione, questo elettricismo positivo scompone per influenza il fluido naturale del disco inferiore, attrae il negativo sulla superficie di questo disco che è a contatto con LL', e respinge sulla superficie opposta il positivo, il quale si dissipa nel terreno per mezzo della catena di comunicazione. Allora il fluido positivo del collettore, che attrae questo fluido negativo, è egualmente attratto da esso; e questi due fluidi neutralizzandosi in parte fra loro, vien rotto l' equilibrio fra il collettore e il conduttore della macchina. Il fluido positivo sviluppato continuamente dalla macchina, può dunque passare nel disco superiore, e quindi decomporre nuove quantità di fluido naturale del disco inferiore, facendo passare nel terreno il fluido positivo, e attraendo sempre il negativo. È chiaro adunque, che da una parte e dall' altra sopra i due dischi si condensano grandi quantità d' elettricismo positivo e negativo; dimaniera che dopo un certo tempo, mettendo in comunicazione per mezzo di uno scaricatore i due dischi, i loro elettricismi si precipiteranno uno verso l' altro per formar fluido naturale, e in tal combinazione produrranno una forte scintilla.

La comunicazione del disco inferiore col terreno è assolutamente necessaria, perchè altrimenti l' elettricismo positivo di questo disco, riterrebbe il fluido negativo del medesimo, e respingerebbe il positivo del superiore, sicchè il condensatore o non potrebbe caricarsi, o si caricherebbe molto debolmente,

come lo prova la debolissima scintilla che si ottiene ripetendo l'esperienza precedente, ma col disco inferiore isolato.

E siccome l'elettricismo positivo del disco superiore, non agisce che a distanza sul negativo dell'inferiore, e dall'altra parte l'intensità dell'elettricismo scema come il quadrato delle distanze, è chiaro che questo elettricismo positivo del collettore è in maggior quantità dell'elettricismo negativo che esso ritiene sul disco inferiore; cioè, se si combinassero insieme queste due quantità d'elettricismi diversi, non resulterebbe soltanto fluido naturale, ma vi sarebbe un eccesso di fluido positivo. Per la stessa ragione l'elettricismo positivo del disco superiore è assai maggiore dell'elettricismo positivo del disco inferiore, che fa passare nel terreno: dunque sul piatto superiore resta sempre un eccesso d'elettricismo. Per vederlo col fatto, basta presentare successivamente i due dischi, separati colla lastra di vetro ad un pendolo caricato prima d'un elettricismo noto. Potrebbe forse credersi, che si potesse indefinitamente accrescere questo eccesso, e quindi la carica del condensatore, ma ciò non è vero; e al contrario si giunge al limite della carica, quando questo eccesso è eguale alla quantità che potrebbe contenere a saturazione il disco superiore, se fosse semplicemente in comunicazione col conduttore della macchina, senza far parte del condensatore. Infatti questo eccesso non essendo attratto dall'elettricismo negativo del disco inferiore, è totalmente libero, e non è trattenuto sul piatto collettore, se non dalla sola pressione dell'aria atmosferica. Ora quando è eguale alla quantità d'elettricismo che prenderebbe questo collettore se fosse solo, non si può più accrescere, perchè l'aria non può ritenere che questa quantità.

In tale strumento una gran quantità d'elettricismo si trova imprigionata nella lastra di separazione. Se infatti tutto l'elettricismo fosse nei due dischi soltanto, questi si scaricherebbero totalmente quando venissero messi direttamente in comunicazione fra loro, il che non accade, perchè dopo la prima si hanno altre scariche, benchè più piccole. La qual cosa può dimostrarsi ancor più chiaramente. Si isola lo strumento dopo caricato, cioè si toglie la comunicazione del disco inferiore col terreno, e del superiore col conduttore; quindi si alza il collettore, e si scarica del suo elettricismo, si leva poi la lastra dal disco inferiore, tenendola per gli orli, e si scarica il disco inferiore. Dopo ciò si rimonta lo strumento; e senza accrescere nuovo elettricismo, si trova pur carico quasi egualmente che prima di levar l'armatura. Quest'esperienza prova evidentemente, che una porzione d'elettricismo esiste nella lastra di vetro, e che

i due fluidi di specie opposta vi sono imprigionati in virtù della loro tendenza scambievolmente a riunirsi.

Il rapporto che esiste fra la quantità d'elettricismo del collettore elettrizzato fino alla saturazione quando fa parte del condensatore, e quello che vi esisterebbe se fosse isolato, si chiama *forza condensante* del condensatore. Rappresentiamo con P la quantità d'elettricismo positivo contenuta sul collettore al massimo grado di condensazione, e con N la quantità di elettricismo negativo ritenuta sul disco inferiore in virtù dell'influenza di P . Abbiamo veduto di sopra che $P > N$, cioè P è più che bastante a neutralizzare completamente N ; dunque N non ritiene che una porzione di P , e se si tocca il collettore con un dito, si dovrà avere una scintilla, come infatti accade. Sia P' la quantità d'elettricismo positivo che vi resta dopo questo contatto; dunque $P - P'$ sarà la quantità d'elettricismo tolta col provocar la scintilla, e in conseguenza quella che era ritenuta sul piatto superiore dalla sola pressione dell'aria. Ora, è chiaro che quest'ultima quantità non è se non quella che prenderebbe questo disco se non facesse parte del

condensatore; dunque $\frac{P}{P - P'}$ esprimerà la forza condensante del condensatore. In questo valore P' è ignota. Per determinarla

facciamo $\frac{N}{P} = m$, dove m è necessariamente un rotto, per-

chè $N < P$; dunque $N = mP$. Ora il rapporto di N a P non dipende che dalla distanza dei due dischi, la quale resta costante, perchè si adopra sempre la stessa lastra di separazione: dunque il rapporto di P ad N deve esser lo stesso che quello

di N a P' , e però $\frac{P'}{N} = m$, e quindi $P' = mN$: ma $N = mP$

dunque $P' = m^2P$. Dunque la forza condensante è rappresentata

$$\text{da } \frac{P}{P - m^2P} = \frac{1}{1 - m^2}.$$

Da ciò si vede, che per calcolare la forza condensante del condensatore, basta conoscere m , o il rapporto di N a P , il che si trova facilmente. Si carica pertanto il condensatore in modo, che separati i due piatti non diano scintilla nell'aria. Fatta la separazione dei due piatti, si tocca il collettore con un piccolo disco metallico, isolato per mezzo d'un tubo di vetro inverniciato di gomma lacca, e questo gli toglie una porzione del suo elettricismo. Portando allora questo piccolo disco

così elettrizzato nella bilancia di torsione, subito si vede respinto d'un certo numero di gradi l'ago mobile, che supponiamo già elettrizzato con elettricismo della stessa specie: si ripete l'esperienza col piatto inferiore, e si osservano attentamente i due moti dell'ago. Sia α il numero di gradi di torsione osservato nel primo caso, α' il numero corrispondente

osservato nel secondo, $\frac{\alpha'}{\alpha}$ sarà il rapporto di N a P. Infatti

$\frac{\alpha'}{\alpha}$ rappresenta il rapporto delle quantità d'elettricismo

contenute in due porzioni eguali delle due superficie dei due piatti (n.° 312): ora queste due quantità sono proporzionali a N e a P, poichè i due piatti del condensatore essendo eguali fra loro, son composti d'uno stesso numero di punti simmetricamente situati; in conseguenza le quantità d'elettricismo contenute su due di questi punti, son proporzionali alle quan-

tità totali. Dunque finalmente $\frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{N}{P} = m$.

Poichè l'elettricismo positivo del piatto collettore è più che bastante per neutralizzare il negativo del piatto inferiore, ne resulta, che dopo la scarica del condensatore, resterà sullo strumento una certa quantità d'elettricismo positivo, il quale può anco facilmente determinarsi (a)

331. Abbiamo veduto che P era più che bastante per neutralizzare N, per la qual cosa abbiamo conchiuso con ragione, che presentando il dito al piatto collettore, e lo strumento essendo perfettamente isolato, se ne doveva trarre una scintilla, dopo la quale resta pure una quantità P' d'elettricismo posi-

(a) Sia L la quantità d'elettricismo positivo libero sul collettore, $\frac{L}{1-m^2}$ rappresenterà la quantità d'elettricismo accumulato su questo

piatto, e però $\frac{mL}{1-m^2}$ sarà la quantità d'elettricismo negativo rite-

nuto sul piatto inferiore. Dunque $\frac{L}{1-m^2} - \frac{mL}{1-m^2} = \frac{L}{1+m}$ rappresen-

ta la quantità d'elettricismo che resta sullo strumento dopo la scarica; e ogni piatto ne avrà $\frac{L}{2(1+m)}$.

tivo sul collettore; ma allora N è maggiore di P' , poichè neutralizza interamente P' a distanza: dunque P' non ritiene che una porzione di N , e il resto è trattenuto dalla pressione dell'atmosfera, e quindi il piatto inferiore deve produrre scintilla. Dopo questa riman pure un'altra quantità N' d'elettricismo negativo; ma P' è maggiore di N' , per la stessa ragione che abbiamo addotta di sopra; dunque deve trarsi una scintilla anco dal piatto superiore, e così di seguito. Chiaro dunque risulta, che il condensatore dà un gran numero di scintille successive, le quali finalmente debbono scaricarlo.

In queste due scariche successive, le quantità d'elettricismo che restano sopra ciascun piatto, dopo ogni scarica parziale, scemano ognuna per parte sua, e scemano con una legge che facilmente si scorge (a).

(a) Infatti abbiamo trovato $\frac{P'}{N} = m$. Ora da ciò che abbiamo detto

apparisce chiaramente, che se P'' , P''' , P^{IV} rappresentino i resti successivi d'elettricismo positivo, ed N'' , N''' , N^{IV} , i resti d'elettricismo

negativo, avremo la serie d'equazioni $\frac{N}{P} = m$; $\frac{P'}{N} = m$, $\frac{N'}{P'} = m, \dots$

dal che si ha $P' = mN = m^2 P$, $N' = m P' = m^3 P$, ec.

I resti successivi d'elettricismo positivo sono $m^2 P$, $m^4 P$, $m^6 P$, $m^8 P, \dots$, i resti successivi dell'elettricismo negativo sono $m^3 P$, $m^5 P$, $m^7 P$, $m^9 P, \dots$. Dall'altra parte, poichè il rapporto m è frazionario, le potenze di questo rapporto son sempre più piccole. Dunque le quantità d'elettricismo che restano su ciascun piatto del condensatore, dopo ogni scarica parziale, formano due progressioni geometriche decrescenti, la ragion comune delle quali è m^2 .

Anco le quantità d'elettricismo successivamente perdute da ciascun piatto in queste scariche parziali, formano due progressioni geometriche decrescenti, la ragion comune delle quali è parimente m^2 . Infatti, la prima perdita che fa l'elettricismo positivo è evidentemente $P - P'$, la seconda $P' - P''$, la terza $P'' - P'''$, e così di seguito: parimente la prima perdita fatta dall'elettricismo negativo è $N - N'$, la seconda $N' - N''$, la terza $N'' - N'''$, ec.: dunque sostituendo a P , P' , P'' , ec. e a N , N' , N'' , ec. i rispettivi valori trovati di sopra, per le prime perdite avremo $P(1 - m^2)$, $m^2 P(1 - m^2), \dots$; e per le seconde $mP(1 - m^2)$, $m^3 P(1 - m^2)$, $m^5 P(1 - m^2)$, il che è conforme a quanto abbiamo enunciato.

Questa proposizione può anco verificarsi in altro modo molto semplice, il quale consiste nel riunire tutte le perdite successive fatte dall'elettricismo positivo, e tutte quelle dell'elettricismo negativo, e vedere se la prima somma è eguale all'elettricismo positivo che era sul piatto superiore, e se la seconda è eguale a tutto l'elettricismo negativo che era sul piatto inferiore. Infatti per la prima somma si trova $P(1 - m^2) (1 + m^2 + m^4 + \dots)$; e per la seconda $mP(1 - m^2) (1 + m^2 + m^4 + \dots)$. Ora $1 + m^2 + m^4 + \dots$ è lo sviluppo

332. Per scaricare un condensatore, si fa uso d'una verga metallica, curvata in arco, terminata con due palline, e fissata ad un manico di vetro coperto di cera-lacca (*fig. 209*). Questa verga si chiama *eccitatore*: si tiene in mano per il manico, e si presenta una delle palline all'armatura inferiore, e l'altra alla superiore.

333. Si osservi, che quando nel condensatore si fa uso d'una lastra di vetro, bisogna sempre riscaldarla e asciugarla con un caldo pannolino, perchè il vetro è soggetto a inumidirsi. Il taffetà meno del vetro ha disposizione per l'umido, ma ha un altro inconveniente, quale è quello di sprigionare elettricismo per effetto della sola pressione dei piatti, per la qual cosa non sempre dà resultamenti comparabili. Quando non si vuole una carica molto forte, basta applicare sul piatto inferiore uno strato di vernice, come vedremo all'articolo dell'elettrometro condensatore.

Della Boccia di Leida

334. La boccia di Leida fu scoperta nel 1746 da Muschenbroeck e da Cunéo. Questa scoperta divenne strepitosa in tutta l'Europa, per il nuovo lustro che dette alla teoria dell'elettricismo; e ognuno volle provare la *scossa*, nonostante che si raccontassero in questo proposito fatti spaventevoli. Tutti i fisici ripeterono la famosa esperienza di Leida, e ne studiarono le diverse circostanze; e l'Ab. Nollet in Francia, dove le nuove esperienze sogliono far sempre vivissima impressione, dette una scossa, in presenza del Re, ad un intero reggimento.

La teoria della boccia di Leida è assolutamente la medesima che quella del condensatore, e si possono applicare ad essa i calcoli che abbiain fatti per questo.

La boccia ha ordinariamente la figura d'un bicchiere o di altro vaso cilindrico, riempito di sottilissimi pezzetti di foglia di rame (*fig. 210*), e sulla superficie esterna coperto, fino ad una certa altezza, di foglia di stagno. La sua bocca è chiusa con un sughero, a traverso del quale passa un'asta metallica *ab*, che superiormente termina in palla, e con l'estremità inferiore comunica con la limatura di rame.

Per caricar la boccia di Leida, ordinariamente si tiene questa in

di $\frac{1}{1-m^2}$: dunque la prima somma dà $\frac{P(1-m^2)}{1-m^2}$, che è eguale a P ; e la seconda somma è $\frac{mP(1-m^2)}{1-m^2} = mP = N$, come appunto si doveva trovare.

mano, facendola comunicare per mezzo della pallina col conduttore della macchina elettrica, e si scosta poi quando la carica della macchina e della boccia è arrivata al massimo grado d'intensità, il che si giudica dall'elettrometro a quadrante situato sulla macchina stessa. Allora, toccando la pallina con un dito dell'altra mano, si prova una violenta scossa nelle braccia, e specialmente nelle articolazioni. Molti individui possono provare insieme la scossa, sol che si tengano fra loro per mano, il primo della catena tenendo la boccia, e l'ultimo toccando la pallina. Ed è tanta la velocità con cui si trasmette l'elettricismo, che tutti provano la scossa nello stessissimo momento.

