

ATTI
DELLA
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI
ANNO CCXCVI.

1899

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME VIII.

1° SEMESTRE



ROMA
TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVIUCCI

1899

Fisica. — *Sui raggi catodici, sui raggi Röntgen e sulle dimensioni e la densità degli atomi* (1). Nota II di G. GUGLIELMO, presentata dal Socio BLASERNA.

AmMESSO che i raggi catodici siano costituiti da particelle esilissime dotate di grandissima velocità, il fatto che esse possono attraversare un corpo solido, liquido o gassoso di conveniente spessore senza essere deviate e senza diminuire di velocità, fornisce la prova più diretta della costituzione atomica della materia e dà un modo diretto e semplice (come dimostrai nella Nota precedente) per determinare, se non la vera grandezza degli atomi, almeno un limite superiore di questa grandezza, molto più approssimato che non cogli altri metodi.

Un modo un po' diverso e più semplice di quello esposto in essa Nota, per ottenere la relazione fra l'assorbimento d'un corpo per i raggi catodici e la somma delle sezioni di tutte le molecole assorbenti, è il seguente.

Un fascio di raggi catodici, semplici, paralleli ed uniformemente distribuiti cada perpendicolarmente ad uno strato piano di spessore d d'una sostanza p. es. gassosa. Sia Q la quantità di questi raggi per cm^2 e per minuto secondo all'entrata nello strato, e sia Q' la quantità di essi per cm^2 e per 1" emergenti dallo strato senza aver subito deviazione da parte delle molecole della sostanza; sia inoltre n^3 il numero di queste molecole per cm^3 , e supponiamo lo strato diviso in n strati elementari uguali paralleli alle sue facce; ciascuno di questi conterrà n^2 molecole per cm^2 . Se per ciascuna molecola è σ l'area, presa perpendicolarmente ai raggi catodici, che non può essere attraversata da questi senza che essi vengano deviati o fermati, quest'area per ogni strato elementare sarà $n^2\sigma$ per cm^2 , ed il numero di raggi catodici che saranno deviati o fermati nell'attraversare il 1° strato elementare sarà $Qn^2\sigma$, mentre il numero di quelli che potranno passare liberamente sarà $Q(1 - n^2\sigma)$ per cm^2 . Similmente il numero di essi che potranno attraversare liberamente il 2°, il 3°, ecc. strato elementare, sarà rispettivamente, $Q(1 - n^2\sigma)^2$, $Q(1 - n^2\sigma)^3$ ecc.; ed il numero di quelli che potranno attraversare liberamente tutto lo strato di spessore d , sarà per cm^2 :

$$Q' = Q(1 - n^2\sigma)^{nd}$$

Questa relazione non differisce essenzialmente da quella trovata nella Nota precedente; difatti essa può scriversi: $Q' = Qe^{nd \cdot \log_{\text{ep}}(1 - n^2\sigma)}$, e siccome

(1) Lavoro eseguito nel Gabinetto fisico della R. Università di Cagliari.

$n^2\sigma$ è una quantità piccolissima, invece di $\log(1 - n^2\sigma)$ si può prendere $-n^2\sigma$ e quindi si ha:

$$Q' = Qe^{-dn^3\sigma} \quad \text{oppure} \quad Q' = Qe^{-sd}$$

indicando con S la somma delle sezioni di tutte le molecole che è $n^3\sigma$ per cm^3 e prendendo come sezione d'una molecola il valore di σ quale fu definito.

Siccome d'altra parte $n^3d \cdot 1 \text{ cm}^3$ è il numero delle molecole per cm^2 dello strato che si considera, e questo numero è uguale al quoziente del peso P di esso strato per cm^2 , per il peso assoluto $p\varepsilon$ d'una molecola (chiamando ε il peso assoluto d'un atomo d'idrogeno, che secondo la teoria dei gas è circa 10^{-24} gr.) si avrà:

$$Q' = Qe^{-\frac{P}{p\varepsilon}\sigma}$$

L'area σ per un gas, per un liquido o per un solido amorfo deve necessariamente ritenersi (almeno in media) come costituita da uno o più cerchi a seconda che la molecola è composta di uno o più nuclei o atomi che impediscono il libero passaggio dei raggi catodici, poichè non v'è ragione perchè in un corpo amorfo queste aree si estendano piuttosto in una direzione che in un'altra, e se ν è il numero di questi nuclei o atomi, sarà $\sigma = \nu\pi\rho^2$ essendo ρ il raggio delle singole aree che impediscono il libero passaggio dei raggi catodici. ρ rappresenterebbe il raggio d'azione sensibile degli atomi rispetto ai raggi catodici qualora le particelle che questi ultimi costituiscono avessero dimensioni nulle; se però il raggio di queste particelle è ρ_1 , e ρ_2 quello dell'azione sensibile degli atomi, sarà:

$$\sigma = \nu\pi(\rho_1 + \rho_2)^2$$

e quindi

$$Q' = Qe^{-\frac{P}{p\varepsilon}\nu\pi(\rho_1 + \rho_2)^2}$$

Come già osservai nella Nota precedente, Lenard trovò coll'esperienza che il valore di $Q':Q$ per una data qualità di raggi catodici (e quindi per un determinato valore di ρ_1) e per un valore qualsiasi ma determinato del peso per cm^2 dello strato assorbente è costante, indipendente quindi dalla natura e dal peso molecolare della sostanza.

Perchè ciò sia è necessario: 1° che ν sia uguale o multiplo costante di p , ossia che una molecola sia composta di un numero di nuclei o atomi isolati e distanti (affinchè le singole aree non si sovrappongono) uguale o multiplo costante del peso molecolare; 2° che questi nuclei o atomi, che hanno quindi anche in corpi diversi lo stesso peso, abbiano anche la stessa sezione in tutte le direzioni, e siano quindi probabilmente identici in tutti i

corpi. Nella Nota più volte citata trovai anche che $\frac{1}{2}(e_1 + e_2)$ è all'incirca uguale a 10^{-11} e che la densità di questi atomi sarebbe di 80000 Kgr. per cm^3 , ammesso che i raggi catodici non attraversino la parte dell'atomo soggetta alla gravità.

Per l'idrogeno Lenard trovò un assorbimento doppio di quello degli altri corpi a pari densità superficiale; si potrebbe credere che questa differenza che presenta il solo idrogeno che ha la massima velocità molecolare, sia dovuta appunto a questa; ma a tal uopo sarebbe necessario ammettere che la velocità dei raggi catodici fosse circa 10^5 cm. per secondo, ciò che non pare ammissibile. Sebbene non paia che J. J. Thomson nel calcolo di questa velocità abbia tenuto conto del calore che le particelle dei raggi catodici nell'urto contro un solido, generano per l'abbassamento di potenziale che esse subiscono, non pare che questa causa d'errore, dato che sia reale e sensibile, possa giustificare l'accennata velocità.

Aumentando la rarefazione e quindi la differenza di potenziale alla quale sono prodotti i raggi catodici, aumenta per uno stesso strato assorbente il valore di $Q' : Q$, sia perchè diminuisca il valore di e_1 , sia perchè diminuisca quello di e_2 a causa dell'aumentata velocità dei raggi catodici. Usando un fascio composto di varie specie di raggi catodici e misurando i valori totali di Q e Q' s'avranno per σ valori compresi fra i valori estremi e quindi ammissibili. D'altronde è da notare che nel modo d'operare di Lenard, che determinava la distanza a cui cessava d'esser visibile la luminescenza prodotta dai raggi catodici, questi erano semplici, poichè erano già stati assorbiti quelli più facilmente assorbibili. Così pure col metodo usato dal Röntgen per paragonare il potere assorbente di varie sostanze, riducendo cioè lo spessore di esse, in modo che tutte producessero lo stesso assorbimento, nessun errore notevole può derivare dalla complessità dei raggi, a meno di ammettere un assorbimento specifico che almeno nei raggi catodici non pare che si verifichi.

Il determinare i valori di σ corrispondenti a raggi catodici di diverse e note velocità, come pure il determinare la proporzione dei raggi catodici d'una stessa velocità nota che vengono deviati di angoli determinati, può dare un'idea del modo come varia l'intensità del campo d'azione dell'atomo a varie distanze dal suo centro (1).

