Considerazioni sulle forze di capillarità e coesione dei liquidi relative alle recenti esperienze dei Sigg. HENRY, DONNY ed HAGER.

del Cav. Prof. O. F. MOSSOTTI.

1.^o Laplace fu il primo che dedusse coll'analisi, pel calcolo dei fenomeni capillari, un complesso di formole, le quali corrispondono bene coi risultati delle esperienze: ma la teoria di cui si era servito per questa deduzione fu trovata erronea. Si riconobbe che le costanti che aveva introdotto nelle sue formole per rappresentare degli integrali definiti avevano un valor nullo, nella supposizione da lui adottata di una densità uniforme tanto nell'interno che alla superficie del liquido; e quest'annullamento rende illusorie tutte le sue formole. Si dice che Laplace stesso aveva avvertito questo difetto, e che già stava meditando di dare una nuova teoria dell'azione capillare, quando la morte infelicamente ce lo rapì. Poisson ha supplito in seguito a questa mancanza. Egli fece vedere che per far acquistare agli integrali definiti usati da Laplace un valor effettivo era necessario che la densità andasse rapidamente decrescendo dall'interno verso l'esterno negli ultimi strati alla superficie del fluido. Di questo modo egli stabilì, nella sua *Nouvelle Théorie de l'action capillaire* su ferme basi le formole trovate. Ma da questo perfezionamento in fuori poco trovò da aggiungere alle formole date da Laplace. Inoltre Poisson non entrò in alcun esame sul modo d'equilibrio delle forze tangenziali alla superficie, nè fece alcun cenno della tensione che in essa deve esistere. Pare appunto, per essersi limitato ad una semplice deduzione analitica delle formole, senza aver cercato d'interpretare fisicamente il contenuto di esse, e di penetrare colla mente il meccanismo delle

forze che sono poste in giuoco dalla rarefazione alla superficie del fluido, che cadde in errore nel calcolo di un fenomeno di cui parleremo in appresso, e che è di grande entità nella teoria dell'azione capillare.

2.^o Poco tempo prima che la Place pubblicasse nel IV. Volume della *Mécanique céleste* i due supplementi che contengono la teoria dell'azione capillare, Young nella tornata del 20 Dicembre 1804, aveva letto la sua Memoria intitolata *Essay on the cohesion of fluids*. In questa Memoria assunse un postulato già emesso da Segner e da Monge, che cioè i fenomeni capillari siano dovuti ad uno stato di tensione in cui sono le superficie dei liquidi; e conforme a questo postulato dedusse l'espressione generale della forma delle superficie liquide, coll'applicazione della quale si possono analizzare tutti i fenomeni capillari. Quest'espressione conduce ad un'equazione differenziale di second'ordine, il cui integrale richiede un'altra equazione ai limiti per essere definito. Onde poter assegnare la condizione necessaria allo stabilimento di quest'equazione, Young fece l'importante scoperta, che l'angolo sotto cui la superficie libera si stacca da quella delle pareti è costante per ogni liquido e per ogni sostanza delle pareti, qualunque sia la forma del contorno, purchè non interrotta da angoli vivi. Young partendo da un postulato vero, eresse così una teoria giusta dei fenomeni capillari, ma quando tentò d'assegnare la causa dello stato di tensione delle superficie liquide, che aveva assunto per base della sua teoria, non ottenne più un egual successo. Le idee di Young su questo soggetto si trovano esposte ai §§. VI. e VII. alla fine della sua Memoria sotto i titoli di *Physical foundation of the law of superficial cohesion*; e *Cohesive attraction of solids and fluids*. Egli parte dalla supposizione che esista nei liquidi una forza coesiva costante ed una forza repulsiva decrescente come le di-

stanze, ed a seconda di questa supposizione considera l'azione reciproca di tre punti situati sopra la superficie libera del fluido. È chiaro che la supposizione della legge di costanza e variabilità delle forze assunte da Young è inconsistente colla natura conosciuta delle forze molecolari, come pure che la considerazione di soli tre punti della superficie è troppo particolare per la questione che trattava. Parimente la dimostrazione della costanza dell'angolo di distacco della superficie libera del fluido da quella delle pareti non regge, come che conduce direttamente al teorema di Clairaut, che quando il solido delle pareti ha la metà di forza coesiva pel fluido che ha il fluido per se stesso, la superficie libera del fluido deve essere perpendicolare alle pareti, il che è provato falso da Poisson al n.º 20 del primo capitolo della *Nouvelle Théorie de l'action capillaire*. Si può credere che Laplace, in vista di queste imperfezioni circa la spiegazione della trazione, non approfondisse sufficientemente la teoria di Young, e s'inducesse a dare un giudizio forse troppo leggiero della medesima.