Vedemmo di sopra che il condensatore per caricarsi doveva essere in comunicazione col terreno; ed è lo stesso della boccia di Leida. Se dunque si ponga questa sopra un isolatore, in vece di tenerla in mano, e si metta in comunicazione con la macchina l'armatura interna, dopo i primi giri del disco, l'elettrometro indica la massima carica; e se quindi si facciano comunicare le due armature della boccia, non si produrrà veruna scintilla. Meglio ancora riesce l'esperienza, attaccando la boccia al conduttore, perchè in tal caso l'elettricismo dell'armatura esterna non può disperdersi che per parte dell'aria; e se questa è ben asciutta, la perdita è piccolissima.

Tanto nella boccia quanto nel condensatore, gli elettricismi dissimulati non si trovano nelle armature. Per provarlo, si fa uso di una boccia di egual diametro alla base e al collo, e formata in modo, che le due armature possano togliersi comodamente. Se si carichi fortemente una tal boccia, e si ponga sull'isolatore; quindi si levino le armature e si tocchino per ridurle allo stato naturale, e finalmente si rimettano come prima, e si provochi la scintilla, si trova che non è punto indebolita.

335. La boccia di Leida è opportunissima per dimostrare qual parte ha l'aria nei fenomeni elettrici. Si ponga sotto il recipiente della macchina pneumatica una boccia intensamente caricata, e si faccia il voto: i due elettricismi delle armature si riuniscono, anco prima che il voto sia fatto; il che si rende anco visibile per mezzo di una traccia luminosa, se l'esperienza si faccia di notte.

Dicemmo di sopra, che il piatto del condensatore, in comunicazione con la macchina elettrica, si carica d'un eccesso d'elettricismo: ora accade lo stesso per la boccia di Leida. Infatti, si attacchi al gancio *ab* un piccolo elettroscopio, composto di due palline di midollo di sambuco, attaccate a due fili di lino (*fig. 211*), e si carichi poi la boccia nel modo indicato di sopra; le palline divergeranno, anco dopo che la boccia è stata posata sull'isolatore. Se si tocca il gancio *ab*, si toglie l'eccesso di fluido trattenuto dalla sola pressione dell'aria, e quindi le palline tor-

nano a contatto; e l'altra porzione d'elettricismo positivo, non tolta dal dito, è neutralizzata dall'elettricismo negativo dell'armatura esterna. Questo pure deve ora essere in eccesso, perchè neutralizza a distanza l'elettricismo dell'armatura interna: dunque un elettroscopio che sia in comunicazione con l'armatura esterna, divergerà moltissimo. Se si tocca l'armatura esterna, si toglie l'eccesso d'elettricismo, l'elettroscopio dell'interno diverge, e così di seguito.

336. Siccome il vetro non è mai assolutamente impermeabile, a traverso di esso penetra sempre una quantità d'elettricismo. Nel momento in cui si scarica la boccia, questo elettricismo resta imprigionato nel vetro, e non contribuisce all'effetto prodotto, ma a poco a poco si sprigiona. Da ciò deriva, che spesso quando crediamo già scarica la boccia, e la prendiamo senza precauzione, proviamo una forte scossa.

337. La boccia di Leida serve ancora per procurarci quella specie d'elettricismo che vogliamo. Per esempio, se vogliamo elettricismo positivo, caricheremo la boccia nel modo indicato, ed elettrizzeremo positivamente un corpo, toccando con questo la pallina della boccia, ossia l'armatura interna. Se da questa boccia caricata nell'istessa maniera vogliamo invece elettricismo negativo, la poseremo sopra un isolatore, e toccheremo la pallina: allora l'eccesso dell'elettricismo dell'interno, trattenuto dalla pressione dell'aria, passerà nei corpi circostanti, e l'armatura esterna conterrà un eccesso d'elettricismo negativo; sicchè per elettrizzare negativamente un corpo, basterà metterlo a contatto con l'armatura esterna (1).

(1) Che in questa maniera si ottenga a piacere l'elettricismo positivo o negativo, può verificarsi con una graziosa esperienza. Dopo aver caricata positivamente l'interna superficie d'una boccia di Leida, si prende per l'armatura esterna, e con la pallina si percorre una porzione dell'elettroforo, come per segnare una lettera, o delineare una figura. Si scarica quindi la boccia, e si carica negativamente la stessa interna superficie; si posa poi sopra un isolatore, si prende per l'armatura esterna, e con la pallina si percorre l'elettroforo, come per formare un contorno alla lettera o figura segnata prima sul medesimo. Dopo ciò si prende una specie di soffietto di forma cilindrica, fatto in modo che le sue due pareti, divise da una molla, si avvicinano e si allontanano quando si mette in azione. Si introduce nel soffietto una mescolanza di solfo e di minio o d'ossido rosso di piombo, quindi si chiude la bocca del collo con un pezzo di finissimo setaccio. Si agita quindi il soffietto sopra l'elettroforo, sul quale cade come una nube di questa mescolanza di polveri: allora sulla parte percorsa dalla pallina elettrizzata positivamente, comparisce tinta di color roseastro la lettera o la figura che vi fu segnata, composta di particelle di minio, che sembra venire attratto, come tutti gli ossidi e gli acidi dall'elettricismo positivo; e si vede distintamente di color giallastro il contorno percorso con la pallina elettrizzata negativamente.

Un modo particolare d'ottenere la scarica da una certa distanza è stato immaginato dal Fisico Mauduyt. Questo è rappresentato dalla *fig. 212*, dove *ab* è un conduttore che è isolato dall'interno della boccia e comunica con l'esterno di essa, e può essere avvicinato più o meno alla pallina dell'interno (1).

Carica per cascata

338. Si sospende una prima boccia per la sua pallina al conduttore della macchina elettrica; a un gancio fissato sotto questa boccia se ne sospende un'altra, e così di seguito (*fig. 213*), e al gancio dell'ultima si attacca una catena, che comunica col terreno. Facendo agir la macchina, l'elettricismo positivo si accumulerà nell'interno della prima boccia, scomparirà l'elettricismo naturale dell'armatura esterna, attrarrà l'elettricismo negativo, e respingerà il positivo nell'interno della seconda, l'armatura esterna della quale sarà negativa, e così di seguito; sicchè tutte le armature esterne saranno caricate d'elettricismo negativo. Se mettiamo in comunicazione l'armatura esterna dell'ultima con l'interno della prima, le scaricheremo tutte insieme; ed è chiaro che la scossa sarà meno forte che con una sola boccia.

Può accrescersi moltissimo la scossa, levando separatamente tutte le bocce, ponendole sopra una lastra buona conduttrice, e riunendo per mezzo di una catena le armature interne, le quali

te, apparendo che l'elettricismo negativo attrae le sostanze sulfuree, come le alcaline. Nel resto della superficie dell'elettroforo, comechè non elettrizzata, non resta adesa niuna quantità di polvere, sicchè soffiando anco sol con le labbra, tutta la polvere sparisce, meno che nei punti percorsi dalla boccia caricata nell'una e nell'altra maniera, nei quali le polveri restano per lungo tempo adese, a motivo del fluido elettrico che le attrae e le ritiene.

(1) La boccia di Leida può formarsi ancora con una lastra o con un disco di vetro, coperto di stagnola sopra ambedue le superficie fino alla distanza di 2 pollici in circa dall'orlo; se non che una piccola striscia del medesimo metallo si prolunga dalla superficie inferiore alla superiore, fino ad una certa distanza dalla foglia metallica di questa; e ciò per comodo di mettere facilmente in comunicazione le due superficie, quando occorra. Quindi si mette la superficie superiore in comunicazione col conduttore quando si elettrizza, e l'inferiore col terreno, per mezzo d'una catena metallica. Se l'elettricismo è abbondante, questa boccia a superficie piana si scarica spontaneamente con viva scintilla, senza rompersi, come potrebbe accadere di una boccia cilindrica: se meno abbondante è l'elettricismo, si mette in comunicazione con la superficie superiore la striscia che fa parte della superficie inferiore, e si ottiene o una vivissima scintilla, se si opera con un eccitatore, o una forte scossa se si opera con la mano, o con qualunque dei nostri organi. Questa lastra è stata chiamata *quadro magico* o *quadro fulminante*.

come il fatto e la ragione lo provano, son tutte cariche d'elettricismo positivo. In tale stato, mettendo in comunicazione l'interno d'una boccia col conduttore sul quale posano tutte, resulterà una scarica completa.

Molto maggiore effetto si otterrebbe riunendo in questo modo le bocce per caricarle, di quello che caricandole per cascata, poichè in quest'ultima maniera, la quantità d'elettricismo va scemando dalla prima fino all'ultima boccia.

Batterie elettriche

339. Osservando che l'effetto della scarica della boccia di Leida era tanto più energico, quanto più estesa era la sua superficie, nacque nei Fisici l'idea di riunire un certo numero di bocce. Questa riunione si fa ordinariamente in una cassetta di legno, foderata con una foglia di stagnola, e con tutte le palline delle bocce in comunicazione fra loro, per mezzo d'una verga o d'una catena metallica; e in tal sistema ogni boccia si chiama giara. Per caricar la batteria, basta mettere in comunicazione la superficie interna col conduttore della macchina elettrica, e l'esterna col terreno; e facendo agire la macchina, l'elettrometro a quadrante di Henley, posto sul conduttore, indicherà quando la carica è al massimo grado (*fig. 214*).

E qui importa moltissimo avere un regolatore, il quale indichi ad ogni momento lo stato della batteria, poichè l'elettricismo positivo dell'interno, accumulato a un certo grado, può acquistare tanta forza repulsiva da portarsi sull'armatura esterna; e poichè in tal caso lo scoppio accaderebbe in un sol punto, potrebbe risultarne la rottura delle giare.

Si osservi però, che non conviene scaricare con le mani una batteria anco di sole sei bocce di media grandezza, perchè troppo forte sarebbe la scossa, e capace di produrre nella macchina incomodi effetti, come a qualcuno non abbastanza cauto è talvolta accaduto.

Effetti meccanici dell' Elettricismo

340. La scarica d'una forte batteria elettrica può fondere e volatilizzare i metalli, spezzar cilindri di legno e di vetro, produrre l'accensione della polvere, e anco uccidere un animale, se passi a traverso del corpo di esso.

Una semplice boccia di Leida può anco servire a far varie esperienze relative al potere meccanico dell'elettricismo. Così se si faccia passare la scarica a traverso dell'alcool o dell'etere po-

sti in un cucchiaino, questi liquidi si accendono: così pure brucia un cannello di fosforo, e una mescolanza d'idrogeno e d'ossigeno si accende e detona: così un filo di ferro, posto nelle stesse circostanze, diviene incandescente, brucia, e si disperde in una infinità di piccoli grani in stato di ossido; e l'oro e l'argento restano volatilizzati. Cavendish ha rilevato ancora, che la scintilla passando a traverso dell'aria, determina la riunione dei due elementi di questo fluido, e produce acido nitrico.

Le scariche elettriche son capaci di produrre altresì le scomposizioni. Così se si esponga all'azione d'una corrente elettrica un po' d'ossido di stagno in un tubo di vetro, dopo la scarica si veggono sulle pareti del tubo alcune tracce di metallo. Il Dott. Wollaston ha disuniti gli elementi dell'acqua, facendo passare a traverso di questo fluido una serie di scintille elettriche. Il mezzo ingegnoso usato da questo Fisico, consiste nell'inserire in tubi di vetro capillari, fili sottilissimi di platino o d'oro, fondendo questi tubi e assottigliando i fili per quanto è possibile; e l'effetto riesce tanto più distinto, quanto appunto più fini son questi fili.

Lo stesso Fisico osservò, che una carta tinta con una soluzione di lacca-muffa, posta fra due fili che scaricavano una boccia di Leida, diveniva rossa all'estremità che toccava il polo positivo, e che questa medesima estremità, portata al polo negativo riacquistava il suo primo colore. Sostituendo a questa carta una soluzione di rame, il filo negativo compariva coperto di rame, il qual metallo poi spariva, se la corrente elettrica veniva rovesciata (*Phys. trans.* 91). Esamineremo meglio questo genere di fenomeni, quando parleremo della Pila.

Quasi per eternare anco con l'elettricismo stesso la memoria di Franklin, che è di tanto onore alle scienze, dai Fisici è stata immaginata una graziosa esperienza. Si pone una foglia d'oro fra due lastre, che poi si stringono fortemente: la foglia è posata sopra un cartone tagliato in modo, da presentare di profilo il ritratto di Franklin; sicchè ridotta in polvere dalla scarica elettrica, lascia sopra un nastro di seta posto sotto il cartone l'impronta nerastra che rappresenta il ritratto.

Degli Elettroscopii

341. Gli elettroscopii son piccoli strumenti destinati a scoprire le minime quantità d'elettricismo. Tutti questi strumenti son fondati sul principio generale della repulsione che ha luogo fra corpi caricati della stessa specie d'elettricismo. Il più semplice di tutti gli elettroscopii è il pendolo, del quale fin qui

ci siamo serviti più volte, e consiste in una piccola pallina di midollo di sambuco, sospesa ad un filo di seta, non torto, attaccato a un sostegno di vetro (*fig. 215*).

Molti sono gli elettroscopii in uso. Ordinariamente sono due fili di paglia, o due sottili foglie d'oro, o finalmente due fili metallici, alle estremità dei quali sono attaccate due palline di midolla di sambuco. In tutti i casi, si pongono questi fili o queste palline in una piccola boccia, perchè sieno difese dall'agitazione dall'aria, si invernicia poi il collo della boccia con gomma-lacca, perchè l'isolamento sia più perfetto, e sopra una faccia della boccia si segna una graduazione, e l'asta a cui sono attaccati questi corpi leggeri, è situata in modo, che lo slontanamento di essi accade in direzione parallela alla divisione: e quindi uno slontanamento maggiore o minore, indicherà un maggiore o minor grado di elettricismo. Ma poichè l'azione della gravità, tendendo a riportare i fili in situazione verticale cresce in proporzione dell'obliquità dei fili, quindi è, che la forza repulsiva di detti corpi leggeri, non è proporzionale al loro slontanamento. Dunque queste specie di strumenti, non sono adattati a misurare l'energia dell'elettricismo, e a questo fine, bisogna ricorrere alla bilancia elettrica (n. 290).