(1) Spesso si considerano gli atomi come corpiccioli a contorni definiti, durissimi, elastici ecc.; tale ipotesi però non ha niente che la giustifichi, poichè non è verosimile e neppure utile. Difatti essa non giova a spiegare l'azione a distanza degli atomi che deve essere intensissima, perchè obbliga le molecole urtanti a cambiar direzione in un tempo e in uno spazio piccolissimi e perchè produce nelle combinazioni le vibrazioni termiche o luminose che sono certamente rapidissime. L'ammettere poi che queste forze si sviluppino (come nell'urto dei corpi) al contatto dei due atomi, introduce la necessità di indagare la struttura dell'atomo tale da sviluppare tali forze, e conduce quindi ad

L'applicazione dalla formula precedente all'assorbimento dei raggi catodici nei gas non mi pare che possa dar luogo ad obiezioni; e difatti sin da quando Crookes emise la sua teoria della materia radiante, si fece un calcolo analogo nel caso molto più complicato che le particelle dei raggi catodici avessero la velocità e le dimensioni delle molecole quali risultano dalla teoria cinetica dei gas. Il fatto che l'assorbimento dei gas, quale risulta dalle esperienze di Lenard, conduce a valori della grandezza delle molecole molto più piccoli di quelli che risultano dalla teoria dei gas, si spiega colla grandissima velocità e colle minori dimensioni delle particelle dei raggi catodici rispetto a quella delle molecole, ma specialmente con ciò che i raggi catodici penetrano nell'interno delle molecole passando fra atomo e atomo.

L'uguaglianza dei valori che s'ottengono per il raggio d'azione degli atomi applicando la formula suddetta all'assorbimento prodotto dai gas ed a quello prodotto dai vari solidi, molto diversi per densità e per peso atomico, studiati dal Lenard, è già una prova che quest'ultima applicazione non è erronea; tuttavia essa può dar luogo a varie obiezioni.

Stokes (1) trovando difficile poter ammettere che particelle materiali possano penetrare nell'interno d'un solido compatto (ciò che risulta necessariamente se si ammettono i valori di σ che s'ottengono pei gas dalle esperienze di Lenard) suppone che i raggi Lenard come i raggi Röntgen possano esser dovuti a perturbazioni dell'etere causate dal subito fermarsi delle particelle cariche di elettricità negativa urtanti contro il solido. Egli suppone altresì che i raggi Lenard possano essere raggi catodici emessi dalla faccia posteriore della foglia d'alluminio, quando la faccia anteriore è percossa dai raggi catodici portanti elettricità negativa.

Goldstein (2) ha osservato che i raggi catodici K_2 urtando le molecole gassose danno origine ai raggi K_3 di natura simile ai raggi K_2 ma diffusi in tutte le direzioni, e nell'urtare le molecole d'un solido danno origine ai raggi K_d pure simili ai raggi K_2 e diffusi in tutte le direzioni; egli non può asserire che i raggi K_2 e i raggi K_3 e K_d siano identici, anzi osserva alcune lievi differenze di colore nelle luminescenze da essi prodotte. Inoltre il Goldstein

un problema insolubile, mentre il considerare l'atomo come un centro di forza lascia sperare che determinandone il campo si possa trovarne la causa. Nella vibrazione luminosa d'un atomo, per uno spostamento di esso dalla posizione d'equilibrio di una lunghezza uguale al raggio dell'atomo di idrogeno (10^{-11}) si manifesta un'accelerazione ($a = 4\pi^2 r : T^2$) uguale circa a $1,5 \cdot 10^{20}$ cm. per $1''$.

(1) Mem. and Proc. of the Manchester liter. phil. Society, 1897. Science Abstracts, I, pag. 476. Nature 58, pag. 445.