3.º Young dal canto suo prese ad attaccare la teoria di Laplace; fece osservare che le forze molecolari, secondo la natura che loro veniva assegnata dal Filosofo Francese, dovevano essere grandemente modificate dall'azione del calore, e che queste modificazioni non erano considerate nella di lui teoria. Di più prescindendo anche da questo difetto, la teoria laplaciana doveva essere erronea, perchè era in contradizione col seguente fenomeno. Facciasi salire, diceva Young, per forza capillare una colonnetta d'acqua in un cannello sottile, e dopo facciasi discendere sull'estremità superiore della colonna aquea una goccia d'olio che la ricuopra di un sottil velo, si vedrà, la colonnetta discendere immediatamente, e fermarsi ad un'altezza molto minore. Laplace aveva invece dedotto dalla sua teoria che la somma dei pesi delle colonnette dei

due fluidi sostenuti nel cannello doveva essere eguale al peso della colonnetta del fluido inferiore quando esiste solo. Poisson che in seguito a Laplace discusse minutamente questo fenomeno, non potendo conciliare la sua teoria col risultato dell'esperienza, emise il suo voto che fosse ripetuto con misure precise. Ma il fenomeno è indubitabile, io ne ho visto un saggio in cui per la sovrapposizione di un sottile strato d'olio la colonnetta d'acqua discese per più di un terzo dell'altezza primitiva. Il difetto sta nella teoria dei due geometri suddetti.

4.^o Il Dott. Young ritornò sopra quest'argomento nel *Philosophical Magazine*, nelle sue Lezioni di Fisica, e per ultimo nel suo interessante articolo *Cohesion* nell'Enciclopedia Britannica (1). Non abbiamo per ora fra le mani le due prime delle opere citate per poterne parlare, e ci limiteremo al detto articolo, che come ultima produzione contiene le idee più complete dell'Autore. In quest'articolo per analizzare la produzione della tensione superficiale del liquido, in luogo di soli tre punti, egli prese a considerare l'equilibrio dell'intero strato della superficie. Ritenendo sempre che la forza molecolare, o come egli la chiama corpuscolare, sia costante e si estenda solo ad una distanza data, e che la repulsione vari colla distanza, riconobbe che era necessario per l'equilibrio del detto strato che la densità andasse rapidamente decrescendo dall'interno all'esterno. Egli però non considera che una rarefazione normale alla superficie conservando costante la densità laterale, il che non è ammissibile in natura perchè in questo caso si avrebbe un equilibrio instabile non sussistente. La stabilità dell'equilibrio fra forze repulsive

(1) Sono venuto in cognizione che nella nuova edizione dell'Enciclopedia Britannica trovasi un articolo su quest'argomento del Sig. Airy attuale astronomo di Greenwich. Mi spiace che non avendo ancora potuto procurarmi questa edizione sia costretto ad omettere qualche citazione importante in questo cenno storico.

esige che le molecole si trovino nel centro di tante forze eguali, o che non differiscano che di quantità infinitesime. Dopo l'esposizione dei principii fisici Young applica l'analisi all'espressione generale che aveva dato della forma della superficie dei liquidi, e discute varii casi particolari accoppiando alle sue alcune serie già date da Segner nei Commentarii di Gottinga.

Cosa parimenti degna d'osservazione in questo articolo è che Young aveva già concepito la grandezza a cui la forza di coesione ascende nei liquidi. Egli dichiara esplicitamente che la coesione dell'acqua può assumersi misurata da una colonna dello stesso liquido alta 750,000 piedi; l'Autore non adduce i motivi di questa sua estimazione, nè saprei indicare su quali argomenti la fondò.