342. Si voglia ora riconoscere la specie dell'elettricismo di cui è caricato un corpo. Prima di tutto si elettrizzeranno d'elettricismo noto le palline. A tale effetto, si accosti all'asta a cui sono attaccate un cannello di vetro, confricato con panno-lano: con ciò l'elettricismo naturale delle palline e dell'asta verrà decomposto, l'elettricismo negativo sarà attratto dall'elettricismo positivo del tubo di vetro, e il positivo sarà respinto, sicchè toccando l'asta col dito, l'elettricismo positivo passerà nei corpi circostanti; e ritirando quindi il tubo, l'elettricismo negativo libero farà divergere le palline.

Ora ogni corpo elettrizzato il quale, presentato alle palline ad una certa distanza, ne accresca la divergenza, sarà sicuramente carico d'elettricismo negativo; e al contrario un corpo carico d'elettricismo positivo ne scemerà la divergenza, perchè attrarrà l'elettricismo negativo.

343. Coulomb ha costruito un elettroscopio, il quale a differenza di tutti gli altri è indipendente dall'azione della gravità: esso ha molta analogia con la bilancia elettrica. *Cc* (*fig. 216*) è un filo di seta lungo quattro pollici, tenuto teso da uno spillo *ab* che pesa tre grani, e che è attaccato al filo di seta con un filo di gomma-lacca: *pcl* è un ago di gomma-lacca, all'estremità del quale è attaccato un circolo di orpello *l*. All'altezza dell'ago, nella parete della campana di vetro, è fissato un

filo metallico rq , sigillato in un tubo di vetro con gomma-lacca: all'estremità del filo che è nell'interno, è attaccata una pallina di midolla di sambuco fasciata con foglia d'oro. Per mezzo di un circolo di carta diviso in parti eguali e incollato sul vetro, si può rilevare la distanza del circolo mobile d'orpello l e della pallina fissa r . Per mezzo d'un micrometro adattato sul coperchio, si pone il filo in una situazione determinata. Ora se all'estremità del filo si accosti un cannello di cera-lacca confricato con pelle di gatto, cioè elettrizzato negativamente, l'ago orizzontale, caricato prima d'elettricismo negativo, sarà respinto; e allontanando poi il cannello di cera-lacca, la repulsione cesserà. Se vogliamo rendere permanente la repulsione, basta toccare l'estremità q col dito, quindi ritirare prima questo e poi il cannello, e si ottiene l'intento voluto, come abbiamo dimostrato nel paragrafo precedente. In tale stato di cose la gravità non oppone verun ostacolo alla repulsione elettrica; inoltre, per mezzo del micrometro superiore, si può sempre portare il circolo mobile a una distanza fissa.

344. L'elettroscopio di Behrens, perfezionato da Bohnenberger, è il più sensibile fra quanti se ne conoscono. Esso consiste in due pile a secco (*fig. 217*), composte ciascuna di 400 dischi di carta dorata e inargentata di tre linee di diametro, e ciascuna contenuta in un tubo di vetro verniciato. Le due pile per la parte inferiore terminano con una lastra d'ottone che le mette in comunicazione fra loro, e per la parte superiore hanno i poli che sporgono alquanto fuori dei tubi, e tutto l'apparecchio è contenuto in un vaso parimente di vetro con coperchio d'ottone. Per il centro del coperchio passa un tubo di vetro, verniciato di dentro e di fuori; e a traverso di questo tubo passa un filo d'ottone, che porta alla sua estremità inferiore una foglia d'oro, e all'estremità superiore una pallina dello stesso metallo. La foglia d'oro, nel suo stato naturale essendo egualmente attratta dalle due pile, non si muove; ma appena viene elettrizzata, è attratta successivamente dall'una e respinta dall'altra, finchè si precipita poi sopra una di esse.

Questo elettroscopio ha il doppio vantaggio e d'esser molto sensibile, e di indicare immediatamente la specie dell'elettricismo del corpo, il quale elettricismo è di specie contraria a quello del polo dal quale è attratta la foglia d'oro.

Elettrometro condensatore

345. Il Volta, unendo un elettroscopio al condensatore, ha formato uno strumento, a cui ha dato il nome di elettrometro condensatore; e appunto per mezzo di questo, ha potuto deter-

minare l'elettricismo sviluppato per contatto (*fig. 218*). La parte che fa l'ufficio d'elettroscopio, è composta di due fili di paglia *ab* e *cd*, che si sospendono per mezzo di due sottilissimi fili metallici, terminati a gancio. Questi sono attaccati all'estremità d'un pezzo di metallo, che con l'estremità opposta è saldato a un disco metallico *CD*, il qual pezzo è invitato sul collo della boccia: il disco è coperto sulla sua faccia superiore d'un sottile strato di vernice, e inferiormente è munito d'un filo metallico, terminato con una piccola pallina *k*. Questo disco è stato chiamato *collettore*, perchè è destinato a raccogliere piccolissime quantità d'elettricismo, che vogliamo render sensibile a forza di accumularlo. Su questo primo disco n'è un altro, attaccato a un manico di vetro *jh*, e che comunica col terreno per mezzo d'un'asta metallica *sv*. Questo modo di comunicazione è assai più vantaggioso, che il far comunicar col terreno il disco inferiore, come risulta da quanto dicemmo del condensatore. Che se vogliamo accumulare sui fili di paglia dell'elettrometro condensatore l'elettricismo che in piccolissima quantità si sviluppa in un fenomeno, basta toccare col corpo supposto elettrizzato, la pallina *k*, dalla quale l'elettricismo passerà nel disco annesso. Sia per esempio l'elettricismo positivo; il fluido naturale del disco superiore si scomporrà, e il positivo passerà nel terreno per mezzo dell'asta metallica *sv*, e il negativo sarà attratto dal positivo comunicato dal corpo a *k*. Dopo aver ripetuto più volte il contatto, se si levi il piatto superiore, il fluido positivo dell'inferiore, divenuto libero, farà divergere i fili di paglia. Dall'altra parte sarà facile ancora il conoscere la specie dell'elettricismo di cui essi son caricati.

Luce elettrica

346. Un corpo elettrizzato sparge una debole luce, visibile all'oscuro; e inoltre, se esso è buon conduttore, accostandovi un dito o qualunque corpo conduttore, produce una brillante scintilla.

Per trovar la causa di tal luce, i Fisici pensarono in principio, che il fluido elettrico fosse luminoso per se stesso; ma in seguito han cercato di spiegar questo fatto, attribuendolo all'urto improvviso che prova l'aria nel passaggio dell'elettricismo. Verifichiamo primieramente quest'urto, per mezzo d'uno strumento inventato da Kinnersley. Esso è formato di un tubo di vetro d'un pollice di diametro interno, e alto 4 o 5 pollici; ed ambedue le estremità son munite d'una ghiera ben adattata con mastice, affinchè una leggiera compressione non possa produrre

lo sprigionamento dell'aria interna (*fig. 219*). A traverso della ghiera superiore passa un'asta di metallo, terminata in pallina: quest'asta è mobile, e può spingersi nel tubo fino a una linea di distanza da un'asta simile, fissata alla ghiera inferiore. Il tubo contiene un liquido; al tubo principale è adattato un altro tubo laterale e piegato ad angolo retto; e il liquido è quasi allo stesso livello in ambedue i tubi. Se si faccia passare una scintilla a traverso dell'aria del tubo maggiore, il liquido del tubo minore subito si vede salire e scendere. Dunque l'aria è urtata dall'elettricismo che passa a traverso di essa. E poichè sappiamo che nell'urto dei gas accade sviluppo di luce, qui pure deve attribuirsi alla condensazione dell'aria una porzione della luce sviluppata; e diciamo una porzione, perchè ci sembra abbastanza dimostrato, che la combinazione dei due elettricismi contribuisca a questo sprigionamento. Primieramente, per le esperienze di Davy è noto, che se si riuniscono con un pezzo di carbone le due estremità di una pila energica, questo carbone diventa rosso e poi incandescente. Nè ciò può attribuirsi alla combustione, perchè dall'esperienza risulta, che il fatto accade, anco quando il carbone si trova nel gas azoto. Dall'altra parte, il carbone non prova il minimo cambiamento nel suo aspetto esterno. Dunque questo gran sprigionamento di calore e di luce, è il risultamento della riunione dei due elettricismi. Si può anco aggiungere, che quando si accosta un corpo conduttore in stato naturale, a un corpo conduttore elettrizzato, sempre accade la combinazione dell'elettricismo di quest'ultimo, con l'elettricismo di natura contraria dell'altro conduttore. Nè contro questa opinione potrebbe opporsi, che la luce diviene tanto più vivace quanto l'aria è più densa.

347. Ci resta ora da riferire alcune osservazioni che son collegate con l'argomento che trattiamo presentemente. La luce elettrica varia d'aspetto, secondo che il conduttore elettrizzato è carico dell'una o dell'altra specie d'elettricismo. Così accostando a un conduttore elettrizzato positivamente, e armato di una punta, un conduttore che sia in comunicazione col terreno, si vedrà un bel fiocchetto di luce; e se quello è elettrizzato negativamente, non comparirà che un punto luminoso.

La luce elettrica divien tanto più debole quanto l'aria è più rara. Ciò si suol provare con varie esperienze, le quali però si riducon tutte alla seguente. Si prende un lungo tubo di vetro, terminato da una parte con una ghiera di metallo, e dall'altra con un robinetto, che si chiude subito dopo fatto il voto; quindi presentando la ghiera del tubo al conduttore d'una macchina elettrica, e toccando nel tempo stesso con la mano il robinetto, si vede un fiocco di luce porporina che empie il tubo e dura finchè la macchina elettrica è in azione. Per variare questa esperienza,

in un tubo di vetro si dispongono piccole strisce di stagnola, in modo che resti un certo intervallo fra l'una e l'altra; e facendovi poi passare una scarica elettrica, il fluido produce una scintilla nel passare da una striscia ad un'altra, e ne risultano effetti di luce molto variati.

348. Dall'esperienza descritta di sopra sulla forma dei fiocchetti luminosi, sembra apparire, che l'elettricismo positivo attraversi l'aria più facilmente del negativo, il che può confermarsi con le seguenti esperienze. Si ponga una carta fra due conduttori terminati in punta, quindi con uno si metta in comunicazione la superficie esterna di una batteria, e con l'altro l'interna: la batteria così si scaricherà a traverso della carta, la quale resterà forata, non però nel mezzo della linea d'unione delle due punte metalliche, ma vicino alla punta negativa. L'altra esperienza è di Tremery. In sostanza è la stessa della precedente, se non che si mette l'apparecchio sotto la macchina pneumatica, e si fa il voto; e si vede, che dopo rarefatta l'aria fino a un certo grado, la carta resta forata quasi nel mezzo della linea d'unione delle due punte. Si potrebbe però opporre, che la resistenza scema nello stesso rapporto per tutti e due gli elettricismi.

Elettricismo atmosferico

349. Franklin, nel 1752, scoprì l'identità dell'elettricismo ordinario con quello delle nubi; e questa scoperta, e l'invenzione dei parafulmini, hanno reso immortale nelle scienze il nome di lui. È vero che anco prima di Franklin qualcuno aveva sospettato che esistesse una certa analogia fra gli effetti delle nostre macchine e quelli del fulmine, ma non v'era stato alcun Fisico a cui fosse venuto in mente di scaricar le nubi del loro elettricismo; e neppure lo stesso Ab. Nollet, uno dei più illustri Fisici del passato secolo, credeva possibile scaricar le nubi per mezzo di punte metalliche (Let. 7. 1752). Ma ormai è noto, che fra gli effetti delle nostre macchine e quelli del fulmine, passa moltissima somiglianza. Gli animali uccisi con le nostre batterie elettriche, si putrefanno con egual prontezza degli animali uccisi dal fulmine. Gli effetti meccanici son pure gli stessi, come la stessa è l'azione dei due elettricismi sui corpi, e la forma delle scintille, ec.

Franklin volendo sottoporre le sue idee alla prova dell'esperienza, lanciò in aria, vicino a Filadelfia, verso una nube elettrizzata, un cervo volante armato d'una punta. Questo apparecchio era già da qualche tempo in presenza della nube, senza dare alcun segno d'elettricismo; sicchè egli cominciava a disperare dell'esito, quando sopraggiunta la pioggia, la corda di canapa, con la quale teneva il cervo volante, si bagnò, e propagò l'et-

tricismo, sicchè Franklin poté trarne alcune scintille (Giugno 1752).

In un'altra esperienza pose una sbarra di ferro sulla sua casa, e vi attaccò due campanelli per essere avvertito quando la sbarra fosse carica d'elettricismo. La prima volta che questa prova dette l'effetto voluto, fu il 12. Aprile 1753.

Mentre Franklin teneva dietro a queste sue idee in America, i Fisici d'Europa facevano ripetuti tentativi sullo stesso proposito. Dalibard a Marly-la-Ville, vicino a Parigi, fece costruire una capanna, sulla quale situò una sbarra di ferro lunga 40 piedi, e isolata in basso. Questa sbarra, mentre passava una nube, fece sentire un rumore simile a quello del tuono, e di più dette forti scintille, all'accostarvi un dito quando la nube fu passata. Questa parlante esperienza contribuì potentemente a stabilire l'identità dell'elettricismo delle nubi e quello delle nostre macchine (*Lett. 7.^a*).

Ma la pioggia rendeva imperfetto l'isolamento di tali sbarre. Canton in Inghilterra pensò di porre sopra il sostegno isolatore un cappello di metallo; e così il sostegno stesso essendo difeso dalla pioggia, la sbarra conservava l'elettricismo che aveva tolto alle nubi o all'aria. Per mezzo di questo apparecchio riconobbe, che alcune nubi son cariche d'elettricismo positivo, e altre di negativo; e in tal modo poté provare, che la pioggia e la neve elettrizzano egualmente la sbarra. Per risparmiarsi l'incomodo di visitare continuamente la sbarra, e spesso inutilmente, imaginò un piccolo apparecchio, molto ingegnoso, rappresentato della *fig. 220*. Questo si chiama *scampanio* elettrico, ed è composto di tre campauelli A, A', A'', attaccati tutti ad un'asta metallica, ma il primo vi è sospeso per un filo di seta, e gli altri due per una catena, e di più, il campanello di mezzo è in comunicazione col terreno, e fra un campanello e l'altro è sospesa alla medesima asta per un filo di seta una pallina metallica. L'elettricismo dell'asta si comunica al primo e all'ultimo campanello, e questi così elettrizzati, attraggono e respingono successivamente le palline; queste vanno ad urtare il campanello di mezzo, che le rimette nello stato naturale, e così di seguito. Queste oscillazioni continue delle palline metalliche fanno suonare i campanelli, e l'osservatore è avvertito che è presente una nube elettrizzata.