(2) Wied. Ann. 67, pag. 84. Goldstein distingue tre strati nelle luminosità presso il catodo; uno strato color giallo (K_1 , Kanalstrahlen) che si sviluppa dietro il catodo se questo è forato, uno strato formato di raggi azzurri poco luminosi K_2 , ed uno strato di raggi azzurri più luminosi K_3 partenti da tutti i punti delle traiettorie dei raggi catodici.

osserva che i raggi catodici K_2 non attraversano una foglia metallica conservando la loro direzione, ma vi si trasformano in raggi K_a diffusi in tutte le direzioni; difatti la luminescenza prodotta dai raggi catodici attraverso una foglia metallica, è più intensa e limitata all'estensione di essa se la foglia è aderente al vetro, ma diventa più estesa e meno intensa a misura che la foglia s'allontana dal vetro. Qualora i raggi Lenard fossero raggi K_a e non raggi K_2 , mancherebbe la base principale al calcolo su esposto.

L'ipotesi che i raggi Lenard siano perturbazioni dell'etere è contraddetta dalle esperienze dello stesso Lenard, che dimostrò che i raggi suddetti hanno tutte le proprietà dei raggi catodici ed in ispecie quella di essere deviati in vari gas ed a varie pressioni per effetto d'un campo magnetico. L'altra ipotesi, cioè che i raggi Lenard siano raggi catodici emessi dalla faccia esterna della foglia d'alluminio, è contraddetta dal fatto che essi si producono nell'aria atmosferica alla pressione ordinaria, nel vuoto più perfetto, ed anche quando la foglia d'alluminio comunica coll'anodo, tutte condizioni che s'oppongono alla produzione dei raggi catodici (1).

Riguardo alla possibilità che i raggi K_3 , K_a e K_2 non siano identici, osservo anzitutto che ciò è senza influenza nell'applicazione della formula dell'assorbimento ai gas. Goldstein (Wied. Ann. 51, pag. 622) ha osservato pel primo che i raggi K_2 attraversano tutto lo spazio dei raggi K_3 e sono osservabili anche nei gas a pressione relativamente grande come nei tubi di Geissler, purchè si guardi attraverso un vetro azzurro che attenua la luce un po' rossiccia dei raggi K_3 . I raggi diretti K_2 ai quali solamente può applicarsi la formula suddetta si distinguono inoltre dai raggi K_3 per la proprietà di produrre una viva luminescenza nel vetro.

Per cercare di risolvere il dubbio che i raggi catodici diretti K_2 ed i raggi riflessi K_a siano di diversa natura, ho fatto riflettere i raggi catodici K_2 ed ho osservato se i raggi riflessi venivano deviati per azione d'un campo magnetico. A tale scopo usai un tubo a T, di vetro, nel quale avevo introdotto da un lato un elettrodo d'alluminio piano e perpendicolare all'asse del tubo, e dall'altro lato un elettrodo d'alluminio pure piano ma inclinato di 45° sull'asse. Il primo elettrodo che serviva da catodo si trovava a circa 1 cm. di distanza dall'intersezione col tubo verticale, l'altro elettrodo si trovava sull'intersezione stessa in modo da riflettere verso il tubo verticale i raggi provenienti dal catodo. La chiusura delle estremità laterali del tubo era fatta mediante tappi di sovero ricoperti internamente da uno spesso strato di mastice (colofonia con poca paraffina). Finalmente la sommità del tubo verticale presso l'intersezione era riempita da un cilindro di ebanite lungo 2 cm., nel quale avevo praticato un foro secondo l'asse di 2 mm. di diametro.

(1) Willy Wien, Wied. Ann. 65, pag. 440.

Collocato il tubo sulla pompa e fatto il vuoto, facendo passare la scarica nel tubo, i raggi cadendo sull'anodo inclinato a 45° vi si riflettevano in tutte le direzioni, ed un fascio passando lungo il tubo d'ebanite suddetto penetrava nel tubo verticale rendendo debolmente luminescente la parte inferiore di esso. Collocata un'elettro-calamita a ferro di cavallo presso questo tubo, a varie distanze dal tubo orizzontale coi poli che ora abbracciavano il tubo ora si adattavano longitudinalmente su di esso, facendo passare la corrente d'una Bunsen modello medio per l'elettrocalamita, i raggi catodici vennero deviati di circa 45° , come indicava la macchia fosforescente del tubo. La stessa deviazione osservai allorchè l'anodo era in comunicazione col suolo.