5.^o Nell'anno 1836 pubblicai un saggio d'alcune idee sul modo in cui parmi che si debba considerare la costituzione dei corpi (1), ed indicai il principio, che credo il fondamentale di tutta la Meccanica molecolare (2), cioè che le molecole dei corpi si respingono nelle minime distanze, sono in equilibrio ad una distanza intermedia, e si attraggono a maggiori distanze, ma tuttavia impercettibili ai sensi. Newton aveva già alla fine delle sue questioni dell'ottica, fatto allusione alla possibilità che le forze molecolari cambiassero di segno, ma supponeva loro un ordine inverso, cioè che da attrattive nelle minori distanze divenissero poi repulsive in distanze più grandi. Boscowich assunse queste alternative di segno delle forze in un modo più generale, considerandole repulsive nel primo stadio, e poi alternativamente attrattive e repulsive un gran numero di volte, complicando così superfluo il suo sistema. Chiunque infatti rifletta a questo cambiamento d'azione delle forze molecolari da repulsive in

(1) Sur les forces qui régissent la constitution intérieure des corps ec. Turin.

(2) Veggasi la Nota alla fine. *Sull'applicazione d'un principia ec.*

attrattive, o viceversa, non può a meno di convincersi che porta seco alcun che di complicato, che indica come queste forze non sono semplici di lor natura. Intento ad assegnare un origine plausibile alle forze molecolari, assunsi nel citato opuscolo la legge semplice della ragione inversa del quadrato della distanza, e dotando la materia e l'etere delle stesse forze delle quali fecero uso Franklin ed Æpinus per ispiegare i fenomeni elettrici statici, feci vedere come le molecole vestendosi ciascuna di un'atmosfera d'etere, venivano ad esercitare fra loro delle azioni repulsive dapprima, ed attrattive dipoi, come richiedono i fenomeni molecolari. La stessa azione estesa ai corpi in distanze sensibili, somministra, come notò la prima volta il Dott. Roget (1) una spiegazione dell'attrazione universale.

Volendo cimentare la validità del principio fondamentale di Meccanica molecolare posto in campo, tentai prima di tutto di applicarlo alla spiegazione dei fenomeni capillari. Il modo semplice con cui questo principio dà ragione della rapida diminuzione della densità alla superficie dei liquidi, della conseguente attrazione che deve nascere fra le molecole alla superficie, e quindi della forza contrattile della medesima, e per ultimo della costanza dell'angolo di distacco della superficie del liquido da quella delle pareti, non lasciano dubitare un momento della verità di esso nella produzione dei fenomeni di cui si tratta. I vuoti che aveva lasciato sussistere Young nell'ad-

(1) Mi è grato di cogliere quest'occasione per riparare una negligenza nel non avere già fatto menzione di questo dotto filosofo, e rendergli l'omaggio che gli devo. La prima idea di applicare l'ipotesi di Franklin e di Æpinus a dedurre l'origine delle forze molecolari mi si destò in mente alla lettura del modo semplice col quale il Sig. Roget piegò quest'ipotesi a dar ragione dell'attrazione universale in un'Opuscolo sull'Elettricità stampato nella raccolta popolare intitolata *Library of useful knowledge*. Il nome dell'Autore mi era ignoto a quel tempo, e non citai l'articolo dell'opuscolo come cosa popolarmente divulgata e di comune cognizione.

ditare la causa della forza contrattile della superficie dei liquidi furono riempiti, e le anomalie della teoria di Laplace e Poisson furono tolte, dando una spiegazione diretta del fenomeno della depressione della colonnetta di acqua in un tal cannello capillare, quando le si fa cader sopra una goccia d'olio. La Lezione nella quale è esposta questa teoria è un po' compatta, ed avrebbe forse bisogno di maggiore sviluppo, ma i punti fondamentali sono tutti stati toccati nel modo più preciso che si è potuto, dovendoci per la natura dell'opera limitare all'uso della semplice geometria elementare (1).

6.^o Da quest'epoca in poi avendo preso ad interessarmi dei lavori che si pubblicano sulle azioni capillari, e sulla coesione dei liquidi, per verificare se la teoria continua ad essere d'accordo coi nuovi ritrovati, esporrò quanto mi fu dato di notare relativamente alle recenti esperienze del Sig. Prof. Henry in America, del Sig. Donny nel Belgio, e del Sig. Hagen in Prussia.

