

ATTI
DELLA
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCCXIV.

1917

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME XXVI.

2° SEMESTRE.



ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL DOTT. PIO BEFANI

1917

Fisica. — *Considerazioni e indagini sulla possibilità di una coesione di natura elettrica.* Nota del Corrispondente MICHELE CANTONE (1).

Molto si è discusso sulla natura delle forze di coesione (2), specialmente dopo che la teoria cinetica dei fluidi assodò l'esistenza di forze di attrazione fra le molecole dei gas. Van der Waals partì anzi dal concetto che non potessero ammettersi (come si faceva prima) forze repulsive fra le molecole, senza cadere nell'assurdo di avere riscaldamento in un gas espandentesi nel vuoto; tuttavia l'esclusione assoluta non fu riconosciuta completamente valida, perchè se non potea negarsi un effetto generale di attrazione fra le monadi del fluido, restava d'altro canto aperto l'adito alla ipotesi di forze repulsive a distanze paragonabili alle dimensioni molecolari, e con legge atta a fare assumere agli urti un carattere fittizio, secondo appare più conforme alla natura reale delle cose; e perciò non mancano teorie cinetiche dei gas dove si ammettono forze dipendenti dalla distanza in guisa da trasformarsi in repulsive per piccoli valori di questa, senza che intervenga per altro alcun concetto fisico rispondente alle particolari espressioni adottate.

Anche sotto l'aspetto formale e prescindendo dalle modalità degli urti si è generalmente ammessa la legge dedotta dal prodotto fisico di una forza attrattiva in ragione inversa della quarta potenza della distanza, ma solo per corpi allo stato fluido; mentre Sutherland (3) nelle molteplici ricerche sulla costituzione dei corpi pone a base di ogni sua teoria la condizione di una forza variabile con questa legge anche quando ammette per i tre stati di aggregazione una coesione di natura elettrica; ed arriva così alla ipotesi di particelle gassose polarizzate che obbedendo ad influenze reciproche assumono uguale orientazione a piccola distanza, e conseguentemente si respingono; laddove nel caso dei solidi spiega la coesione ricorrendo ad orientamenti opposti alternantisi con piccolo intervallo.

Ben diverso indirizzo si ha dal concetto di Einstein (4) di attribuire l'energia interna dei solidi agli atomi funzionanti da oscillatori di Planck, colle caratteristiche variazioni per *quanti* proporzionali alle rispettive frequenze; giacchè, assumendo per ogni corpo il periodo rivelato dai raggi

(1) Pervenuta all'Accademia il 18 ottobre 1817.

(2) Sull'argomento che si prende in esame in questa Nota non sono a mia conoscenza i lavori pubblicati nei periodici tedeschi dal principio dell'attuale guerra.

(3) Phil. Mag., 4, pag. 625, 1902; 17, pag. 657, 1909; 20, pag. 657, 1910.

(4) Ann. der Phys., 22, pag. 180, 1907.

restanti, o da tal periodo accoppiato a quello di valore doppio giusta la modificazione introdotta da Nernst e Lindemann, si riesce ad ottenere per il calore specifico di molte sostanze a temperature bassissime una legge di variazione in buon accordo coi dati forniti dall'esperienza. Ed a risultati ancora più soddisfacenti, perchè si adattano ad un campo termico molto più esteso, si pervenne in seguito da Debye ⁽¹⁾ sostituendo per le oscillazioni alle forze elettriche le ordinarie forze elastiche ed all'unica frequenza di Einstein tutta una serie di frequenze fino ad un valore caratteristico di ogni sostanza.

D'altra parte Madelung ⁽²⁾, riferendosi a reticoli spaziali del tipo ammissibile per il salgemma e la silvina con legami elastici di ciascun punto materiale ai 18 punti più vicini, riusciva ad esprimere i moduli per mezzo dei coefficienti di proporzionalità che servono ad individuare le reazioni elastiche derivanti dagli spostamenti delle due specie di joni sotto l'impulso del campo elettrico delle radiazioni, ed otteneva per la condizione di risonanza elastica eccitata dalle forze elettriche i periodi caratteristici che in effetti si rivelano colla riflessione dei raggi *restanti* sul salgemma e sulla silvina.