Circa la stessa epoca, cioè nel 1753, Romas faceva in un modo anco più perfetto l'esperienza del cervo volante. Intrecciava la corda dell'apparecchio con filo di ferro, e per difendersi dalle scariche impreviste, terminava la corda con un cordone di seta lungo otto o dieci piedi, e quindi traeva le scintille dalla corda per mezzo d'un eccitatore con manico isolatore, un'estre-

mità del quale comunicava col terreno, mentre l'altro toccava la corda. Avendo diretto questo apparecchio così perfezionato verso una nube tempestosa, ne trasse scintille lunghe più di dieci piedi, e che facevano un rumore simile all'esplosione di una pistola, secondo la relazione che egli stesso ne dava all' Ab. Nollet. (*Ac. des Sc.* 26 *Ag.* 1756).

Ma le esperienze sull'elettricismo atmosferico non debbon tentarsi se non con molta precauzione: ed è noto, che il Professore Richmann di Pietroburgo, nell'accostare la testa ad una verga metallica isolata, che aveva situata sopra la sua casa, ne rimase ucciso nel 1753.

350. Abbiain detto di sopra, che Franklin dalla scoperta dell'identità del fluido delle nubi e delle macchine elettriche, dedusse l'invenzione dei parafulmini. Prima però di parlar di questi, vediamo con quali mezzi semplici ed esatti si possa provare l'esistenza dell'elettricismo nell'atmosfera. Il più semplice è un elettroscopio molto sensibile, armato d'una verga di metallo appuntata, lunga un metro, la quale suol formarsi di più pezzi incastrati uno nell'altro (*fig.* 221). Con questo strumento si conosce, che l'atmosfera, quando è pura, è carica in generale d'elettricismo positivo; ma le minime nebbie e le più piccole nubi bastano a modificare tale stato. Ed è provato con l'esperienza, che questo elettricismo abituale è più intenso nelle più alte regioni dell'atmosfera, il che si prova come fece Saussure, gettando in aria una palla pesante, attaccata a un sottilissimo filo, che con la sua estremità inferiore tocca l'asta dell'elettroscopio. Quando il filo è sviluppato, comunica all'elettroscopio l'elettricismo dello strato atmosferico in cui si trova; ma per la continuazione del moto il filo se ne stacca, e l'elettroscopio conserva l'elettricismo che ha acquistato. Per isolare il vaso dell'elettroscopio, è bene situarlo in una campana di vetro, in cui l'aria sia prosciugata per mezzo di calce viva. Del resto, che in un'atmosfera in calma e serena esista sempre elettricismo positivo, è un fatto verificato da molti Fisici.

Dei Parafulmini

351. Una lunga asta metallica, posta sopra un edificio, secondo le vedute di Franklin, e con l'estremità inferiore impiantata nel terreno, è ciò che si chiama *parafulmini* (*fig.* 222.) V'è stato un tempo, in cui ben lungi dal riconoscere l'utile dei parafulmini, si riguardavano anzi come atti a provocare la caduta del fulmine sopra un edificio, piuttosto che a preservarlo; ma presentemente non v'è alcuno di buon senso che non li riconosca per vantaggiosi. Alcuni anni indietro fu

presentata all' Accademia di Francia la punta di un parafulmini, la quale aveva ricevuta una sì forte esplosione, che ne era rimasta fusa, e intanto l'edifizio sul quale era situata, non aveva risentita la minima scossa, quantunque il rumore fosse stato spaventevole. Ecco ora in qual modo opera il parafulmini. La presenza d'una nube scompone l'elettricismo di esso, scaccia nel terreno l'elettricismo della stessa specie, e attrae sulla punta l'elettricismo di specie opposta; sopra questa punta l'elettricismo deve essere tanto più intenso, quanto più forte è l'azione della nube. E quando la pressione, sempre proporzionata al quadrato della grossezza dello strato elettrico, è capace di vincere la resistenza dell'aria, l'elettricismo si combina con una porzione dell'elettricismo della nube da esso attratto; la nube finalmente, in conseguenza di queste ripetute combinazioni, si scarica; e così scaricata, si allontana dall'asta metallica, dalla quale era stata attratta. Quest'attrazione e repulsione è stata più volte verificata da Charles, per mezzo di cervi volanti.

Provata l'efficacia dei parafulmini, vediamo il modo di costruirli. L'asta è di ferro, e alquanto assottigliata dalla base al vertice; suol farsi alta fra 7 e 9 metri, ossia da 21 a 27 piedi, e con un diametro alla base di 54 o 60 millimetri, ossia 24 o 26 linee. E siccome il ferro è soggetto ad ossidarsi per il contatto dell'aria umida, si taglia dalla parte superiore un pezzo di circa 55 centimetri o 20 pollici, e invece vi si innesta una verga conica d'ottone, dorata all'estremità, o meglio ancora terminata con un ago di platino lungo 5 centimetri ossia 2 pollici, saldato con argento, e per maggior forza, fissatovi ancora con una ghiera di rame. L'asta d'ottone è unita all'asta di ferro per mezzo d'un pernio, che entra a vite in ambedue.

L'asta è fissata sull'edifizio nel modo più adattato alla località: il conduttore si ripiega lungo il tetto, quindi lungo il muro, e va a terminare in un pozzo o in una buca a 4 o 5 metri, ossia 12 o 15 piedi sotto terra, se non si trova l'acqua. Per difendere dalla ruggine il piede del parafulmini, si fa passare in una cassetta di mattoni piena di carbone di legno, giacchè è provato per esperienza che il ferro circondato di questa materia, non prova alcuna alterazione in uno spazio di trenta anni. Il carbone di legno, ben calcinato, è anco tanto più opportuno in questo caso, quanto che è buon conduttore dell'elettricismo. Il conduttore metallico, nell'escire dalla cassetta, fora il muro del pozzo in cui deve introdursi, e all'estremità termina con due o tre punte, perchè più facile sia l'uscita dell'elettricismo. Che se il terreno sia molto secco, la buca per il conduttore si farà profonda almeno il doppio. In tutti i casi è sempre utile il fare scendere il parafulmini nel posto più umido che sia intorno all'edifizio, e

dirigervi sopra l'acqua piovana per mantenerlo sempre umido più che sia possibile. Siccome le sbarre di ferro che formano il conduttore, son di natura troppo tenace per poter esser piegate in modo da girare intorno all' edificio, si adoprauo invece corde metalliche formate di fili. Si uniscono a tale effetto quindici fili di ferro per formare una cordicella, e con quastro di queste si forma una corda, che in conseguenza avrà un diametro di 16 o 18 millimetri, ossia 7 o 8 linee; e per prevenire l'ossidazione del metallo, si copre ciascuna cordicella con uno strato di catrame.

Se l' edificio contiene pezzi metallci alquanto considerevoli, come lastre di piombo che coprono il comignolo, docce, ec., conviene metter tutto questo in comunicazione col parafulmini.

Sembra che resulti dall' esperienza, che un' asta di parafulmini difende contro il fulmine uno spazio circolare intorno a se, di cui il raggio è doppio della sua lunghezza: dunque una fabbrica di 40 metri, o 120 piedi, sarà difesa da un' asta di 30 piedi; per una di 20 metri, basterebbe un parafulmini alto 15 piedi, ec.

Quando sopra una fabbrica si pongono due parafulmini, basta che questi abbiano un conduttore comune. In generale, ogni due parafulmini è necessario un conduttore; e qualunque sia il numero dei parafulmini, saranno tutti insieme efficaci, se le loro basi sieno in comunicazione assoluta fra loro.

Per regola generale, si dee fare scendere il fulmine nel terreno per la strada più corta.

Del resto, son queste le regole principali stabilite per i parafulmini in un rapporto adottato dall' Accademia di Francia, redatto da Lefevre-Gineau, Girard, Poisson, Dulong, Fresnel e Gay-Lussac (*An. de ch. et de phys.* t. 26, 1824).

Le fabbriche isolate son pur difese dal fulmine per mezzo di conduttori più o meno inclinati sulle loro facce, e diretti contro quelle nubi staccate, che un colpo di forte vento potesse spingere contro qualcuna di esse.

Dalle esperienze citate nell' articolo delle batterie chiaramente si rileva, che parafulmini troppo sottili si fonderebbero totalmente, anzi che produrre l' effetto voluto; e dall' altra parte non v' è esempio di fusione di parafulmini costruiti con le dimensioni prescritte di sopra.

Ma non si risveglia egli nell' animo un sentimento di spavento, pensando di dover dormire vicino ad una sbarra metallica che deve condurre il fulmine? Non è egli un atto di assoluta imprudenza il dirigere questa meteora a traverso d' un magazzino di polvere? Ecco le obiezioni principali che soglion farsi contro i parafulmini. Per rispondere alle quali basta dir solamente, che niun danno è da temersi in simili cir-

costanze, sol che il parafulmini conservi la continuità in tutta la sua estensione; giacchè l'elettricismo, per sua proprietà costante, segue sempre i migliori conduttori. In fatti non proviamo nessuna scossa, scaricando la più forte batteria con un conduttore che si tenga nelle mani, e col quale si mettano in comunicazione le due armature: un uccello che tocca lo stesso conduttore, in una simile esperienza, non soffre verun incomodo; e la polvere di cui inviluppriamo l'eccitatore, non prova veruna alterazione.

È ben vero però, che facendo simili esperienze, proviamo qualche volta una scossa istantanea, che è incomparabilmente più debole di quella della batteria; ma questo non è che un urto laterale. Così se si presenta una pistola del Volta in vicinanza del conduttore, mentre si scarica una forte batteria, può accadere esplosione. Ma questo urto laterale è tanto più debole, quanto maggiori sono le dimensioni del conduttore.

Del Contraccolpo

352. Quando accade tempesta si vedono spesso cadere estinti, nel momento d'un' esplosione e uomini e animali, quantunque il fulmine sia scoppiato a molta distanza dal luogo dove essi si trovavano. Ecco la spiegazione che è stata data di questo fenomeno.

Sia ABC (*fig. 223*) la nube carica d'elettricismo negativo; sia un individuo in E, a distanza sì piccola dalla nube, che possa accadere la scomposizione del fluido naturale dei suoi organi; in tal caso, l'elettricismo positivo sarà attratto dalla nube, e il negativo sarà respinto nel terreno. Se nel momento in cui l'individuo sarà potentemente caricato d'elettricismo positivo, un oggetto D determini l'esplosione della nube, l'elettricismo negativo che era stato respinto nel terreno, rientrerà all'improvviso nell'individuo, e produrrà in lui una scossa capace di dargli la morte.

DELL' ELETTRICISMO SVILUPPATO PER CONTATTO

353. Nel 1789 sorse un nuovo ramo di elettricismo, che fu detto *galvanismo*. Il Galvani, Professore d'anatomia a Bologna, facendo alcune ricerche sull'irritabilità nervosa, vide un giorno che una ranocchia sospesa per la midolla spinale ad un uncino di rame, provava visibili convulsioni quando i suoi muscoli toccavano un altro metallo, che pur fosse a contatto col rame. Variò in mille modi questa esperienza, e nella costanza degli effetti credette di rilevare la prova dell'esistenza d'un elettricismo animale. Quindi pensava, che il muscolo fosse la sede dei due elettricismi, e che la superficie esterna fosse in stato negativo, e l'interna in stato positivo. I nervi, secondo lui, non facevano che la funzione di conduttori; l'elettricismo positivo dall'interno del muscolo passava primieramente nel nervo, e quindi nell'arco eccitatore, il quale lo trasmetteva alla superficie esterna del muscolo.

354. La maggior parte dei dotti in quell'epoca approvavano quest'opinione; quando il Professore Alessandro Volta di Pavia con rigorose esperienze dimostrò, che l'elettricismo era prodotto dal contatto dei due metalli; e l'animale provava convulsioni, sol perchè con i suoi organi metteva in comunicazione i due elettricismi positivo e negativo, sviluppati per contatto. Le quali esperienze possono ridursi a tre principali, che meritano d'essere attentamente considerate, perchè sono il fondamento della teoria e della costruzione della Pila.

1.° Si mettono a contatto due dischi circolari, uno di zinco e l'altro di rame, ambedue attaccati a manichi isolatori; quindi se ne porta uno, per esempio quello di rame, sul piatto collettore dell'elettrometro condensatore. Ripetendo più volte quest'operazione, si trova nell'elettrometro elettricismo positivo, dopo aver tolto il piatto superiore del condensatore, e il conduttore che mette in comunicazione questo piatto col terreno; dal che apparisce, che il rame era carico d'elettricismo negativo. Se l'operazione fosse fatta col disco di zinco, l'elettrometro si sarebbe caricato d'elettricismo negativo, poichè nel contatto, come in qualunque altro modo di sviluppo d'elettricismo, si producon sempre i due fluidi nel tempo stesso. Può anco sopprimersi la comunicazione fra il terreno e il

piatto superiore del condensatore, purchè si tocchi nel tempo stesso ciascun piatto con uno dei dischi (a).

L'unione di due lastre è una piccola macchina elettrica: il contatto fa passare nello zinco il fluido positivo, e nel rame il fluido negativo, finchè non vi sia equilibrio fra la forza che produce la scomposizione dell'elettricismo naturale, e l'azione attrattiva dei due fluidi.

Taluno potrebbe credere, che la produzione dell'elettricismo sia una conseguenza della pressione stabilita fra lo zinco ed il rame. Per distruggere questa obiezione, basta saldare i due metalli insieme (*fig. 224*); e se quindi si tocca il piatto inferiore del condensatore, che supporremo di rame puro, con la parte rame, si troverà l'elettrometro carico di fluido positivo. Se si fa questa esperienza, tenendo per il rame questa doppia lastra, e mettendo lo zinco a contatto col piatto del condensatore, non si trova nell'elettrometro veruna quantità d'elettricismo; eppure la pressione è la stessa in ambedue i casi. Nella prima esperienza i due dischi essendo isolati, ciascuno di essi deve ritenere quantità di fluido elettrico perfettamente eguali e di specie contraria; e il condensatore sarà caricato dall'uno o dall'altro disco separato. Ma nella seconda esperienza, uno dei due dischi essendo in comunicazione col serbatoio comune, si stabilisce in stato naturale, e l'altro disco può caricarsi d'una quantità d'elettricismo molto più considerevole. Ciò è appunto lo stesso che per la macchina elettrica, nella quale i conduttori e il disco di vetro si caricano di elettricismo molto più quando i confricatori comunicano col terreno, che quando sono isolati. Se il disco di rame tocca il piatto inferiore del condensatore, una porzione del suo fluido negativo si porterà nel piatto; e la sua tensione elettrica verrà scemata; la lastra di zinco, con l'aiuto del serbatoio comune, somministrerà l'elettricismo necessario per rimetterlo nel suo stato primitivo; sicchè se il piatto superiore dell'elettrometro condensatore comunica col terreno, questo strumento toglierà l'elettricismo alla lastra di rame, finchè la tensione elettrica sia la stessa e sul piatto inferiore del condensatore e sulla lastra con cui esso è a contatto.