Il Sig. Henry (2) richiamò l'attenzione dei Fisici sulla grandezza della forza di coesione, che, come abbiamo riferito sopra, ascenderebbe per l'acqua, secondo l'estimazione di Young, al peso di una colonna dello stesso fluido di 750,000 d'altezza. Che questa forza debba essere grande possiamo convincersene considerando i fenomeni di capillarità. La forza contrattile della superficie libera dell'acqua è di circa 7 milligrammi per ogni millimetro di larghezza. Se conoscessimo la grossezza dello strato superficiale che esercita questa forza, e la rarefazione media di esso, moltiplicando il detto peso pel quoziente di un millimetro diviso per questa grossezza si avrebbe il

(1) Questa Lezione fu data alla luce, avanti la pubblicazione dell'intero corso nella Biblioteca Italiana vol 98, pag 63 e pag. 463: negli Annali delle scienze naturali di Bologna vol. IV pag. 390; e nel giornale di Cambrige per opera del Sig. E. H. I. Craufurd che ebbe la compiacenza di tradurla ad un mio invito.

(2) Philosophical Magazine n.^o 173, pag 341.

valore della tensione dell'acqua, corrispondente alla detta rarefazione, per un millimetro quadrato di superficie. Questa forza o tensione sarebbe ancora inferiore alla misura della coesione che è data dal massimo di tensione che può acquistare il liquido senza separarsi; ma come la grossezza dello strato è insensibile, ed il detto quoziente deve essere grandissimo, esso già basta a mostrarci che il valore della coesione deve ascendere ad un peso notevole.

Il Prof. Henry per farsi un'idea del limite inferiore di questo valore, assumendo per grossezza dello strato una quantità certamente più grande, ma sottile quanto più fosse possibile d'ottenere, soffiò una bolla d'acqua saponacea all'estremità più larga di un cannello piegato nella forma di un U, pieno in parte d'acqua. La forza contrattile delle due superficie interna ed esterna della bolla, tendendo a diminuire la sua capacità, l'aria interna veniva compressa, e faceva salire il liquido nel ramo opposto. Valutando colla differenza di livello la forza contrattile della bolla, e stimando colla scala di Newton la grossezza della bolla nell'atto e nel luogo dello scoppio per mezzo del colore che offriva, ottenne gli elementi per fare un calcolo analogo al suesposto. Da questo calcolo egli potè inferire che la coesione deve eccedere parecchie centinaia di libbre per ogni pollice quadrato.

Un altro esperimento simile aveva fatto precedentemente il Prof. Henry collo stesso scopo. Tenendo una bolla d'acqua saponacea sospesa in aria, egli dedusse colla scala di Newton la grossezza della medesima nell'istante e nel luogo dello scoppio per mezzo del colore che presentava, e valutò il peso dell'acqua che pendeva dalla sezione di rottura nello stesso istante. Assumendo per grossezza di questa sezione quella datagli dal calcolo suddetto, potè parimente arguire dal peso sostenuto che la forza di coesione ascende a parecchie centinaia di libbre per

pollice quadrato. Questi esperimenti, come notò lo stesso Sig. Henry, non possono darci che, delle valutazioni all'ingrosso, ma bastano per farci concepire che la coesione dell'acqua per se stessa deve essere grande, e forse tanto grande come quella del ghiaccio pel ghiaccio.

7.^o Il Sig. Donny (1) ha ripreso a considerare il noto esperimento della quantità d'acqua sollevata da un disco in contatto colla superficie della medesima, e tenuto sospeso da un braccio di una bilancia, ma eseguito con un'apparecchio nel quale invece di elevare il disco, era il vaso contenente l'acqua che andava gradatamente abbassandosi. Egli osservò che quando l'abbassamento del livello generale dell'acqua era giunto ad un certo limite, la colonna liquida sollevata sotto il disco, che occupava la totalità della superficie inferiore dell' medesimo, cominciava subito a restringersi abbandonando successivamente le parti più esterne del disco e restando soltanto sospesa alle più interne, e terminava col formare un solo filetto dopo di che si rompeva. È noto che la colonna d'acqua in questo esperimento prende una forma che gli architetti chiamerebbero una gola, e che il sollevamento della medesima è dovuto alla concavità della superficie esteriore della gola, che tende a tirare orizzontalmente il liquido in fuori, giusta come la concavità della superficie superiore in un canello capillare tende a tirare la colonna d'acqua per insù. Quando l'esperimento è fatto nell'aria atmosferica lo sforzo che esercita detta superficie distrugge invece una parte della pressione che l'atmosfera esercita su di essa, e la colonna liquida è tenuta sollevata sotto il disco dall'eccesso di pressione sulla superficie liquida circostante dove l'atmosfera ha il suo pieno effetto. Tosto che l'altezza della colonna è arrivata al punto che la sua superficie esterna di rivoluzione non può più conformarsi