Poco dopo, Einstein ⁽³⁾ partendo dallo stesso concetto fondamentale per il comportamento elastico di un reticolo spaziale notava che alle frequenze dedotte dalla teoria dei calori specifici corrisponderebbero vere vibrazioni elastiche con semilunghezza d'onda data dallo spigolo del cubo elementare: il risultato fu posto in rilievo nel caso dell'argento, ma Bauer vide poi che la deduzione poteva estendersi a tutti i metalli. In modo più rigoroso, senza aversi per altro notevole vantaggio in ordine al confronto coi valori sperimentali, si stabilirono dai sig. Born e Kármán ⁽⁴⁾ le frequenze possibili colle condizioni elastiche dei cristalli del sistema monometrico; epperò lo studio colle nuove ricerche rimane ancora confinato nell'ordine d'idee delle teorie molecolari sull'elasticità, e poichè in fondo le costanti che compaiono nelle nuove relazioni sono espresse in base al confronto di di queste con quelle classiche dell'elasticità, non deve far meraviglia che le varie teorie molecolari abbiano condotto per le singole sostanze a valori poco diversi dei periodi caratteristici, mentre la loro coincidenza coi periodi ricavati dalla legge di dispersione o dalle ricerche col metodo dei raggi *restanti* è ormai da annoverare fra gli effetti di risonanza provocati dalle forze elettriche delle onde luminose sulle cariche delle particelle materiali.

Oltre ai cennati lavori di Einstein, di Nernst e Lindmann, di Debye, abbiamo sull'energia interna dei solidi quelli più recenti di Born e Kár-

⁽¹⁾ Ann. der Phys., 39, pag. 789, 1912.

⁽²⁾ Phys. Zeits., 11, pag. 898, 1910.

⁽³⁾ Ann. der Phys., 34, pag. 170, 1911.

⁽⁴⁾ Phys. Zeits., 13, pag. 297, 1912.

mán⁽¹⁾ e di Tírring⁽²⁾, fondati sul computo dell'energia delle vibrazioni elastiche in un reticolo spaziale cubico di sostanza semplice o composta, ma sempre nella ipotesi che l'energia sia distribuita fra le varie frequenze colla legge di emissione per *quanti*; e siccome i risultati delle esperienze si adattano bene a questi sviluppi teorici, si avvalorò il concetto che l'energia dei solidi sia da ricercare quasi esclusivamente nei moti vibratorii degli atomi, giacchè pur nel caso dei cristalli, i quali offrono l'esempio di un assetto perfettamente stabile delle particelle costitutive in condizioni geometriche ognora meglio accertate, le nuove teorie ricevono una notevole conferma.

Accennerò in ultimo ad una ricerca in un campo di considerazioni alquanto diverso dai precedenti, poichè sulle orme delle indagini di Lorentz, intese a valutare quali forze elettrodinamiche potessero prodursi su punti elettrizzati per effetto di radiazioni diffuse, Madelung⁽³⁾ vide che per una radiazione monocromatica dipendente dalla distanza fra le molecole era possibile prendessero origine forze di coesione tali da determinare la compressibilità effettiva. Ma dovrebbero aversi per il ferro le frequenze degli ordinari raggi X, e perciò appare poco probabile che l'interessante concetto di Madelung schiuda nuovi orizzonti per gli studi sui fattori essenziali della coesione.

A chi voglia studiare senza preconcetti le forze di coesione di un solido si presenta qualche punto scabroso nel vasto ordine di processi prevalentemente energetici; e d'altro canto non può nascondersi che gli odierni concetti sulla struttura elastica dei solidi, considerata dal punto di vista molecolare, non soddisfa lo spirito, perchè in tanto lusso di teorie appoggiantisi tutte alle proprietà elastiche dei corpi resta in generale esclusa ogni indagine sulla natura fisica delle forze agenti fra le particelle e conseguentemente sul meccanismo per cui si esplicano le reazioni elastiche, non bastando a ciò i bastoncini materiali di Madelung, o la formale ipotesi di Einstein e dei suoi seguaci, di forze proporzionali alla variazione di distanza fra due punti senza alcun presupposto sul carattere dei legami.