(a) Il Volta generalizzò il principio, che il contatto di due sostanze eterogenee qualunque, produce la scomposizione del fluido naturale. Il fatto però non è facilmente dimostrato dall'apparecchio dei due piatti, se non quando questi sono metallici. Ma la possibilità di costruir pile con due sostanze qualunque, equivale ad esperienze dirette, le quali non portano a niun risultamento, se non facendo uso di corpi metallici, perchè lo sviluppo dell'elettricismo non può esser reso sensibile se non per mezzo dell'elettrometro condensatore.

2.° Ben diverso sarà il risultamento, se il rame comuni-
chi col terreno, e se lo zinco tocchi il piatto del condensato-
re; e per quanto si prolunghi il contatto, l'elettrometro non
darà il minimo segno d'elettricismo. Questa esperienza combi-
na perfettamente con la precedente. In fatti, l'elettricismo
negativo del rame, si versa nel serbatoio comune; e l'elettri-
cismo positivo dello zinco si accresce, finchè sia stabilito
l'equilibrio. E questo equilibrio non verrà rotto in nessuna
maniera, se un'altra lastra di rame tocchi la lastra di zin-
co; e appunto questo è il caso della nostra ultima espe-
rienza. Così il piatto inferiore resterà nello stato naturale, e
lo stesso necessariamente accaderà dell'elettrometro. In queste
due esperienze abbiamo supposto il piatto inferiore del conden-
satore, formato di rame puro, perfettamente identico alla la-
stra di rame del piccolo apparecchio, che ci ha servito per
sviluppare l'elettricismo a contatto; ed importa moltissimo os-
servare questa circostanza, perchè se il piatto fosse stato di
zinco, i risultamenti sarebbero stati inversi.

3.° Nell'ultima esperienza l'elettrometro si caricherà, se
il punto del piatto di rame del condensatore, con cui deve
porsi a contatto la lastra di zinco, è coperto di carta umida
o di qualche altra simil sostanza; allora il contatto non esi-
stendo più fra il rame e lo zinco, il fluido positivo sviluppato
sullo zinco, si spargerà sul piatto inferiore del condensatore,
e per conseguenza l'elettrometro sarà caricato d'elettricismo
negativo. Quest'ultima osservazione è importantissima, e con-
tribuirà molto a far comprendere la teoria della Pila.

Costruzione e teoria della Pila

355. Ciò che abbiamo detto fin qui renderà facile ad inten-
dersi la costruzione della pila voltaica. Se si ponga un disco di
zinco z sopra un disco di rame r di simil forma, e che sia in co-
municazione col terreno, questo sarà nello stato naturale, e quello
si coprirà di fluido positivo. Rappresentiamone la quantità con
la lettera e ; poniamo sul disco di zinco un circolo di cartone ba-
gnato, e su questo un altro disco r' di rame; in tal caso lo zinco
dividerà il suo elettricismo col disco r' , e ne riprenderà dal disco
inferiore r , il quale ne riprenderà dal terreno; ed è chiaro,
che la ripartizione non cesserà se non quando il disco di rame r'
avrà esso pure una quantità e d'elettricismo positivo. Tutto que-
sto combina con le esperienze fondamentali. Poniamo ora un se-
condo disco di zinco z' su quello di rame r' . Poichè i due metalli
agiscono sempre nella stessa maniera, qualunque sia il loro stato,
ne segue che z' dovrà coprirsi d'una quantità e d'elettricismo di

più di r' , che già ne contiene e , cioè si caricherà di $2e$ di fluido positivo. Proseguendo le sovrapposizioni, si vede che chiamando n il numero dei dischi di una sola specie, l'ultimo disco di zinco conterrà ne di fluido positivo, e l'ultimo di rame ne conterrà $ne - e$ (fig. 225). Le quantità d'elettricismo dello zinco saranno dunque $e, 2e, 3e, \dots ne$; e quelle del rame corrispondenti, $0, e, 2e, \dots (n-1)e$. Sommando queste due progressioni aritmetiche, abbiamo

$$\frac{(e+ne)n}{2} + \frac{(ne-e)n}{2} = n^2e, \text{ cioè la somma totale}$$

dell'elettricismo è proporzionale al quadrato del numero dei dischi, che per convenzione sono stati chiamati *elementi*.

La tensione ne dell'ultimo elemento è proporzionale al numero degli elementi, e non dipende dalle dimensioni di essi, il che pure è conforme all'esperienza. Quindi due pile composte di egual numero di dischi, per quanto di dimensioni diverse, hanno la stessa tensione al loro vertice.

È necessario distinguere ciò che è ipotetico, da ciò che vien dato dall'esperienza. E primieramente, qui supponiamo nulla o quasi nulla l'influenza del conduttore umido; la qual supposizione si allontana pochissimo dalla verità; giacchè per quanto si è potuto conoscere fin qui, l'elettricismo sviluppato nel contatto dei liquidi e dei solidi è debolissimo. Ammettiamo inoltre, che la differenza fra le quantità d'elettricismo dei due metalli a contatto sia sempre la stessa; e sembra che sia infatti così, poichè i risultamenti che si ottengono con questa ipotesi, son verificati in generale, almeno dalle esperienze. Così si trova, che l'intensità del vertice della pila cresce in proporzione del numero dei dischi; risultamento indicato dalla progressione aritmetica, il quale esprime lo stato elettrico della pila.

La pila costruita nel modo fin qui descritto, è totalmente carica d'elettricismo positivo; e se comunicasse col terreno col disco zinco, sarebbe carica d'elettricismo negativo. Senza i conduttori umidi, tutti gli elementi avrebbero la stessa carica elettrica, la quale sarebbe eguale a quella che si sviluppa per il contatto di due elementi. Tale stato è indicato dalla figura.

356. Si può anco lasciar la pila isolata per ambedue le estremità; e allora una metà è carica d'elettricismo positivo, e l'altra di negativo. La condizione alla quale dee soddisfare una pila isolata, è che tutte le quantità d'elettricismo dei diversi elementi essendo riunite, si distruggano, poichè derivano dalla scomposizione d'una porzione dell'elettricismo naturale di questa pila, operata senza il concorso dei corpi circostanti.

Sieno due elementi isolati: poichè la differenza fra i due elementi è costante, e la somma totale è nulla, il disco di zinco z

avrà $+\frac{e}{2}$ d' elettricismo positivo, e il disco di rame r avrà la

stessa quantità d' elettricismo negativo, che esprimeremo con $-\frac{e}{2}$.

Se aggiungiamo un' altra coppia, separandola dalla prima con un circolo di cartone bagnato, questa pila dovrà soddisfare alla condizione di dare una somma nulla, quando si riunisce tutto l' elettricismo sviluppato. Questa pila di quattro elementi, avrà alla sua estremità zinco $+e$ d' elettricismo positivo, e all' estremità rame, $-e$ di negativo; e i due elementi di mezzo saranno in stato naturale.

Qualunque sia il numero delle coppie, i due elementi estremi, o in generale gli elementi situati a egual distanza dal mezzo, hanno quantità eguali d' elettricismo, e di segno contrario. Inoltre, quando il numero è divisibile per 2, i due elementi di mezzo sono nello stato naturale (a). Del resto son queste le esperienze, ed è questa la pila di cui siamo debitori al celebre Volta; e vedremo in seguito quali vantaggi abbia egli recati alle scienze fisiche, con la scoperta di questo meraviglioso strumento.

(a) Sia n il numero delle coppie d' una pila isolata: sia x la tensione dell' elettricismo del primo disco zinco; $x-e$ sarà la tensione del disco rame con cui quello è a contatto: il secondo disco zinco, in comunicazione con quello di rame per mezzo del conduttore umido, avrà la stessa tensione $x-e$; il secondo disco, $x-2e$, ec. Lo stato della pila isolata sarà dunque tale, che gli elementi zinco avranno le tensioni x , $x-e$, $x-2e$, $x-(n-1)e$, e gli elementi rame, $x-e$, $x-2e$, $x-ne$. La somma di queste due progressioni deve essere zero, poichè si trovano nella pila i due elettricismi positivo e

negativo; avremo dunque
$$\frac{[2x-(n-1)e]n}{2} + \frac{[2x-(n+1)e]n}{2} = 0$$

$= 2nx - n^2e$, e $x = \frac{ne}{2}$ è la quantità d' elettricismo libero, che si

trova sul primo elemento zinco; $x-ne$, ossia $-\frac{ne}{2}$ è quella che si

trova sull' elemento rame dell' altra estremità della pila. Così i due elementi estremi hanno la stessa carica, con la sola differenza del segno. In generale, se $x-(m-1)e$ è la quantità libera dell' elemento zinco a un ordine m , quella dell' elemento rame all' ordine m , contando dall' estremità opposta, sarà $x-ne+(m-1)e$.

Sostituendo il valore di x in queste due espressioni, esse divengono $\frac{ne}{2} - (m-1)e$; e $-\frac{ne}{2} + (m-1)e$, ambedue eguali, prescindendo dal segno.

Diverse pile

357. Le prime pile erano verticali, e si chiamavano pile a colonna; ma in questa disposizione, il peso dei dischi superiori fa presto escire il liquido dei conduttori umidi, e quindi fa cessare l'azione della pila.

Per evitare questo inconveniente, sono state costruite le pile a cassette. In queste gli elementi son posti e saldati a due a due in una cassetta di legno (*a*); ciascuna coppia è separata dalla coppia adiacente da un tubo di vetro che ha la forma di U, coperto d'un mastice isolatore; i tre lati di ciascuna coppia situati nella cassetta, son coperti col mastice stesso, sicchè la pila è naturalmente isolata; il conduttore umido è un liquido versato negli intervalli delle varie coppie (*fig. 226*). Questa pila non ha l'inconveniente che è stato trovato nella pila a colonna, ma non riunisce neppure tutte le condizioni necessarie. L'esperienza ha insegnato, che per far produrre alla pila energici effetti, è necessario adoprare acidi potenti; ma questi attaccano e consumano prestissimo le lastre metalliche, e però negl'intervalli delle esperienze, è vantaggioso il sottrarre le lastre all'azione del liquido, il che si ottiene con un apparecchio indicato dalla *fig. 227*. Ciascuna lastra AB è una coppia; la parte A è rame, e la parte B è zinco. Per mezzo della verga di legno HK si abbassano e si alzano le lastre. Quando la pila è immersa nel liquido, ogni cassetta contiene due elementi di due coppie diverse. Poichè il legno è cattivo conduttore, così l'azione della pila non resta indebolita per la comunicazione che esso stabilisce fra le estremità. Del resto, questa pila non è che un perfezionamento della pila a corona di tazze formata dal Volta.

Un'altra pila è molto in uso presentemente, alquanto diversa dalla precedente, e nella quale il liquido è in vasi di vetro (*fig. 228*). L'estremità zinco è z , e consiste in una striscia di zinco saldata ad una striscia di rame r . Questa striscia di rame è larga, e involuppa l'elemento z' della seconda coppia, ma non lo tocca, restandone separata da un pezzo di sughero. All'elemento z' è saldata una striscia di rame r' , che

(*a*) Le pile costruite fin ora differiscono realmente da quelle che in teoria si concepiscono. Lo zinco è saldato al rame per mezzo dello stagno, sicchè lo stato elettrico dello zinco e del rame non è forse quale sarebbe, se il contatto fosse stabilito senza il concorso d'un altro metallo. Ma questo contatto immediato difficilmente può ottenersi; e un esperto artista, a cui io aveva commessa una tal pila, non ha potuto eseguirla.

inviluppa l'altro elemento zinco della terza coppia, e così di seguito. Questa nuova costruzione è attribuita a Wollaston.

Pila a secco (a)

358. Molto potenti per verità sono le pile che abbiamo descritte fin qui, ma molto prontamente si distruggono. Quindi per tentare di avere una pila, la quale messa in azione senza il soccorso degli acidi, potesse conservarsi per lungo tempo, Deluc e Zamboni costruirono una pila a secco, formata di dischi di carta argentata (e meglio zincata) sopra una faccia, e coperti d'ossido di manganese sull'altra. Si uniscono molte migliaia d'elementi, si formano due colonne verticali, che poi si coprono di solfo fuso per isolarle e difenderle dall'umido dell'aria, e si situano una accanto all'altra sopra una lastra o foglia metallica: in tal modo le due colonne formano una sola pila. Quindi fra le due colonne si pone un piccolo pendolo isolato, il quale allora viene successivamente attratto e respinto dalle due estremità (*fig. 229*); e questo moto dura qualche volta per molti anni; ma col tempo anco questa pila cessa d'agire. Una tal pila però non basta nè a scomporre l'acqua, nè a produrre alcuno degli effetti chimici e fisici, di cui parleremo fra poco.

Delle pile secondarie

359. Quando si uniscono le estremità di una pila isolata con un conduttore imperfetto, la scarica non ne è istantanea; e se si toglie la comunicazione dopo qualche minuto, ciascuna estremità del conduttore è nel medesimo stato elettrico di quella estremità della pila che ha toccato. Questa pila produrrà la scossa le scomposizioni chimiche, e in generale tutti gli effetti delle pile ordinarie, ma tutto in un grado d'energia molto minore di quello della pila dalla quale ha presa questa virtù. Inoltre, la sua azione si indebolisce prontamente, e ben presto cessa affatto.

Un nastro umido, un certo numero di dischi metallici, separati da dischi di cartone bagnato, e in generale tutti i conduttori imperfetti, posson servire a formare pile secondarie. Queste pile furono scoperte da Ritter; tuttavia bisogna osservare, che prima di lui il Volta aveva provato, che una stri-

(a) Hachette e Desormes fin dal 1803 avean costruita una pila a secco: il conduttore era uno strato d'amido, e i dischi eran simili a quelli della pila a colonna del Volta.

scia di carta imbevuta d'acqua pura, messa a contatto con le estremità di una pila, in modo da scaricarla, aveva acquistato alle sue estremità l'elettricismo delle estremità corrispondenti della pila.

Effetti della pila

360. Per comprendere gli effetti della pila, bisogna formarsi idea chiara di ciò che è corrente elettrica, e tensione elettrica.

La *tensione elettrica* si osserva, quando i due corpi fra i quali ha luogo l'azione elettromotrice, son separati l'uno dall'altro da corpi non conduttori in tutti i punti della loro superficie, eccettuati quelli nei quali si esercita quest'azione.

La *corrente elettrica* è prodotta, quando i due corpi elettromotori fanno parte d'un circuito di sostanze conduttrici, che li fanno comunicare per certi punti, diversi da quelli fra i quali si sviluppa l'azione elettromotrice (1).