(1) *Annales de Chimie et Physique*. Janv. 1846

in modo da presentare in ogni suo punto una forza normale che distrugga una parte della pressione atmosferica eguale al peso del filetto fluido elevato nello stesso punto, la pressione atmosferica la vince, si serra addosso tutt' all' intorno alla colonna liquida elevata, premendola la assottiglia sempre più, e finisce coll'annichilarla

8.^o Avendo colla considerazione delle forze che operano in quest'esperimento dedotto alcune ovvie conseguenze che già aveva indicato anche il Prof. Henry, cioè, che la misura della coesione dell'acqua non è da confondersi col peso di 53 grani per pollice quadrato, che si richiede nello stesso sperimento per tenere la bilancia in equilibrio avanti l'istante della rottura della colonna liquida, il Sig. Donny passò ad esporre alcune prove dirette della grandezza della coesione dei liquidi. Per un primo esperimento introdusse in un cannello, piegato in forma di un manometro, dell'acido solforico concentrato, e ben purgato d'aria. Il liquido ricopriva tutto il ramo chiuso dell'altezza di 1^m,30 e soltanto una piccola parte, di 0^m,045 del ramo aperto, così che la differenza di livello nei due rami era di 1^m,255. Mise in seguito il ramo aperto in comunicazione col recipiente di una macchina pneumatica, e sottratta quasi per intero la pressione dell'aria che pesava sul liquido in questo ramo, vide che ciò non ostante l'acido solforico non discedeva ad occuparlo, benchè tentasse con forti scosse di promoverne la discesa. Già era noto da molto tempo che comprimendo il mercurio in un cannello barometrico, talchè divenisse in qualche modo aderente alle pareti interne, e rovesciando diligentemente il cannello, questo liquido può sostenersi ad un'altezza molto maggiore di 76 centimetri, cioè molto maggiore dell'altezza corrispondente alla pressione atmosferica. Il caso che abbiamo trattato nella nota citata al n.^o 5. per mostrare in generale come i corpi si resistono ad essere diradati o divisi, fa concepire per qual

giuoco di forze succede la sospensione delle colonne liquide in cannelli verticali.

Un altro esperimento diretto fece il Sig. Donny per provare la coesione dell'acqua. Egli prese due cannelli di cristallo della lunghezza di un metro, che riempì a metà d'acqua e poi chiuse le estremità aperte alla lampada, lasciando nel primo sussistere l'aria che naturalmente conteneva, e purgando il secondo il più che gli fu possibile d'aria, di modo che rovesciandolo prontamente faceva intendere un colpo secco come nel martello d'acqua. Tenendo il primo cannello, quello contenente dell'aria, nella posizione verticale e percuotendo leggermente nell'estremità superiore, la colonna liquida di risalto veniva a dividersi, e ricadendo dava un colpo secco, il che provava che la divisione del liquido formava un vuoto fra mezzo. Facendo la stessa prova col secondo cannello, per quanto forti fossero i colpi impressi per produrre la rottura della colonna liquida, non gli venne mai dato di ottenerla.

Le conseguenze che direttamente si traggono da questi esperimenti sono che, la coesione è assai indebolita o quasi distrutta dalla presenza dell'aria nell'acqua, e che questa forza può divenire assai considerevole allorchè l'aria è stata bene espulsa.

Tenendo dietro a queste conclusioni il Sig. Donny congetturò che l'acqua ben purgata d'aria, come dotata di maggior coesione, doveva anche entrare in ebullizione a temperature più elevate, ed i risultati e l'effetto de' suoi esperimenti corrisposero infatti a ciò che aveva previsto. Come però gli effetti in queste esperienze sono complicati con altri elementi dipendenti dal cambiamento di stato dei corpi, la loro discussione non potrebbe farsi colle leggi della semplice coesione, e va collegata con un soggetto più esteso di quello che ora trattiamo.