A mio parere la parte essenziale della questione risiede appunto nelle cause da cui derivano siffatti legami: infatti se si trova un'espressione comoda per l'energia dei moti vibratorii, in quanto estendendo la teoria di Planck si arriva a leggi verificate dall'esperienza, non è men vero che alla energia interna dei solidi le forze di coesione portino un contributo non trascurabile. E per convincersene non vi è che da riferirsi ai risultati concordanti cui si giunge per l'ordine di grandezza delle pressioni superficiali

(1) V. loc. cit., pag. 307.

(2) Phys. Zeits., 14, pag. 867, 1913; 15, pag. 127, 1914.

(3) Phys. Zeits., 13, pag. 489, 1912.

dei liquidi, vale a dire di quelle pressioni che in contrasto col moto di agitazione termica determinano il volume proprio di una massa liquida. Si sa che si tratta di pressioni di migliaia di atmosfere, le quali danno luogo colla dilatazione termica ad un lavoro non piccolo; ed essendo noto che nel passaggio allo stato solido la coesione cresce notevolmente, anche tenendo conto della minore dilatazione non può certo ammettersi che nei solidi tutto il calore fornito per l'aumento di temperatura vada impiegato solo ad accrescere l'energia delle particelle vibranti, giusta quanto si ammette colle teorie che fanno capo a quelle di Einstein e di Debye. Nè può non rilevarsi che nelle teorie molecolari, quando da Madelung e da Einstein si ricorre ai reticoli spaziali per trovare le frequenze delle vibrazioni elastiche proprie delle singole sostanze, si parte dalla ipotesi che le cariche joniche abbiano effetto solo di provocare per opera del campo elettrico gli spostamenti degli atomi dalle normali posizioni di equilibrio, senza influire del resto sulle condizioni meccaniche del corpo in esame; laddove le forze dovute a tali cariche sono per la loro grandezza atte ad assumere parte essenziale nell'assetto di equilibrio, anche in assenza di forze esterne.

Ho ritenuto dunque opportuna un'indagine per valutare le forze ponderomotrici elettriche nei casi in cui il carattere di joni per gli atomi e la legge di distribuzione di questi possono essere supposti con qualche fondamento, e cioè nel caso semplice di cristalli del tipo del salgemma e della silvina, per i quali in base agli studi dei sigg. Bragg ⁽¹⁾ non vi è oggi alcun dubbio sulla esistenza di veri e propri reticoli spaziali cubici con atomi di metallo ed alogeno che si alternano lungo le direzioni dei tre assi, ed appare probabile la formazione dei cristalli dell'aggruppamento degli joni contenuti nelle rispettive soluzioni.

Ma prima di venire ad uno studio di tal genere credo necessario chiarire un punto che rappresenta l'ostacolo contro cui urtano le nuove teorie molecolari dei solidi. Accertata infatti colle esperienze di Debye ⁽²⁾ e per altre vie indirette la struttura pressochè rigida di un solido, e perciò la mancanza quasi completa di effetti propagantisi per urti, quale azione antagonista può opporsi alle forze attrattive fra gli atomi per modo che ne resti impedito il contatto, riuscendo nel tempo stesso possibile il trasmettersi delle perturbazioni elastiche o termiche? E la questione è tanto più grave in quanto che, pure ammesso un certo numero di elettroni liberi ai quali sarebbero affidati per urti gli uffici anzidetti, si avrebbe da parte di queste monadi, in specie nei coibenti, una tensione troppo piccola per equilibrare la grandissima pressione superficiale.

⁽¹⁾ *X Rays and Crystal Structure*, London, Bell and Sons, 1915; ved. anche Kaye, *X Rays*, London, Longmans, Green and Co, 1914.

⁽²⁾ *Verh. der Deut. Phys. Ges.*, XV Jahrg., n. 15, § 678.