1.° *Effetti fisici*

368. Abbiamo veduto, che una pila a colonna, in comunicazione col terreno per la sua base rame, è totalmente caricata di fluido positivo, e che l'intensità elettrica va crescendo dalla base in cui è zero, fino al vertice ove è massima. Si può caricare una boccia di Leida o un condensatore, mettendolo in comunicazione con questa estremità superiore; ma bisogna osservare, che l'intensità elettrica essendo debole anco al vertice, è necessario servirsi di strumenti delicati, e stabilire perfettamente i contatti. Biot ha osservato, che un vaso di ferro (a) pieno di mercurio, posto sul vertice della pila, stabilisce il contatto sempre nella stessa maniera. Se per esempio si tratta d'un condensatore, si fissa

(1) Per *tensione elettrica* s'intende la tendenza che ha l'elettricismo di un polo a combinarsi con quello dell'altro, la quale sarà tanto più energica, quanto maggiore sarà il numero degli elementi, i quali deve percorrere (n. 355). I due ultimi dischi rappresentanti i poli son circondati dall'aria, corpo non conduttore e fra questi appunto, fra i quali non ha luogo azione diretta della pila si osserva l'effetto della *tensione*, quando vengano messi in comunicazione. Allora il passaggio continuo dell'elettricismo da un polo all'altro per mezzo dell'arco di comunicazione, o *filo congiuntivo*, è ciò che appunto forma la *corrente elettrica*. Del resto poichè l'azione elettrica imprime realmente un moto nei corpi che si trovano nella sua corrente, è stata chiamata *azione elettromotrice*, come pure la pila del Volta si chiama anco *elettromotore*.

(a) Sarebbe più esatto stabilire la comunicazione per mezzo d'un filo di rame soltanto.

un'asta di ferro al piatto superiore di questo strumento, e se ne immerge l'estremità nel mercurio, lasciando al solito il piatto inferiore in comunicazione col terreno. Si aggiunga, che è indispensabile il porre fra i due dischi del condensatore una lastra di separazione sottilissima, come uno strato di vernice, ec., cautela necessaria a motivo della debolezza della tensione elettrica, al vertice della pila, per quanto sia composta di un gran numero di elementi. Ciò che qui diciamo d'una pila a colonna e del condensatore, si applica a qualunque pila, alla boccia di Leida e alle batterie.

Dalle esperienze di Van-Marum di Harlem risulta, che una batteria al medesimo grado di tensione, caricata da una pila o da una macchina elettrica, produce gli stessi effetti; e che la tensione e la carica del condensatore dipendono dal numero e non dalle dimensioni dei dischi. Ciò è stato provato anco da Biot, e tale era pure l'opinione del Volta.

Questo risultamento si può verificare toccando con un condensatore sensibile e con un elettroscopio varie pile, composte di egual numero di dischi, differenti però in dimensioni. Del resto, ciò deve accadere, per la disposizione dell'elettricismo sopra due lastre a contatto, giacchè si spargerà sopra esse tanto più, quanto più perfetto sia il contatto; ma l'intensità sopra un punto dato, o la tensione, deve essere totalmente indipendente dalle dimensioni dei dischi.

Se *ne* è la quantità d'elettricismo libero del vertice della pila, che con la base comunica con l'altra estremità; se si rappresentano con *f* la forza condensante d'un condensatore, che abbia il piatto superiore eguale e simile all'elemento che tocca, questo condensatore prenderà una carica espressa da *fne*; ed è chiaro, che la pila riprenderà dal terreno l'elettricismo che le è necessario per rimettersi nel suo primitivo stato.

Se la pila è isolata, un poco più complicato è il calcolo col quale si trova la sua carica (a).

(a) Se *x* è l'elettricismo dell'elemento toccato dal condensatore, *F* la forza condensante di questo strumento, *C* la sua capacità, paragonata con quella dell'elemento toccato, presa per unità; *FCx* sarà la carica che esso prenderà. Ma poichè la progressione dell'elettricismo distribuito è sempre della stessa forma, la somma sarà sempre $2nx - n^2e$, che unita ad *FCx*, deve fare una somma totale eguale a zero, poichè tutto l'elettricismo scomposto è rimasto nella pila. Avremo dunque $2nx - n^2e + FCx = 0$; e di qui verrà $x = \frac{n^2e}{2n + FC}$ (b).

Questa espressione è la quantità dell'elettricismo libero sull'elemento toccato, ed è tanto minore, quanto che maggiore è la capacità e

362. Dalla teoria della pila risulta, che la scarica di questo strumento deve produrre tutti gli effetti meccanici, che vengono prodotti dalla boccia di Leida e dalle batterie. In fatti, se si mettono in comunicazione le due estremità d'una pila isolata o non isolata, per mezzo di fili di ferro, di zinco, di stagno, di piombo, di rame, e anco d'argento e d'oro, i fili divengono rossi, ed entrano in combustione con sviluppo di maggiore o minor luce (a).

Il dotto professore di Harlem, unitamente a Psaff di Kiel, ha fatto su questo argomento una serie d'esperienze importanti, nelle quali mostra ad evidenza il vantaggio dell'estensione dei dischi, per produrre la combustione e la fusione dei fili. È chiaro infatti, che il poter d'una pila per produrre la fusione dei metalli, deve esser proporzionale all'estensione delle lastre, o almeno deve crescere al crescere delle loro dimensioni. Children, servendosi di una pila a larghi dischi, ha molto accresciuti gli effetti ottenuti da Van-Marum. Ciascuna lastra di zinco era lunga 6 piedi, e larga 2 piedi e 8 poll.; ed ogni lastra di rame aveva una superficie doppia di quella dello zinco. Questa pila era analoga a quella rappresentata dalla fig. 228.

Scaricando una pila di 21 coppie, con acqua contenente $\frac{1}{4}$

la forza condensante del condensatore. La carica del condensatore di-

viene $FC \frac{n^2e}{2n+FC}$.

Se si applica il condensatore sopra un elemento distante mr ordini dal vertice, la quantità d'elettricismo libero per questo elemento sarà $x-(m-1)e$, ed $FC [x-(m-1)e]$ sarà la carica del condensatore; e per l'equazione di condizione $CF [x-(m-1)e] + 2nx - n^2e = 0$, e da ciò si deduce il valore di x .

Tutti questi calcoli, presentati all'Accademia in un rapporto fatto sulla pila del Volta, da una commissione dell'Istituto, composta di Laplace, Hallé, Biot, ec., son fondati sulla supposizione, che la differenza fra le quantità d'elettricismo libero di due dischi a contatto, è indipendente dallo stato di questi dischi.

Applicazione. Se un condensatore che ha una capacità eguale a quella d'un elemento d'una pila di 48 coppie, ed ha una forza condensante di 20, sia messo in comunicazione con l'elemento zinco estremo di questa pila, sarà $x=33,882$; e la carica del condensatore sarà 677,64.

Se la capacità del piatto collettore condensatore è settenpla di quella di un elemento, sarà $x=12,255$, e la carica del condensatore 1715,70.

Per sciogliere questo problema, basta mettere nell'equazione (6) i valori delle lettere n , C , F .

(a) Nel momento in cui si avvicinano fra loro due fili, ciascun dei quali comunica con un'estremità della pila, si veggono attrarsi scambievolmente, ad una distanza anco sensibile.

del suo peso d'acido nitrico e d'acido solforico, Children è giunto a fondere perfino un filo di platino lungo 2^{pol.}, 25 e di 2 lin. di diametro.

363. Quando riuniamo le estremità della pila con i nostri organi, proviamo una scossa continua, che si fa sentire nelle mani, nelle braccia ec., secondo il grado d'energia dello strumento. La scossa è continua perchè la pila si ricarica da per se. Quando il numero delle coppie non è maggiore di 100, e la superficie d'un elemento non è più di 4 poll. quadri, la scossa non produce verun incomodo; e anzi convien bagnarsi le mani per rendere la scossa più sensibile; ma non accaderebbe lo stesso, se i dischi avessero, per esempio, un piede di lato.

2.° Effetti chimici della pila

L'invenzione della pila voltaica è stata la sorgente di molte belle scoperte. Con questo mezzo è stata scoperta la natura delle terre e degli ossidi; anzi non v'è sostanza composta, di cui la pila non sia capace di scomporre gli elementi. Noi indicheremo successivamente la scomposizione dell'acqua, degli ossidi, degli acidi e dei sali.

364. Carlisle e Nicholson sono stati i primi ad applicar la pila alla chimica; e la prima applicazione fatta da loro, fu la scomposizione dell'acqua. Ecco il modo di ripetere l'esperienza. L'apparecchio consiste in un imbuto troncato (fig. 230), la piccola apertura del quale è chiusa con un sughero, e a traverso di questo passano due piccoli tubi di vetro, e per questi passano due fili di platino, il tutto sigillato con cera-lacca. Questi fili sono piegati a gancio alle estremità esterne, e internamente all'imbuto sorgono paralleli. Si empie d'acqua l'imbuto, e si coprono le estremità interne dei fili con due piccole campanine di vetro, piene dello stesso liquido; quindi si mettono in comunicazione con le due estremità della pila le estremità esterne dei fili, e subito principia lo sviluppo dei gas, e l'ossigeno comparisce al filo positivo, e l'idrogeno al negativo: solamente per accrescere la facoltà conduttrice dell'acqua, è bene mescolare con essa un poco d'acido solforico. Se dopo un certo tempo si misureranno i volumi dei gas, si troverà che l'idrogeno che si è sviluppato è doppio dell'ossigeno, ed è questa infatti la proporzione in cui si trovano nell'acqua queste due sostanze. In vece dei fili di platino, non potrebbero adoprarsi fili di ferro o d'altro metallo ossidabile, perchè l'ossigeno si fisserebbe sul metallo, e dall'esperienza non resulterebbe che l'idrogeno solo.

Gay-Lussac e Thenard hanno osservato. che adoperando acqua

bolita e pura non si ottiene sviluppo di gas, e che in generale i gas si sviluppano in tanto maggior quantità, secondo la maggior quantità d'acido o di sale contenuto nell'acqua.

365. La seconda importante applicazione è stata fatta da Cruikshanks, il quale nel ripetere l'esperienza di Carlisle e Nicholson, mescolando all'acqua acetato di piombo o solfato di rame, vide il filo negativo coprirsi di piccoli aghi metallici: l'ossigene dell'ossido si portava all'estremità positiva con l'acido che il metallo teneva in dissoluzione, e così l'acqua della dissoluzione restava scomposta.

La corrente della pila disunisce egualmente gli elementi degli acidi e degli ossidi liberi.

L'acido solforico concentrato, messo in un tubo ricurvo (fig. 231) e sottoposto all'azione della pila, lascia sprigionare il suo ossigene all'estremità positiva, mentre il suo solfo si dispone all'estremità negativa.

Se si ripete la stessa esperienza con un idracido, l'idrogene si sprigionerà sempre all'estremità negativa, mentre il corpo acidificante andrà libero all'estremità positiva. Così l'acido idriodico si decompone appena vien sottoposto alla corrente voltaica, come pure l'acido idroclorico cede a questa forza con egual prontezza; e il cloro, col suo color verde, apparisce all'estremità positiva e l'idrogene all'estremità negativa.

366. L'applicazione più bella e più seconda di risultamenti che sia stata fatta della pila, è la scomposizione degli alcali, scoperta fatta da Davy, e che ha singolarmente contribuito all'avanzamento della chimica. Questo celebre chimico, avendo fatto agire la pila sulla potassa e sulla soda, vide l'ossigene sprigionarsi presso al filo positivo, e il metallo riunirsi presso il filo negativo, in forma di una sostanza brillante. Questi metalli scompaiono l'aria e l'acqua alla temperatura ordinaria; e il potassio ossia metallo della potassa, gettato nell'acqua vi arde con luce; e il calore da esso prodotto determina la combustione, per l'aria dell'idrogene che si sprigiona. E appunto per questa grande affinità per l'ossigene, non era possibile raccogliere se non semplici atomi di queste sostanze. Il Dottor Seebeck ha trovato un mezzo semplicissimo di difenderli dal contatto dell'aria, il quale consiste nell'unire il potassio o il sodio al mercurio, a misura che esso è disossidato. A questo effetto, si cola un poco d'idrato di potassa o di soda, in modo da dargli la forma d'un vetro da orologio; si empie di mercurio, si posa sopra una lastra metallica si fa comunicare il sostegno di metallo col filo positivo, e si immerge nel mercurio il filo negativo. Ancor qui sarà utile l'inumidire l'idrato per accrescere la sua facoltà conduttrice. Per questa osservazione è necessaria una pila molto energica, e deve esser com-

posta almeno di cinquanta coppie che abbiano due o tre pollici di lato. L'ossigene dell'idrato e quello dell'acqua vanno al filo positivo, l'idrogene si sprigiona al filo negativo, dove si porta pure il metallo, e si unisce al mercurio. Se vogliamo soltanto render sensibile la scomposizione, dopo 5 o 6 minuti si getta il mercurio in un bicchier d'acqua, e subito si vede sprigionarsi l'idrogene di questo liquido. Al contrario, se vogliamo raccogliere il metallo, si porta più in lungo l'esperienza; e di tempo in tempo si getta l'amalgama nell'olio di nafta, e si rinnova il mercurio. Quando ci siamo procurati una sufficiente quantità d'amalgama, si stilla in una piccola storta di vetro; l'olio e il mercurio si volatilizzano, e il potassio o il sodio resta nella storta. Con simili esperienze tanto Davy quanto Seebeck hanno dimostrata la composizione ancora di altri alcali.

Se non che, piccolissime quantità di metallo si sono potute separare, con pile anco potentissime. Gay-Lussac e Thenard, dopo la scoperta di Davy, col solo soccorso delle affinità chimiche, hanno ottenuto il potassio e il sodio in quantità sufficiente, per poterlo far servire alle analisi chimiche (*Recherche phys. chim.*).

Prima della scomposizione degli alcali, Berzelius e Hisinger (*An. ch.*, 51) avevano fatto servire la pila alla separazione degli elementi degli acidi, dei sali e anco degli ossidi metallici. Questi dotti chimici svedesi avevano osservato, che l'ossigene e gli acidi vanno al filo positivo, mentre gli alcali e i metalli vanno al filo negativo.

367. Una particolarità da notarsi è il trasporto delle sostanze sottoposte all'azione della pila. Si empia un sifone di solfato di potassa, e un altro d'acqua pura; si uniscano questi due sifoni con un poco di cotone bagnato (*fig. 232*), e dopo un certo tempo, il sifone che comunica col filo positivo, non contiene più se non acido solforico, e la potassa è passata totalmente dalla parte del filo negativo.