9.^o Il Sig. Hagen ha fatto l'importante osservazione che le forze capillari dei liquidi, e quindi la forza contrattile della loro superficie diminuisce col tempo. Secondo questo sperimentatore, la forza contrattile che sarebbe, rispetto all'acqua di 7^{mg},4 per una striscia di un millimetro di larghezza, può ridursi a 4^{mg},5 col tempo. Secondo la teoria la forza contrattile dipende dalla rarefazione del liquido nello strato alla superficie, e quindi deve essere tanto più grande, quanto più differenti saranno le densità sulla faccia interna ed esterna di questo strato rarefatto. Col tempo, se nessuna causa agita l'aria, deve necessariamente stagnarsi sulla superficie de'liquidi un velo di vapore, il quale deve probabilmente dar luogo a far terminare il liquido alla superficie esteriore con una densità un po' più grande, dal che ne seguirebbe che la forza contrattile verrebbe a diminuire. Il Sig. Hagen notò anche, che questa diminuzione della forza contrattile risulta minore quando l'acqua è stata bollita.

10.^o La grandezza della forza di coesione o tensione che possono spiegare i liquidi secondo i citati esperimenti, e che la teoria conferma, mi porgono l'occasione di soggiungere una nuova riflessione avanti di por termine a questo Articolo. Gli idraulici nello stabilire le equazioni del movimento dei liquidi non prendono per nulla in considerazione la coesione, che pure può dar sviluppo a delle forze attive assai grandi per delle variazioni ancor impercettibili di volume. Quest'omissione può rendere erronee le equazioni delle quali si fa uso nell'idraulica, particolarmente nei movimenti oscillatorii od irregolari non permanenti. Se a questo difetto si aggiunge che pei liquidi formati, come sono in natura, di molecole disgiunte, la condizione che le molecole che sono una volta sulla superficie o contigue alle pareti debbano rimanervi durante tutto il movimento non è più necessaria, come nel caso della continuità, chiaro si vede che nelle teorie

idrauliche non solo siamo arrestati dalle difficoltà analitiche delle integrazioni, ma che le stesse equazioni differenziali, dedotte dalla vera natura fisica dei liquidi, ancora ci mancano.

NOTA

Applicazione di un principio fondamentale di meccanica molecolare alla costituzione dei corpi.

Il principio di cui si parla nel testo ci pare d'una importanza così trascendente, che quantunque ne abbiamo già mostrato l'applicazione in altri scritti, pure non esitiamo a produrla anche in questo per estenderne sempre più la cognizione alla generalità dei lettori.

Proponiamoci di vedere come i corpi constando di molecole slegate e poste a distanze fra loro, siano, in virtù del principio che le molecole si respingono alle minime distanze, e si attraggono in distanze un po' maggiori ma tuttavia insensibili, atti a resistere tanto ad una compressione che ad una distensione.

Rappresenti $ABCD$ la massa di un corpo; attraverso alla medesima immaginiamo un piano, ed in un punto qualunque perpendicolarmente a questo piano un piccolo cilindro $c c'$, alto tanto quanto si estende l'azione sensibile delle forze molecolari. Se supponiamo la massa costituita in equilibrio è indifferente per le condizioni d'equilibrio del cilindretto, che concepiamo le sue molecole come collegate fissamente fra loro, o no, questi legami non potendo alterare lo stato d'equilibrio esistente. Consideriamo l'azione sul cilindretto della parte del corpo situata dal lato opposto del piano. Secondo il principio stabilito che le molecole si respingono nelle minime distanze e si attraggono in distanze un po' maggiori, le molecole più vicine del cilindretto e della parte della massa al di

là del piano si respingeranno fra loro, e quelle più lontane si attrarranno. Se quindi il cilindretto è in equilibrio, e non ha alcuna tendenza a penetrare nel piano o a staccarsi da esso, bisognerà che la somma delle componenti perpendicolari al piano delle forze repulsive fra le molecole rispettivamente più vicine sia eguale alla somma delle componenti delle forze attrattive fra le molecole più lontane. Questo ragionamento potendosi ripetere in qualunque punto della massa ed in qualunque direzione sia condotto il piano, ne segue che in una massa naturalmente in equilibrio, nella quale cioè non esiste nè pressione nè trazione alcuna, le molecole devono stare a tale distanza fra loro, che immaginando in ogni punto ed in ogni direzione un cilindretto della lunghezza equivalente al raggio della sfera in cui le azioni molecolari sono sensibili, le molecole che lo compongono formino un sistema sul quale la somma delle azioni della parte della massa situata al di là del piano, condotto perpendicolarmente all'asse del cilindretto e per la sua base, sia nulla.