A me sembra che si possa trovare una via di uscita ricorrendo alle più recenti teorie sulla costituzione dell'atomo, e precisamente al concetto introdotto da Rutherford (1) in seguito alle interessanti esperienze sulle deviazioni prodotte dagli atomi nel cammino delle particelle α e β in una massa gassosa. Ed invero, se l'atomo consiste in un nucleo attorno cui ruotano tanti elettroni quanto è il *numero atomico* dell'elemento (2), è naturale pensare che, pur collo stato neutro in rapporto alle azioni a distanza, non possa mancare per gli atomi vicinissimi una forza ripulsiva tanto grande da produrre l'immediato rimbalzo, a meno che per la velocità relativa con cui avviene l'incontro non si raggiungano i valori eccessivamente elevati delle particelle jonizzanti. Tolto questo caso, resterebbero dunque esclusi gli urti reali fra gli atomi, e analogamente dovrebbero procedere le cose per gli aggregati atomici costituenti le molecole; sicchè la forma sferica, risultante dalle applicazioni della teoria cinetica per tutte le molecole o per gli atomi isolati, deriverebbe da ciò che per legge di probabilità si mette forse in evidenza il valor medio della distanza a cui avviene il rimbalzo. Queste considerazioni si applicano senz'altro alle nomadi di un gas o di un liquido; epperò dal fatto che nei solidi la distanza fra le molecole ha d'ordinario lo stesso ordine di grandezza del loro diametro apparente si è spinti ad ammettere che l'assetto proprio dei solidi si stabilisca quando all'attrazione generale fra le particelle di tutta la massa si contrappongono con pari intensità gli effetti delle forze repulsive fra gli elettroni degli atomi in immediata vicinanza, con un processo statistico dal quale sono da aspettarsi risultati analoghi a quelli degli urti, avuto riguardo anche alla circostanza che le molecole o gli atomi isolati sono alla lor volta soggetti a moti vibratorii. Ed essendo questi processi in rapporto colla struttura interna dei singoli atomi, si comprende come, per sostanze affini, colle dimensioni del germe del cristallo si riveli l'individualità propria degli elementi che lo formano.

A siffatte condizioni di equilibrio non è facile dare una veste matematica; e d'altro canto non giova cercare negli sviluppi analitici i particolari di un edificio di cui non siano assodate le basi; è preferibile dunque indagare anzitutto come e fin dove sia possibile ottenere l'espressione delle forze che determinano la coesione del solido, trattandosi di grandezze che, sia pure in modo grossolano, sono accessibili al nostro esame nel caso dei cristalli semplici avanti indicati.

(1) Phil. Mag., 21, pag. 669, 1911.

(2) Per avere un'idea dei mezzi che permettono d'intravedere la probabile struttura dell'atomo si può consultare il lavoro altamente suggestivo di Bohr, *Sulla costituzione di atomi e molecole* (Phil. Mag., 26, pag. 1, 1913), e l'importante lavoro di Compton sulla *Intensità dei raggi X riflessi e distribuzione degli elettroni negli atomi* (Phys. Rev., gennaio 1917, pag. 29)

Ammissa la distribuzione degli atomi di metallo e alogeno colle corrispondenti cariche, quale si ha ad es. nel salgemma, la forza elettrica risultante per un atomo a sufficiente distanza della superficie è nulla per ragione di simmetria, mentre sulla carica associata ad un atomo dello strato superficiale agisce una risultante normale alla faccia del cubo, data quindi dalla somma di tutte le componenti normali delle forze che emanano dagli altri atomi e perciò espressa dalla formula

$$F = \frac{e^2}{a^2} \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{(-1)^{l^2+m^2+n^2} l}{(l^2 + m^2 + n^2)^{\frac{3}{2}}},$$

dove si denota con e la carica di un elettrone, con a la lunghezza dello spigolo di ciascuno dei cubi elementari del reticolo, e con l, m, n i fattori interi per cui bisogna moltiplicare a per avere, rispetto ai tre assi principali di simmetria, le coordinate dei punti con cariche alternativamente positive e negative. Nella formula si suppone inoltre che il primo di tali parametri corrisponda alla normale alla faccia dove è il punto in esame.