L'esperienza può rendersi anco più curiosa. In vece di due sifoni, se ne mettano tre; in quello di mezzo si metta solfato di potassa e negli estremi acqua stillata, e dopo un certo tempo si otterrà lo stesso resultamento, cioè tutto il sale resterà scomposto.

Qualunque sostanza esposta alla corrente elettrica, non altera in nessun modo i più sensibili reagenti per i quali passa: così l'acido solforico passa a traverso della tintura di lacca-muffa senza arrossirla, e a traverso dell'ammoniaca e della potassa, senza unirsi a queste sostanze.

368. È tuttora alquanto oscura la teoria dei fenomeni chimici della pila e la spiegazione più ordinaria che venga data di essi, è la seguente.

Quando i due fili attaccati alle estremità della pila, si mettono a contatto con un corpo che può esser decomposto da essa, le molecole del corpo si elettrizzano in modo opposto, cioè alcune positivamente, altre negativamente; e queste si riuniscono presso al filo positivo, e quelle presso al filo negativo. Nell'acqua, per esempio, tutte le molecole d'ossigene poste sulla corrente elettrica, si elettrizzano negativamente e le molecole d'idrogene positivamente (*fig. 233*): le molecole estreme d'idrogene si sviluppano in stato di gas, e le molecole intermedie si uniscono per formare acqua; il qual effetto si ripete finchè è mantenuta la corrente voltaica.

Secondo questa spiegazione sembrerebbe, che l'effetto della pila dovesse essere tanto maggiore, quanto maggiore fosse la forza repulsiva alle estremità dei fili: così l'acqua pura dovrebbe scomporsi più facilmente d'un'acqua mista con l'acido come miglior conduttore, il che è contro l'esperienza. Bisogna dunque concludere, che una corrente elettrica la quale passa a traverso delle molecole d'un composto, rende più facile la separazione de' suoi elementi. Ciò fu rilevato da Larive in una Memoria inserita nel 28.^o vol. degli annali di chimica e fisica.

Ma siccome questa spiegazione non sembra sufficiente per render ragione di tutti i fenomeni, Ampère ne ha proposta un'altra. Per ben intenderla, bisogna prima ammettere, che le molecole dei corpi sono in uno stato permanente d'elettricismo, il quale è positivo per le une e negativo per le altre. Gli alcali e l'idrogene sono nel primo caso; gli acidi e l'ossigene nel secondo. E se queste molecole non manifestano verun segno d'elettricismo, ciò dipende, perchè quello che è loro proprio, secondo le leggi ordinarie delle azioni elettriche, deve scomporre il fluido neutro che empie lo spazio intorno ad esse, respingere l'elettricismo dello stesso nome, attrarre il fluido di specie opposta, e formare così di questo una piccola atmosfera elettrica intorno alle loro molecole; sicchè la sua azione a distanza, trovandosi eguale ed opposta a quella dell'elettricismo proprio di queste molecole, si oppone a qualunque ulteriore scomposizione del fluido neutro circostante (n.^o 323): allora ogni molecola è nel caso d'una boccia di Leida, la quale abbia pareti sottilissime.

Supponiamo ora di mettere a contatto alcune particelle d'ossigene con alcune d'idrogene, e che con elevar la temperatura, o in qualunque altra maniera, si metta l'elettricismo positivo libero che circonda le particelle d'ossigene, in comunicazione con l'elettricismo negativo libero che circonda le particelle d'idrogene; in tal caso, questi due elettricismi riunendosi formeranno un fluido neutro; e gli elettricismi proprii dell'ossigene e dell'idro-

gene, cessando d'essere dissimulati, le particelle di questi corpi si combineranno per formare acqua. Ora è chiaro, che ogni molecola d'acqua procederà come se non avesse alcun elettricismo, se le quantità di fluido delle particelle dell'ossigene e dell'idrogene sieno in tal rapporto, da dissimularsi totalmente; e la particella d'acqua non avrà alcuna tendenza per scomporre il fluido neutro circostante.

Quando il corpo elettro-negativo è in eccesso, il composto sarà elettro-negativo. Questo è il caso degli acidi, le particelle dei quali son circondate da un'atmosfera positiva: gli alcali al contrario contengono un eccesso di particelle elettro-positive, e sono elettro-positivi, e le atmosfere delle loro particelle son negative. Gli alcali e gli acidi, nel riunirsi, potranno dare sali neutri, elettro-negativi o elettro-positivi.

In quest'ipotesi apparisce chiaramente, che nel momento della combinazione d'un acido e d'un alcali, la corrente elettrica nel filo conduttore si manifesta dall'acido all'alcali; e son questi gli elettricismi liberi delle particelle dell'acido e dell'alcali, che si riuniscono in questo filo (n.º 378).

Con egual facilità si vede, perchè nelle scomposizioni chimiche, le particelle dell'ossigene e quelle dei corpi elettro-negativi vanno all'estremità positiva della pila, mentre quelle dell'idrogene e dei corpi elettro-positivi sono attratte dall'estremità negativa. Si comprende del pari, come una corrente elettrica determinata dal contatto d'un alcali e d'un acido, è diversa da quella che si manifesta nella loro combinazione.

369. Esaminiamo ora se l'aria abbia parte nei fenomeni della pila. Siccome resulta dall'esperienza, che la pila non produce energici effetti se non è eccitata da acidi potenti, come l'acido nitrico, ec., che producono l'ossidazione delle lastre, quindi è stato creduto, che le lastre esercitino la loro azione elettro-motrice, appunto perchè assorbono l'ossigene dell'aria. Biot e Federigo Cuvier hanno provato, che quando si pone sotto una campana di vetro una pila caricata con una dissoluzione salina, accade assorbimento d'ossigene; ma ciò non prova che questo assorbimento sia la causa dei fenomeni prodotti dalla pila.

Poichè la scomposizione dell'acqua, eseguita con una pila, non sembra molto ritardata se si pone la pila sotto una campana di vetro, nella quale si rarefaccia l'aria, sembra che la pila abbia in se stessa una forza indipendente dal concorso dell'ossigene; la qual conseguenza è perfettamente d'accordo con le esperienze fondamentali, dalle quali è derivata la scoperta di questo strumento. L'influenza dell'ossigene è importante specialmente, quando il conduttore umido è l'acqua o una dissoluzione salina, perchè in tal caso l'energia della pila è debole. Ma se per

conduttore umido si fa uso d' un acido potente, il concorso dell'ossigene dell'aria non apporta più che un leggerissimo aumento nell'energia della pila.

Del resto fin dal principio della scoperta del galvanismo era stato osservato che gli elementi d' una pila, lasciata a se stessa, venivano fortemente ossidati in brevissimo tempo.

Ma in qual modo l'ossigene dell'aria agisce col suo contatto con la pila, è appunto ciò che fin ora non è bastantemente noto.

3.° Effetti dinamici

Due fili conduttori si attraggono o si respingono, secondo che le correnti che li percorrono vanno per il medesimo verso o per il contrario. Di più, nell'articolo dei fenomeni elettro-dinamici vedremo, che l'azione d' un filo conduttore, calamita un ferro d'acciaio.

Fenomeni relativi alla pila

370. Perchè due sostanze a contatto sviluppino elettricismo, basta che passi fra loro anco la minima differenza. Per esempio, il piombo puro messo sopra un pezzo di piombo fregato con un altro metallo, sviluppa tanto elettricismo da eccitare convulsioni in una rana scorticata, come sperimentò Hallé. E non è neppure necessario che le lastre a contatto sieno di grandi dimensioni; e infatti un filo di zinco e una piccola moneta d'argento scompogono l'acqua e i sali; e con una sola coppia (*fig* 234) tanto piccola da entrare in un anello da cucire, Wollaston ha fatto divenir rosso il filo di platino. Perchè però riesca quest'esperienza bisogna accrescer l'attività della pila con l'acido nitrico.

Gay-Lussac ha provato, che l'azione galvanica si sviluppa anco in un circuito chiuso. Infatti immergendo nell'acido solforico allungato un simil apparecchio formato di rame e zinco (*fig* 235), l'idrogeno dell'acqua è attratto dal rame, e l'ossigene dallo zinco. Qui i due elettricismi riunendosi a traverso del liquido, ne determinano la scomposizione.

371. Da questi principii dell'elettricismo a contatto, Davy nel 1824 dedusse un'utilissima applicazione, quale è quella di difendere dall'azione corrosiva dell'acqua salata le lastre di rame di cui son foderati i vascelli, la qual azione è tale, che spesso dopo un viaggio di pochi mesi son necessarie grandi riparazioni. Il rame infatti, metallo positivo, attrae una parte del cloro dei cloruri dell'acqua marina, e l'ossigene dell'aria si unisce ai metalli, cioè sodio, magnesio e qualche cloruro. Il rame perchè attrae il

cloro, è positivo; ma se si riduca negativo col metterlo a contatto con un metallo più positivo, si distruggerà la sua azione sull'acqua del mare, poichè la distruzione ha luogo particolarmente in conseguenza della sua combinazione col cloro, corpo essenzialmente negativo. E con questa veduta appunto, Davy ha applicato sulle lastre di rame altre lastre di zinco o di ferro fuso (1).

Deve dunque esistere un rapporto fra la superficie del metallo protettore e quella del rame. Questo rapporto può variare da

(1) Van Beek, membro dell' Instituto dei Paesi Bassi, ha fatte varie utilissime esperienze su questo proposito, anco prima di aver notizia di quelle che a Parigi avea fatte il Prof. Larive. Ecco i principali risultamenti che ha ottenuti.

1.º Posta una foglia di rame in un vaso pieno d'acqua di mare, il rame fu prontamente ossidato, e l'acqua divenne colorata di un verde intenso.

2.º Posta nelle stesse circostanze della precedente un'altra foglia di rame, alla quale era stato applicato un piccolo pezzo di lamiera di ferro, di stagno o di zinco, essa fu completamente preservata da qualunque alterazione, mentre il ferro, lo stagno e lo zinco erano perfettamente ossidati.

3.º Una lastra di rame fu unita ad una di ferro per mezzo d'un filo di platino. I due metalli così uniti, o posti in comunicazione fra loro, furono messi separatamente in due vasi pieni d'acqua di mare, e fu stabilita una comunicazione anco fra le due masse d'acqua, per mezzo di cotone inzuppato, o d'un sifone pieno dello stesso liquido. Il rame fu preservato perfettamente, e l'acqua in cui era immerso non si colorò, nè mostrò alterazione alcuna; e frattanto il ferro nell'altro vaso fu fortemente ossidato.

4.º Dopo 47 giorni d'azione dell'apparecchio suddetto, fu tagliato il filo di platino che congiungeva il ferro col rame, immaginando che il rame ben presto si ossiderebbe. Ciò non accadde. Fu interrotta la comunicazione fra le due masse d'acqua, togliendo via il sifone, e neppure in questo caso il rame non si ossidò. Sul dubbio che l'acqua avesse perduta la sua proprietà salsca, fu sperimentata con un altro pezzo di rame solo, che subito si ossidò. E quel pezzo di rame che si era mantenuto inalterato nel vaso dell'esperienza, si ossidò prontamente allorchè fu immerso in un altro vaso pieno d'acqua di mare.

Van Beek conclude, che il rame dopo essere stato in un apparecchio preservativo come il precedente per alcuni giorni, seguita ad esser preservato per alcuni altri giorni, anco dopo interrotta la comunicazione fra i due metalli. Da queste ed altre esperienze il medesimo Fisico rileva un errore in cui sembra che sia caduto il celebre Davy, il quale nella sua Memoria dell' 8 Giugno 1826 raccomanda lo zinco e lo stagno per preservar le caldaie, specialmente dei battelli a vapore, nelle quali spesso si fa uso dell'acqua di mare. Egli si è assicurato, che lo stagno non solo non preserva il ferro, ma all'opposto è preservato da esso; sicchè un pezzo di stagno applicato internamente alla caldaia, in vece di preservare il ferro dall'ossidazione, o diminuire il pericolo d'un'esplosione, deve molto contribuire alla sua pronta distruzione. Il solo zinco può essere utilmente applicato alla preservazione d'una caldaia di ferro.

$\frac{1}{40}$ a $\frac{1}{100}$; ma l'ultimo è sempre da preferirsi, poichè il rame, a contatto con una lastra di zinco o di ferro che abbia $\frac{1}{100}$ della sua superficie, divien troppo negativo, attrae la magnesia, la calce e gli altri ossidi, si copre d'una crosta bianca, di sostanze vegetabili, ec. Questa pratica è stata adottata in Francia, in Inghilterra e in altre marine; ma, come è naturale, questo metallo protettore dovrà pur cambiarsi ogni tanto tempo (a).

Da quanto abbiamo detto si deduce facilmente la spiegazione di altri fati analoghi. Per esempio si sa che la latta, quando non è coperta di stagno in tutta la sua superficie, ben presto rimane forata per l'ossidazione del ferro, il quale essendo positivo relativamente allo stagno, attrae l'ossigeno dall'aria, dall'acqua, e da qualunque altra sostanza con cui si trovi a contatto.

Delle sostanze le quali relativamente all'elettricismo galvanico hanno una facoltà conduttrice particolare

372. Erman, membro dell'Accademia di Berlino, ha fatto varie esperienze sulla conduttività di alcune sostanze, ottenendone risultamenti che meritano d'esser conosciuti.

Se con un'estremità d'una pila isolata si metta a contatto un elettroscopio molto sensibile, e quando le foglie d'oro di questo strumento hanno acquistato un grado di divergenza che corrisponde alla tensione della pila, si congiunga l'estremità opposta col serbatoio comune per mezzo d'un filo metallico, diviso in due parti, ma unite con la fiamma d'un lume a alcool, subito cresce la divergenza delle foglie dell'elettroscopio, il che prova che è stabilita la comunicazione.

Se si attacchino alle due estremità d'una pila isolata due fili metallici, e si avvicinino finchè eutrino nella fiamma d'un lume a alcool, la tensione resterà la stessa alle due estremità, come vien indicato dagli elettroscopii. Finchè la pila è isolata, gli elettroscopii divergono, quasi come nel caso in cui non esistessero questi fili; ma se si immerge nella fiamma un filo metallico in comunicazione col terreno, subito l'estremità positiva viene scaricata, e cresce la divergenza dell'elettroscopio situato all'estremità negativa.