Vediamo come una massa così costituita, e perciò matematicamente disposta a cedere a qualunque azione esterna, divenga atta ad opporre una resistenza, tostochè si procede a produrre una pressione o trazione sulla medesima. Supponiamo per facilità di concetto che la massa sia circondata da pareti incompressibili eccetto che da un lato sul quale si venga ad esercitare una pressione. Appena un avvicinamento minimo ed uniforme delle molecole sarà prodotto che immediatamente si spiegherà una resistenza notevole. Infatti immaginando di nuovo il cilindretto su descritto, con una leggiera riflessione si scorge che, quantunque pel condensamento avvenuto tanto le molecole nello stato repulsivo come quelle nello stato attrattivo siano cresciute di numero nella stessa proporzione, e quindi che per questa causa le somme delle forze attrattive e repulsive siano ancora eguali fra loro, pure

siccome le forze molecolari sono frazioni rapidamente decrescenti colle distanze, l'effetto repulsivo delle molecole rispettivamente più vicine, sarà aumentato in una proporzione maggiore dell'effetto attrattivo fra le molecole rispettivamente più lontane, per cui il cilindretto verrà a sentire una forza che tende a respingerlo lungi dal piano. Questa repulsione crescerà coll'avvicinamento successivo delle molecole, e quando sarà divenuta eguale all'azione proveniente dalla pressione esteriore ogni condensazione sarà arrestata, e l'equilibrio restituito. Ciò che vale pel cilindretto su cui abbiamo ragionato, valendo per qualunque altro si vede come la massa intera per mezzo di una condensazione minima, e spesse volte insensibile diviene capace di resistere alla pressione che soffre, benchè grande.

Un'effetto opposto avrà luogo tutte le volte che una causa esteriore tenderà a diradare la massa aumentando le distanze rispettive fra le molecole. Per fare un caso praticabile, supponiamo che un cannello aperto e ripiegato nella estremità inferiore, pieno di un liquido pesante, sia tenuto verticalmente in un luogo vuoto d'aria per non avere a considerare la pressione atmosferica. Il liquido pel proprio peso tenderà naturalmente ad escire dall'estremità inferiore del cannello. Sia questo liquido uno di quelli che bagnano le pareti, cioè di quelli in cui la coesione colla sostanza delle pareti, è più forte che la coesione con se stesso. In questo caso, quando il cannello si votasse, il liquido interno verrebbe a scorrere entro un involucro pure di liquido, che sarebbe quello che rimarrebbe aderente o bagnerebbe le pareti, così che non avremmo bisogno che di considerare la coesione propria del liquido. Supponiamo ancora che il liquido del cannello sia stato reso perfettamente omogeneo colla distillazione, bene purgato d'aria con una prolungata ebullizione, e siasi presa ogni precauzione, onde non se ne

sia introdotta di nuovo. In questa disposizione di cose è evidente che il liquido, od una porzione di esso non può cominciare a discendere senza diradersi prima in alcune parti del cannello, e poi staccarsi dal resto. Ora appena questa diradazione sarà incominciata, che le proporzioni fra le forze molecolari, che tenevano le molecole nelle rispettive distanze corrispondenti allo stato naturale, verranno subito a cambiare. Riconsiderando il piccolo cilindretto, si conoscerà, per le stesse ragioni addotte sopra, che l'effetto delle forze repulsive, fra le molecole rispettivamente più vicine, diminuirà in una ragione più rapida dell'effetto delle forze attrattive, fra le molecole rispettivamente più lontane, e che quindi il cilindretto sarà attratto verso il piano. Questo discorso è applicabile a tutti i cilindretti, che si possono immaginare pendere da una sezione orizzontale condotta attraverso il cannello, ed il liquido non potrà staccarsi da questa sezione a meno che il peso della colonna inferiore superi l'attrazione che al diradersi del liquido nasce su tutti i cilindretti. Questa attrazione ha un massimo, perchè la perdita delle forze repulsive fra le molecole vicine diventa sempre meno grande in confronto della perdita delle forze attrattive fra le molecole più lontane, e finisce coll'eguagliarla. Il massimo a cui arriva questa forza, dopo cui il fluido si stacca, dà la misura della coesione. Questa è la forza, che, come abbiamo riferito sopra, Young valutò ascendere per l'acqua al peso di una colonna dello stesso fluido alta 750,000 piedi.