Non conoscendosi regole che permettano di trovare il valore esatto della serie, ho dovuto procedere ad un calcolo d'approssimazione non semplice giacchè, pure esistendo il carattere di convergenza, non è possibile arrestarsi a pochi termini nello sviluppo qualunque sia il criterio che voglia seguirsi per ottenere la somma. Io mi sono attenuto a quello che consiste nello sviluppo del primo sommatorio, adottando per i singoli strati a distanze $l = 1, 2, 3, \dots$ il metodo di raggruppamento delle particelle agenti per quadrati con centro nell'atomo che sta di fronte a quello dove si esercita la forza e con lati di lunghezze $2a, 4a, 6a, \dots$ sino al 40° perimetro; e basandomi sulla legge di variazione dei successivi valori approssimati di

$$\sum_{l=1}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \frac{(-1)^{l^2+m^2+n^2} l}{(l^2 + m^2 + n^2)^{\frac{3}{2}}}$$

ho potuto convincermi che coll'approssimazione di $\frac{1}{1.000.000}$ basta fermarsi al calcolo delle somme anzidette per $l = 1$ ed $l = 2$. Questo dico per incidenza, essendo sufficiente per il nostro grado di approssimazione arrestarsi alla terza cifra significativa coll'assumere il valore $-0,293$ ⁽¹⁾. Si avrebbe dunque:

$$F = -0,293 \frac{e^2}{a^2},$$

⁽¹⁾ Crede opportuno notare che 0,293 coincide quasi col valore dell'espressione $1 - \frac{\sqrt{2}}{2}$, e quindi potrebbe stare a rappresentare la grandezza $1 - \cos 45^\circ$, ossia il rapporto fra l'angolo visuale di 90° di apertura e l'angolo visuale piatto.

dove il segno — ci avvisa che la risultante è diretta verso l'interno, come era facile prevedere.

Alla forza F corrisponde una pressione data dalla formula

$$p = -0,293 \frac{e^2}{a^4},$$

perchè ogni atomo è nel centro di un quadrato di area a^2 formante parte della faccia del cristallo.

Vediamo ora di stabilire la condizione che permette di dedurre per via teorica dalle forze elettriche le reazioni elastiche; ed a tal fine riferiamoci al caso della compressibilità, per la quale la variazione si riduce a un decremento piccolissimo Δa del lato a di ciascuno dei cubi dei quali si può immaginare formato il cristallo.

Considereremo la pressione esterna che desta l'elasticità di volume quale variazione piccolissima di p , e perciò tale da soddisfare alla relazione

$$\Delta p = 4 \times 0,293 \frac{e^2}{a^5} \Delta a = -4p\lambda,$$

se con λ denotiamo la dilatazione lineare uniforme del corpo in esame; e siccome la dilatazione cubica 3λ è legata al modulo di compressibilità K

dell'uguaglianza $K = \frac{\Delta p}{3\lambda}$, dovrebbe risultare

$$(1) \quad K = \frac{4}{3} \times 0,293 \frac{e^2}{a^4}$$

qualora il nostro modo di vedere fosse esatto.

Il confronto coi risultati dell'esperienza non offre difficoltà di sorta: infatti per un sale aloide di massa molecolare m e di densità ρ il volume del cubo elementare si ha dalla formula

$$a^3 = \frac{1,64 \times 10^{-24} m}{2\rho}$$

qualora alla massa effettiva di un atomo d'idrogeno si assegni il valore $1,64 \times 10^{-24}$, onde si ottiene:

$$\text{per il salgemma} \quad a = 2,82 \times 10^{-8} \text{ c. m.},$$

$$\text{per la silvina} \quad a = 3,14 \times 10^{-8} \text{ c. m.}.$$

Sostituendo tali valori nella (1), e ponendo $e = 1,77 \times 10^{-10}$, si ricava:

$$\text{per il salgemma} \quad K = 1,42 \times 10^{11} \text{ invece del valore oss. } 2,38 \times 10^{11},$$

$$\text{per la silvina} \quad K = 0,919 \times 10^{11} \text{ invece del valore oss. } 1,60 \times 10^{11}.$$