La deviazione osservata non poteva esser attribuita ad uno spostamento dei raggi catodici primari, ossia del punto ove essi incontravano la lamina riflettente, perchè il cilindro d'ebanite non permetteva il passaggio di raggi molto inclinati sull'asse; inoltre la deviazione dei raggi riflessi si produceva in direzione contraria a quella che sarebbe stata dovuta allo spostamento dei raggi catodici primari.

La deviazione osservata era quella corrispondente alla carica di elettricità negativa dei raggi, e rimane così provato che anche i raggi riflessi hanno una tale carica, non possono essere prodotti dall'anodo e per il modo di comportarsi in un campo magnetico non differiscono essenzialmente dai raggi diretti. Appare quindi probabile che i raggi riflessi siano dovuti a particelle dei raggi incidenti penetrati nell'interno del corpo riflettente sino ad una profondità più o meno piccola, e deviati per azione degli atomi del corpo senza venire a contatto con essi e quindi senza ceder loro la carica di elettricità negativa.

Finalmente riguardo alla possibilità che i raggi Lenard siano composti unicamente di raggi diffusi (sebbene della stessa natura) e quindi deviati, è da notare che ammettendo i valori di σ trovati per i gas, e che non pare possano lasciar luogo a dubbio, ne risulta che nel caso d'un solido una proporzione piccola ma tuttavia apprezzabile può attraversare uno strato sufficientemente sottile di un solido. Che anche l'aria a pressione ordinaria si comporti come un mezzo torbido e quindi diffonda tutto all'intorno dei raggi, è già stato osservato dal Lenard e quindi tanto più dovrà comportarsi come un mezzo torbido un solido in cui le molecole sono notevolmente più ravvicinate, ma ciò non esclude che esso possa lasciar passare una piccola porzione di raggi non deviati che è facile distinguere dai raggi diffusi.

Il fatto che le particelle dei raggi catodici possiedono una carica elettrica grandissima rispettivamente alla loro massa, rende verosimile che in virtù di essa risentano da parte degli atomi un'azione attrattiva o ripulsiva a seconda della carica che questi, come si ammette generalmente, possiedono, e che quindi queste particelle, come osservai nella Nota precedente, risentano

l'azione degli atomi ad una distanza maggiore di ciò che avverrebbe se essi fossero privi di tale carica. Qualora si ammettesse, come si vuole da alcuni fisici, che i raggi Röntgen siano appunto costituiti da particelle esilissime dotate di grandissima velocità ma prive di carica elettrica, e precisamente siano costituiti dalle particelle dei raggi catodici che urtando contro un solido gli abbiano ceduto la loro carica e siano stati deviati in tutte le direzioni ⁽¹⁾, questi raggi parrebbero più propri alla determinazione della grandezza degli atomi mediante la formola su esposta, e fornirebbero un valore di essa (o della parte impermeabile di essa) più prossimo al vero.

Tuttavia non pare che all'assorbimento dei raggi Röntgen, pel quale non fu possibile trovare una legge neppure nel caso di vari spessori d'uno stesso corpo, si possa applicare semplicemente l'ipotesi di particelle che passano negli interstizi fra gli atomi. Dato anche che i raggi Röntgen fossero costituiti da particelle materiali e non da perturbazioni dell'etere, il fenomeno dell'assorbimento dovrebbe essere complesso e non calcolabile (eccetto forse qualche caso come p. es. quello dei gas) nel modo indicato.

Riesce difatti inconciliabile colla suddetta ipotesi, che una lamina di platino ed una lamina d'alluminio a parità di peso per cm^2 presentino un così diverso assorbimento pei raggi Röntgen, e più generalmente riesca inesplicabile l'influenza del peso atomico. Se supponiamo ciascun atomo di alluminio e di platino diviso in tante parti quante sono le unità nei pesi atomici rispettivi e supponiamo, ciò che pare molto probabile, che queste parti avendo masse uguali esercitino, se prese isolatamente, azioni uguali, ne risulta che se queste parti fossero isolate e distanti, le due lamine avendo uguali pesi per cm^2 e quindi un ugual numero di queste parti per cm^2 , dovrebbero aver la stessa opacità pei raggi Röntgen. Se invece le stesse parti in ogni atomo fossero vicine o raggruppate, la sezione degli atomi e quindi l'opacità della lamina, dovrebbe esser minore per il platino che non per l'alluminio.