Da ciò risulta, che quando la fiamma d'alcool comunica solamente con un'estremità, qualunque sia, e col terreno, essa è conduttrice dell'elettricismo. E se è isolata e nel tempo stesso comunica con le due estremità, allora agisce come corpo

(a) Davy nella sua memoria (An. ch. et phys. t. 29) osserva, che una soluzione concentrata di sal marino attacca il rame meno d'una soluzione allungata; la qual cosa egli attribuisce ad una maggior quantità d'aria che è in quest'ultima.

non conduttore. Finalmente se è in comunicazione col terreno e nel tempo stesso unisce le due estremità, in tal caso fa da corpo isolatore relativamente al fluido negativo, e fa da corpo conduttore relativamente al fluido positivo. Così un prisma di sapone secco opera nella stessa maniera, se non che esso scarica l'estremità negativa. Nella fiamma di fosforo, nella gelatina disseccata, nell'avorio, ec. sono state da Erman rilevate analoghe proprietà.

373. Sarebbe cosa molto importante il conoscere a quale stato elettrico si riducono reciprocamente due corpi per effetto del contatto; ma le esperienze non sono ancora bastanti per poterne formare una tavola: quindi citeremo per ora quella che si trova nell'opera di Berzelius. In questa ogni corpo è positivo relativamente al precedente, e negativo relativamente al seguente.

Oro	Cobalto
Iridio	Bismuto
Rodio	Stagno
Platino	Piombo
Palladio	Ferro
Mercurio	Cadmio
Argento	Zinco
Rame	Manganese
Nickel	

La qual tavola è dedotta dalle considerazioni chimiche, ed è precisamente conforme alle esperienze del Volta sopra alcuni metalli.

Auco Lehot (*An. ch.* t. 38) aveva studiato su questo argomento in un'epoca in cui la storia della pila era tuttora quasi nascente, e con delicatissime esperienze trovò l'ordine seguente: argento, rame, bismuto, mercurio, stagno, piombo, zinco. Del resto una simil tavola potrebbe formarsi esatta per mezzo del moltiplicatore.

Esperienze termo-elettriche

374. Seebeck, membro dell'Accademia di Berlino, ha scoperto che si può stabilire una corrente elettrica nei metalli, senza l'interposizione di alcun liquido, e ciò con un'esperienza semplicissima. Si saldino insieme due archi di metalli diversi, per esempio, rame e bismuto, in modo da formarne un circuito chiuso, o un anello di qualunque figura. Per stabilire la corrente elettrica, si scaldi l'anello a una delle saldature, e ciò basterà perchè l'elettricismo positivo nella parte non riscaldata, si diriga dal

rame verso il bismuto (*fig. 236*). Questa corrente però non può rendersi sensibile se non per mezzo dell'ago magnetico, di cui parleremo in seguito.

Questi effetti termo-elettrici, secondo le esperienze di Fourier e OErsted, possono rendersi più sensibili per mezzo della ripetizione alternativa delle sbarre di diverse materie. Ciò si prova con un esagono composto di tre sbarre di bismuto e tre d'antimonio, saldate insieme alternativamente, lunghe 12 centimetri, larghe 15 millimetri e grosse 4 millimetri. Per eseguire l'esperienza, si situa l'esagono in modo, che uno dei lati sia nella direzione dell'ago calamitato; sotto questo lato si pone, più vicino che si può, una bussola, e quindi con un lume si scalda una delle saldature, e subito si vede l'effetto sull'ago: scaldando due saldature non contigue, la deviazione dell'ago è maggiore, e maggiore ancora riscaldandone tre; e se col ghiaccio si raffreddano le saldature non riscaldate, la deviazione dell'ago arriva fino a 60°. Moltiplicando le paia delle sbarre, e messene insieme fino a 22, si vede che ogni elemento contribuisce all'effetto totale.

È da notarsi in queste esperienze, che gli effetti diventano minori, a proporzione che più lunghe sono le sbarre; sicchè l'effetto d'un circuito non cambia, quando la lunghezza del perimetro cresce nella stessa proporzione del numero degli elementi. Da ciò segue, che volendo ottenere grandi effetti sull'ago calamitato con poligoni di molti lati, bisognerà che questi sieno cortissimi.

È parimente da notarsi, che l'apparecchio formato di 22 coppie, capace di produrre grandi effetti elettro-magnetici, non produce nè azione chimica, nè combustione sensibile (*An. ch. 1823*).

Ancora con un solo metallo si può produrre una corrente elettrica. Così un filo d'acciaio circolare, riscaldato disegualmente, fa muovere l'ago magnetico. E in generale, basta che fra particelle di metallo a contatto passi la minima differenza, perchè esse divengano elettriche in modo opposto, e quindi, riunite, determinino una corrente.

Elettricismo sviluppato per pressione

375. La prima esperienza con la quale sia comparso elettricismo sviluppato per mezzo della pressione, è di Libes. Questa consiste nel premere sopra un piano coperto di taffetà gommoso un disco di metallo tenuto in mano per mezzo d'un manico isolatore: allora il taffetà acquista l'elettricismo positivo, e il disco di metallo il negativo; e l'effetto è tanto maggiore, quanto più

forte è la pressione: al contrario, se si frega soltanto il metallo sopra il taffetà, quello si elettrizza positivamente, e questo negativamente.

Haüy ha trovato che molti minerali sono suscettivi di acquistare il potere elettrico per via di pressione: così un romboide di spato d'Islanda, ossia carbonato di calce puro, premuto col tenere fra le dita due canti opposti, diviene elettrico a segno da attrarre sensibilmente la pallina di un pendolo; e più di qualunque altro corpo, questo cristallo è dotato di tal facoltà, come Haüy stesso ha sperimentato. In generale, i minerali che più facilmente si elettrizzano per via di pressione, hanno un certo grado di trasparenza, e son capaci di esser ridotti con mezzi meccanici a foglie sottilissime.

In questo modo di sviluppo d'elettricismo, come in qualunque altro, ogni corpo acquista un elettricismo particolare. Che se si voglia sperimentare con tal pressione un metallo o qualunque altro corpo conduttore, è chiaro che bisognerà tenerlo per un manico isolatore (*fig. 237*).

Se uno dei due corpi conduttori è in comunicazione col terreno, perde il suo elettricismo; e l'altro corpo acquista sempre lo stesso elettricismo che acquistava quando era isolato il corpo sul quale era premuto. Il sughero, i frutti, le pelli, i minerali, il carbon fossile, il bitume, i metalli, e in generale tutti i corpi, si elettrizzano in modo opposto per via di pressione.

Tutti questi resultamenti son dedotti dalla memoria di Becquerel (*An. ch. t. 22*), il quale ripeté e moltiplicò le esperienze del Prof. Haüy.

Dell' Elettricismo sviluppato nei fenomeni chimici

376 Le prime esperienze sullo sviluppo dell' elettricismo nei fenomeni chimici, sono generalmente attribuite a Lavoisier e Laplace. Questi famosi fisici osservarono, che facendo agire molti chilogrammi d'acido solforico sulla limatura di ferro, si sviluppava tanto elettricismo da caricare un condensatore, fino a metterlo in grado di dare scintille. Avogadro in Italia ha rilevato, che può stabilirsi una corrente elettrica in un solo metallo, per mezzo dell'azione d'un acido, sol che non si immergano nel tempo stesso in questo acido le due estremità del metallo; e l'effetto più bello si ottiene con lo zinco e l'acido solforico o l'idroclorico allungato con l'acqua.

Davy nel 1807 fece molte esperienze sull' elettricismo sviluppato nel contatto dei corpi e nelle azioni chimiche; e dalle sue osservazioni risulta, che alcune combinazioni, e specialmente

quelle che accadono con sprigionamento di molto calorico, sviluppano elettricismo.

Il moltiplicatore inventato da Schweigger, strumento capace di render sensibili le minime quantità d'elettricismo sviluppato, e che descriveremo in seguito, ha somministrato a Becquerel un aiuto, di cui mancavano i dotti osservatori che abbiamo citati. Becquerel ha fatto un lungo accuratissimo studio sopra un gran numero di combinazioni chimiche, nel momento stesso della loro formazione; e sembra ormai stabilito, che nella combinazione d'un acido o d'un ossido con un alcali, v'è sviluppo d'elettricismo.

Per far queste esperienze in una maniera comoda, si prende un moltiplicatore, il filo del quale è di platino: ad una delle estremità si fissa un piccolo cucchiaino parimente di platino, destinato a ricever l'acido; e all'altra estremità è una pinzetta dello stesso metallo, nella quale si pone il corpo che deve agire sull'acido. Se la prova è fatta con un acido e un alcali, nel filo del moltiplicatore si stabilisce una corrente, nella quale l'elettricismo positivo è portato dall'acido all'alcali, secondo ciò che vedemmo, esaminando gli effetti chimici della pila OErsted ancora, servendosi d'un ago calamitato, trovò che nasce una corrente elettrica nel momento dell'azione d'un acido sopra un metallo. E Pouillet ha provato che anco nella combinazione del carbone con l'ossigene dell'aria, ha luogo sviluppo, benchè debole, d'elettricismo.

Dell' Elettricismo sviluppato dal calore (a).

377. Alcuni minerali acquistano per mezzo del calore la virtù elettrica. La distribuzione dell'elettricismo in un minerale in tal modo elettrizzato, ha qualche somiglianza con la distribuzione del magnetismo nelle calamite. Infatti ognuno di questi minerali ha due punti, uno dei quali è la sede dell'elettricismo negativo, l'altro del positivo, e questi punti, chiamati *poli*, son sempre in due parti opposte del minerale.

Prendiamo per esempio la tormalina, che fra tutte è la sostanza più opportuna a far vedere questo genere d'effetti. Se si presenta al calore d'un lume un prisma di tormalina, tenuto fisso in una pinzetta, l'elettricismo naturale di questa sostanza viene scomposto, e l'elettricismo positivo si porta ad un'estremità dell'asse, e il negativo all'altra estremità.

378. L'effetto però non cresce in proporzione della tempe-

(a) Non si debbon confondere questi fenomeni, di cui siamo per parlare, con i fenomeni termo-elettrici.

atura; anzi una temperatura troppo alta fa rovesciare i poli. Anco un raffreddamento di 20° sotto lo zero, determina i poli nella tormalina.

La temperatura alla quale corrisponde lo stato neutro, varia secondo le stagioni; e si alza e si abbassa, secondo che cresce o scema il calor dell'atmosfera. In tutti i casi però, la tormalina torna nel suo stato naturale, quando torna alla sua primitiva temperatura.

379. Per conoscere i due poli d'una tormalina elettrizzata, basta presentarle un piccolo pendolo non elettrizzato, il quale verrà attratto dalle due estremità di essa, e non dalla parte media, la quale è nello stato naturale. E se prima si comunichi al pendolo un elettricismo noto, esso sarà attratto da un polo della tormalina, e respinto dall'altro.

Due tormaline elettrizzate devono attrarsi per i poli di nome diverso, e respingersi per i poli dello stesso nome. L'apparecchio opportuno per queste esperienze è composto d'un sostegno di rame, terminato in una punta d'acciaio finissimo, e d'una lastra parimente d'acciaio, ripiegata in alto ad angolo retto alle estremità, e con un incavo nella parte superiore dei lati: di più è forata nel mezzo circolarmente, nel qual foro si adatta un cappelletto d'agata. Su questa lama si pone una delle due tormaline; quindi a ciascuno dei suoi poli si presentano alternativamente i poli d'un'altra tormalina che si tiene fra le pinzette, e così si verifica la proposizione che abbiamo enunciata (*fig. 238*). E siccome la tormalina è pochissimo conduttrice dell'elettricismo, così queste esperienze riescono egualmente anco ne' tempi più umidi.

380. Se si spezza una tormalina elettrizzata, ciascun frammento, per quanto piccolissimo, ha due poli elettrici come la tormalina intera, secondo che la prima volta sperimentò Canton. E però singolare questo fatto, che accade ancora spezzando una tormalina che prima della rottura era carica d'una sola specie di elettricismo libero. Questa difficoltà si scioglie, considerando ciascuna molecola integrante d'una tormalina, come se fosse essa medesima una piccola tormalina provvista di due poli; sicchè la sezione accadendo necessariamente fra due molecole, il frammento deve avere due poli come la tormalina intera.

381. Alcuni avevan pensato che i cristalli suscettivi d'essere elettrizzati per calore, derogavano alla legge di simmetria che presentano ordinariamente le sostanze cristallizzate, e che le parti nelle quali esistevano le due specie d'elettricismo, quantunque similmente situate alle due estremità del cristallo, erano diverse in figura.

Nel borato di magnesia Haüy ha osservato questa correlazione fra la configurazione esterna e la virtù elettrica. La forma

di questa sostanza (*fig. 239*) è un cubo incompleto in tutte le sue costole, e modificato da faccette che corrispondono agli angoli solidi. In questo cristallo gli elettricismi agiscono secondo le direzioni dei quattro assi, ciascuno dei quali passa per due angoli solidi del cubo. Nella varietà chiamata *defettiva*, uno dei due angoli situati alle estremità d'un medesimo asse è intatto, ed è la sede dell'elettricismo negativo, e la faccetta che tien luogo dell'altro angolo, è la sede del positivo; sicchè un piccolo minerale, lungo due soli millimetri, presenta otto poli elettrici.

La varietà di tormalina chiamata *isogona*, forma un prisma a nove faccie (*fig. 240*), che ad un'estremità termina in vertice con sei faccie, e dal lato opposto in vertice con tre; e sperimentando si trova, che il primo vertice è elettrizzato positivamente, e il secondo negativamente.

382. Dopo la prima scoperta di Lemery (*Ac. des Sc. 1719*) intorno all'elettricismo sviluppato per calore, Canton, Brard e Haüy rilevarono questa proprietà in varii minerali. Ma Brewster, oltre averla scoperta in molti altri minerali, l'ha osservata ancora in moltissimi prodotti artificiali. Per elettroscopio egli si è servito della membrana interna ed eccessivamente sottile dell'*arundo phragmites* (*An. ch. t. 28*).

Le principali sostanze elettriche per calore sono

La Tormalina	Il Solfo naturale
Il Topazio	L' Acido tartrico
Lo Spato calcare	Il Tartrato di potassa e di soda
Il Solfato di barite	Il Carbonato di potassa
Il Diamante	Il Solfato di ferro
L' Orpimento	Lo Zucchero
Il Quarzo del Delfinato	L' Acido citrico.

Da quanto abbiamo detto risulta, che quelle sostanze la cristallizzazione delle quali è regolare, si elettrizzano per calore, e che in conseguenza non esiste alcuna correlazione fra la loro forma e la loro virtù piro-elettrica, come pareva doversi dedurre dai risultamenti ottenuti con le tormaline, col borato di magnesia, ec. e forse conosceremo in seguito, che tutti i corpi sono piro-elettrici.

383. L'elettricismo dunque deve incessantemente scomporsi e ricomporsi alla superficie e nell'interno del globo, per contatto, per pressione, per confricazione ec. di sostanze eterogenee, per variazioni di temperatura, per fenomeni chimici, e per effetto di molte altre cagioni.

EDI



HJ 2LK3 Q