Senza dubbio non esiste in entrambi i casi un buon accordo; ma per quanto si riferisce all'ordine di grandezza può dirsi che il risultato presenta interesse, specialmente quando si consideri che i rapporti fra i valori osservati e calcolati riescono quasi coincidenti, essendo 1,68 quello per il salgemma e 1,74 l'altro; per cui sorge l'idea che possano sparire le divergenze tenendo conto di qualche fattore non preso in esame nel precedente studio. E veramente le forze stesse che agiscono nel primo strato nel senso di avvicinarlo al secondo, la natura complessa dell'atomo, gli effetti medi dei moti da cui sono animati le sue parti, e la vibrazione di tutto l'atomo possono influire in modo non indifferente sulla grandezza della forza di attrazione che risulta dalle cariche libere degli atomi (1).

Partendo dal valore della pressione superficiale importerà anche vedere quale sia il lavoro delle forze interne per effetto della dilatazione termica, allo scopo di stabilire un confronto colla quantità di energia necessaria ad aumentare la temperatura del corpo.

È facile dimostrare che la somma dei lavori per gli spostamenti relativi delle singole particelle è eguale a quello che si compie colla dilatazione termica per vincere la pressione superficiale p ; quindi per ogni unità di volume e per un grado viene espressa da $p\alpha$, mentre la corrispondente variazione di energia termica è data dal prodotto del calore specifico C , a pressione costante, per la densità ρ ; sicchè assumendo

per il salgemma, $C = 0,215$; $\rho = 2,15$, $\alpha = 0,000121$,

per la silvina, $C = 0,171$ (2), $\rho = 1,97$, $\alpha = 0,000114$,

e ponendo $p = 0,293 \frac{e^2}{a^4}$, si ottiene:

$$\frac{L}{V} = p\alpha = 6,01 \times 10^6 \text{ , } EC\rho = 9,00 \times 10^6 \text{ per il salgemma,}$$

$$\frac{L}{V} = p\alpha = 3,95 \times 10^6 \text{ , } EC\rho = 7,16 \times 10^6 \text{ per la silvina.}$$

Anche qui abbiamo risultati da cui si desume che i valori ottenuti col nostro procedimento, inferiori entrambi a quelli sperimentali, non se ne

(1) Se l'effetto derivante dalle dette influenze può essere rappresentato da un rapporto indipendente, o quasi, dalla particolare natura degli atomi del cristallo, e tale da condurre ad un buon accordo coll'esperienza, al posto del coefficiente 0,293 dovrebbe aversi 0,500.

(2) Questo valore fu ricavato applicando la regola di Koop-Neumann sul calore molecolare dei composti affini ed in base al valore dato dall'esperienza per il salgemma, essendo le ricerche di Nernst sul calore specifico del cloruro di potassio cristallizzato troppo grossolane perchè diano un qualche affidamento.

discostano molto; e ad ogni modo si può asserire che il lavoro di espansione non sarebbe affatto trascurabile secondo il nostro computo.

Per altro lo stesso Einstein nella sua Nota avente per titolo *La teoria di Planck sull'irraggiamento ed i calori specifici* (¹) non si nascondeva l'insufficienza della sua ipotesi, sulla natura esclusivamente vibratoria dell'energia interna, quando diceva: *vi sono ragioni per cui la teoria non può applicarsi a rigore: il lavoro di dilatazione non è compreso nella espressione di C_v , i buoni conduttori contengono elettroni liberi e a questi compete un contributo di energia, ai moti termici disordinati spettano frequenze che non sono quelle che si determinano coi metodi ottici, e finalmente l'ipotesi fatta di frequenze indipendenti dall'ampiezza non è legittima.*

Evidentemente sono tutte considerazioni giuste; ma dal fatto che l'A. e i suoi seguaci si contentano dell'accordo fra la teoria dei *quanti* adattata al calcolo dei calori specifici ed i risultati dell'esperienza si argomenta che, colpiti dall'apparente successo, non abbiamo voluto valutare l'entità dei contributi relativi ai fattori anzidetti, affidandosi in modo completo a quei teorici gradi di libertà che già nel caso dei gas a molecola biatomica lasciano alquanto a desiderare.