Tuttavia non è possibile disconoscere alcune analogie che passano fra le proprietà dei raggi Röntgen e quelle dei raggi catodici. Oltre all'assenza di polarizzazione e di interferenze comune ad entrambi, si ha che per entrambi l'assorbibilità cresce al decrescere del potenziale al quale furono prodotti, ed è da notare che la differenza d'assorbibilità, grandissima pei

(1) Walther, Wied. Ann. 66, pag. 74. È però da notare come risulti dall'esperienza sopradescritta che i raggi catodici anche riflettendosi sull'anodo conduttore e carico di elettricità positiva, conservano la loro carica, come pure la conservano quando attraversano la foglia d'alluminio pure conduttrice e carica di elettricità positiva. Quindi i raggi Röntgen non potrebbero esser costituiti nè dalle particelle riflesse, nè da quelle che attraversano il corpo, e neppure dalle particelle che urtano più direttamente contro gli atomi a cui cedono la propria carica elettrica, perchè queste dovrebbero perdere in massima parte la loro velocità che, come è noto, si trasforma in calore.

raggi Röntgen e pei raggi Lenard ordinari, diventa molto minore qualora si considerino raggi Röntgen prodotti a piccola differenza di potenziale.

Questa specie di raggi Röntgen non appare nei soliti tubi che invece hanno per iscopo di produrre raggi quanto più è possibile penetranti, e che inoltre hanno una parete spessa sufficiente per assorbire completamente questa specie di raggi qualora essa si producesse. In vari tentativi per ottenere raggi Lenard attraverso foglie d'alluminio e di magnesio preparate da me e perciò non di rado troppo spesse (1 a 2 mgr. per cm^2), ottenni oltre ai raggi Lenard deboli, una notevole quantità di raggi Röntgen. Questi, a differenza di ciò che avviene nei soliti tubi, cominciavano ad apparire quando la resistenza del tubo era equivalente a $\frac{1}{2}$ mm. d'aria atmosferica fra fili di 2 mm. di spessore. Essi poi erano pochissimo penetranti, tanto che due fogli di carta spessa, oppure 8 fogli sovrapposti di carta da filtro pesanti insieme 50 mgr. per cm^2 , producevano nello schermo fluorescente pei raggi Röntgen un'ombra abbastanza intensa, mentre è noto che anche spessi libri sono facilmente traversati dai raggi Röntgen ordinari.

L'assorbimento che subiscono questi raggi in vari corpi e l'assorbimento dei raggi Lenard con tubi nei quali la foglia d'alluminio è sostenuta da una reticella sono oggetto di ulteriore studio.

APPENDICE. *Sull'assorbimento dei raggi luminosi e sulle dimensioni degli atomi.* Credo che forse la relazione fra le dimensioni, il numero degli atomi e l'assorbimento che essi producono, si possa applicare all'assorbimento dei raggi luminosi nel caso p. es. dell'argento che riflettendo la quasi totalità dei raggi incidenti deve essere composto di atomi o gruppi d'atomi opachi, ma che pochissimo assorbono la luce.

Ho determinato col fotometro Bunsen e col metodo usato dal Lenard pei raggi catodici, con luce ordinaria e con luce del sodio la proporzione di luce che può attraversare una pellicola d'argento deposta sul vetro col metodo Böttger. Queste pellicole, sebbene speculari su entrambe le facce, presentavano rari forellini, strie, variegature, e quindi l'argento non s'era deposto uniformemente; tuttavia al microscopio con un ingrandimento di 1500 apparivano continue, ad eccezione dei vari forellini. La proporzione di luce trasmessa risultò circa di 1:100 per pellicole pesanti in media 0,15 mgr. per cm^2 . L'assorbimento è quindi maggiore di quello che la stessa pellicola avrebbe prodotto nei raggi catodici, ed il raggio dell'atomo risulta dieci volte maggiore. Tale differenza, che potrà aumentare quando si eliminino le varie cause d'errore, non è grande se si considera l'assoluta diversità nella definizione della quantità che si vuol misurare e nel modo di misura.

Farò esperienze possibilmente con altri metalli, e cercherò di estendere la relazione suddetta al caso della luce riflessa da lamine trasparenti sottilissime.