Abbiamo fatto il caso di una colonna liquida contenuta in un cannello collo scopo di preparare le idee del lettore ad un'applicazione che troverà nel seguito dell' Articolo, ma è chiaro che in qualunque modo una massa venga a diradersi per l'effetto di forze meccaniche esteriori, sempre si svilupperà in essa la forza di coesione che abbiamo analizzata, perchè sempre verranno a sussistere le stesse cause che la producono.

I ragionamenti per mezzo dei quali abbiamo riconosciuto il modo con cui i corpi spiegano una resistenza ad essere compressi o distesi ci conducono ad una conseguenza importante. Ammesso che tutte le forze della natura emanino dalla materia, l'attitudine dei corpi a resistere ad una compressione o distensione involve la necessità che la loro composizione sia atomistica, cioè che siano formati di atomi isolati e distanti fra loro (1). Infatti se la materia nei corpi fosse continua, non solo le forze repulsive ed attrattive che abbiamo considerato agire sul cilindretto continuerebbero ad aumentare o diminuire di numero nella stessa ragione, cioè proporzionalmente al quadrato della densità, secondo che il corpo si comprime o si dilata, ma anche la variazione delle forze repulsive fra le molecole rispettivamente più vicine, che prima era in eccesso su quella delle forze attrattive fra le molecole più lontane, verrebbe ora ad essere eguale. Il cilindretto si troverebbe quindi sempre in equilibrio, nè mai opporrebbe una resistenza ad un'ulteriore compressione o distensione. Questa resistenza nasce quando le molecole sono separate da intervalli vuoti, vale a dire, per parlare geometricamente, quando non è più lecito di sostituire degli integrali definiti alle somme delle forze che agiscono sul cilindretto, pel motivo che esiste la circostanza che le forze cambiano di segno colle distanze nell'intervallo dell'azione molecolare, come acutamente osservò il Poisson (2).

(1) Quando usiamo il vocabolo di atomo o di molecola non vogliamo attaccare a questo vocabolo altro significato che quello di un centro da cui emanano delle forze. La Natura non ci è conosciuta che ne' suoi fenomeni, o sia negli effetti delle sue forze, e come queste forze ci si rappresentano aderenti a dei centri che le trasportano con loro, abbiamo fatto di questi centri degli enti che costituiscono ciò che chiamiamo materia; ma dobbiamo tener presente che nello studio della fisica non si ragiona d'altro che degli effetti di forze che sembrano emanare da centri mobili intorno ai quali operano con una legge di continuità.

(2) Journal de l'École Polytechnique. Tom. XIII. pag. 14.

La coesione che abbiamo considerato appartiene tanto ai liquidi che ai solidi: ma rispetto ai solidi si congiunge con essa un altro effetto. Nei liquidi (1) le forze repulsive ed attrattive agiscono intorno alle molecole sfericamente, cioè sensibilmente colla stessa intensità in tutte le direzioni, nei solidi l'intensità è diversa da diversi lati, od in diverse direzioni. Da questa circostanza ne segue, che le molecole dei primi corpi possono rotare liberamente intorno a loro medesime, e potendo sdruciolare le une sopra le altre, purchè conservino le medesime distanze, danno al corpo la suscettibilità di conformarsi in una figura qualunque. Nei corpi solidi invece le molecole sono impedita dal rotare, perchè le forze molecolari agendo più fortemente in una direzione che in un'altra, obbligano le molecole a coordinarsi ed orientarsi tutte sulle medesime direzioni, come nei cristalli, e non è più possibile spostarne alcune senza sconvolgere l'ordine di un gran numero d'altre. Da ciò risulta una resistenza in questi corpi a cambiar di figura, e tale secondo effetto delle forze molecolari potrebbe indicarsi col nome di aggregazione o di solidità. In quanto alle circostanze che possono dar origine alla variabilità nell'intensità delle forze molecolari in diverse direzioni, ed alle cause del diverso stato dei corpi, solido, liquido, od aeriforme, rimanderemo il lettore alle introduzioni delle Lezioni XII. e XVIII. del nostro Corso Elementare di Fisica Matematica, ed al n.º 8 della nostra Memoria *Sur les forces qui régissent la constitution intérieure des corps ec.*