Con questi rilievi non si combatte il concetto informatore della teoria di Planck, la quale del resto, anche mantenendo il carattere formale per cui risponde ai fenomeni in rapporto coll'emissione, cede man mano il posto ad un ordine d'idee aventi base nel meccanismo di emissione delle particelle materiali; ma si ha di mira soltanto un'interpretazione fisica dei fatti che dia modo di accertare fin dove possa avvertirsi l'influenza delle immancabili forze di coesione fra le molecole dei solidi. La nostra indagine ci ha condotto ad una naturale ipotesi sull'origine elettrica della coesione e delle conseguenti reazioni elastiche, senza trascurare le condizioni dinamiche degli atomici sistemi di corpuscoli elettrizzati in quanto si è ammesso l'intervento essenziale di forze repulsive fra gli elettroni di due atomi nella fase di massimo avvicinamento, ossia con un meccanismo paragonabile ad un urto, onde non è escluso che al lavoro elastico di dilatazione termica si accompagni un aumento di energia dei moti vibratorî atomici in rapporto pressochè costante con quel lavoro. E se le cose stessero in tal modo si renderebbe probabile per tutta quanta l'energia termica di un solido una *legge di variazione* quale risulta coll'estendere la teoria dei *quanti* ai moti vibratorî degli atomi, onde resterebbe ancora aperto l'adito alla legittimità della teoria di Einstein prescindendo dal significato di una costante, e cioè dall'applicabilità di quella legge di *equipartizione* fra i gradi di libertà della molecola che non fu riconosciuta legittima da W. Thomson e da altri insigni fisici.

(¹) Ann. der Phys. 22, pag. 188.

Non nego che possa apparire troppo ristretto il campo cui si riferiscono le attuali indagini, essendosi avuti di mira quasi esclusivamente cristalli di un tipo assai semplice per il giuoco delle forze elettriche. Potrei notare che quasi tutti gli studi recenti sulla teoria molecolare dell'elasticità, come parecchi di quelli sui calori specifici, sono svolti nella stessa cerchia limitata, e che del resto per cristalli di struttura più complessa dovrebbero valere considerazioni analoghe; ma non si sfugge con ciò alla naturale domanda circa l'ipotesi che dovrebbe farsi sulla coesione degli elementi allo stato solido. Certo non è qui il caso di parlare di effetto dovuto alle cariche generantisi per gli elettroni che si rendono liberi, sia perchè questi anche nei metalli sono in quantità esigua rispetto al numero di atomi, sia perchè i corpuscoli col loro libero moto rivelano effetti di plasticità in contrasto colla rigidità caratteristica dei solidi; nè possono ammettersi oggi semplici forze attrattive emananti dalla materia, in quanto che permane sempre la necessità di uno stato di equilibrio fra le azioni costanti aventi ufficio di legami e gl'impulsi di carattere repulsivo; e ciò importa che non possono esistere condizioni essenzialmente diverse quando dai corpi composti si passi ai semplici; ragione per cui si è indotti ad estendere alla struttura complessiva di un corpo semplice la stessa ipotesi messa avanti dal Bohr⁽¹⁾ per rendere ragione del vincolo fra gli atomi di una molecola gassosa. Secondo il concetto di questo fisico si suppone, per l'idrogeno ad es., che coll'avvicinarsi di due nuclei coi rispettivi elettroni satelliti le orbite di questi si distacchino dai primitivi centri dando luogo in ultimo a due elettroni in unico giro nel piano di simmetria rispetto alla congiungente le parti positive dei due atomi. E se in tal guisa trovasi un legame elettrico plausibile fra due atomi in apparenza neutri, non sembrerà strano concepire che lo stato di equilibrio dell'argento o del diamante derivi dal concatenamento analogo di tutti gli atomi che formano il cristallo, con quelle configurazioni che rispondano alla particolare natura dei sistemi di corpuscoli in presenza; sicchè l'edificio cristallino, il quale sta a rappresentare la struttura tipica di un solido, avrebbe nel suo grande complesso molecolare le condizioni armoniche di assetto fra l'energia della parte viva degli atomi e quella di forma potenziale inerente alle forze fra le cariche elettriche.

(1) Phil. Mag., 26, pag. 1, 1913.