SUL LUOGO DI EMANAZIONE DEI RAGGI RÖNTGEN NEI TUBI A VUOTO.

Ricerche di A. BATTELLI.

1). Dell' argomento si sono già occupati il De Heen ¹⁾ e il prof. Roiti ²⁾; le mie esperienze fatte con due metodi diversi portano un nuovo contributo nella questione ³⁾.

1°. *Metodo.* — Qualunque sia la causa dei raggi Röntgen, è sempre ammissibile che l' azione da essi esercitata sia in ragione inversa del quadrato della distanza dal punto della loro emanazione; quindi portando un tubo di Crookes davanti ad un corpo elettrizzato e misurando la dispersione che vi esercita in posizioni ad esso più o meno vicine, si potrà dedurre qual' è la regione del tubo da cui parte la radiazione.

Ecco in qual modo ho disposto le esperienze.

Un disco di zinco del diametro di circa 15 centimetri, ben isolato dal suolo, è messo in comunicazione con un elettrometro Mascart, il cui ago devia di 26 divisioni della scala per 1 volt. Il disco e l' elettrometro con tutti i suoi accessori sono circondati da una grande e spessa lastra di piombo (1,50 m. di altezza, e m. 2,50 di lunghezza), posta in comunicazione col suolo.

Il disco metallico trovasi parallelo e vicinissimo alla lastra, la quale in corrispondenza del disco stesso porta una finestra quadrata di 10 cm. di lato. Questa finestra può venir chiusa a volontà con una lamina d' alluminio, o con una *reticella d' ottone* coperta di carta nera.

Davanti alla finestra medesima, dalla parte opposta del

1) Comp. Rend. de l' Acad. Tom. CXXII, p. 383 (Febr. 1896).

2) V. in questo medesimo fascicolo.

3) Durante la correzione delle bozze della presente Nota è uscita nel fasc. 23 marzo del Compt. Rend. una pubblicazione del sig. Perrin, in cui riferisce alcune esperienze fatte col dispositivo della camera oscura, le quali lo portano a concludere che nei punti dove una materia qualunque arresta i raggi catodici, si sviluppano i raggi di Röntgen. È apparsa inoltre nello stesso fascicolo una notizia di Galitzine e De Karnojitzky i quali, senza indicare il metodo seguito, confermano la conclusione di Heen, che cioè il centro di emissione dei raggi X sia l' anodo.

disco, è collocato un tubo di Crookes, a forma cilindrica o a forma di pera, con una delle sue estremità rivolta al disco.

Si verifica anzi tutto che l'elettrometro rimane assolutamente fermo, allorchè, essendo il tubo in azione, la finestra è chiusa con una grossa lamina di piombo.

Per fare l'esperienza si pone dapprima in relazione col disco il polo negativo di una pila composta di 6 accumulatori Tudor, di cui l'altro polo è congiunto alla terra: si ottiene nell'ago del galvanometro una deviazione di circa 300 divisioni della scala. Poscia si interrompe la comunicazione fra il disco e la pila, e si valuta per mezzo di un buon contasecondi ad arresto, quanto tempo impiega l'ago per retrocedere di 200 divisioni verso la posizione di riposo.

Ciò fatto, si ricarica il disco e poi si mette in azione il tubo di Crookes. L'ago, che ha assunto nuovamente la deviazione di prima (in generale fra le due deviazioni non si è avuta una differenza maggiore d'una divisione della scala), comincia a retrocedere appena tolta la sua comunicazione colla pila, con velocità maggiore della precedente. Si osserva quanto tempo impiega a percorrere 200 divisioni della scala.

La differenza δ fra i due tempi rappresenta l'inverso della velocità di dispersione elettrica, che i raggi X emanati dal tubo producono sul disco di zinco..

Intanto rappresentiamo con d, d_1, d_2 rispettivamente le distanze del disco dal catodo, dall'anodo e dalla parete del tubo che è a lui rivolta (fig. 1).

Facciamo di poi una seconda esperienza, portando il tubo alquanto più discosto dalla parete di piombo, per modo che le distanze del disco dal catodo, dall'anodo e dalla parete del tubo divengano d', d'_1, d'_2 .

Si facciano ora i rapporti

$$\frac{d^2}{d'^2}, \frac{d_1^2}{d'_1{}^2}, \frac{d_2^2}{d'_2{}^2};$$

uno di questi sarà proporzionale al rapporto delle differenze $\frac{\delta}{\delta'}$; essendo δ (come notammo) la differenza fra il tempo T impiegato dall'ago dell'elettrometro per retrocedere di 200 divisioni verso lo zero allorchè il tubo è in azione alla distanza d dal

disco, e il tempo t impiegato allorchè il tubo è in riposo: ed essendo δ' l' analoga differenza spettante alla distanza d' .

Fig. 1.

Per ogni posizione del tubo furono fatte parecchie osservazioni; mentre che il tempo [necessario alla dispersione col tubo in riposo, fu sempre valutato prima e dopo la serie delle osservazioni fatte col tubo in azione.

I numeri delle tabelle rappresentano le medie di dette osservazioni.

2). Furono usati cinque tubi, due a forma di pera, e tre a forma cilindrica.

TUBO N. 1.

Forma di pera. Catodo: disco di alluminio di 2 cm. di diametro. Anodo: disco di alluminio di 1,5 cm. di diametro.

Superficie della base: 100 cmq.

Distanza dell' anodo della base: 7.7 cm.

Distanza del catodo » : 22,5 »

Esp.	d	d_1	d_2	δ
1 ^a	27,5 ^{cm}	12,7 ^{cm}	5 ^{cm}	4 ^{s2}
2 ^a	32,5	17,7	10	14,0
3 ^a	37,5	22,7	15	30,0
4 ^a	42,5	27,7	20	70,0

I rapporti fra gli elementi spettanti a due esperienze qualunque sono controsegnati coi due numeri d'ordine che si riferiscono alle esperienze stesse.

$$\left(\frac{d^2}{d'^2}\right)_{(1,2)}=0,716; \quad \left(\frac{d_1^2}{d'_1{}^2}\right)_{(1,2)}=0,515; \quad \left(\frac{d_2^2}{d'_2{}^2}\right)_{(1,2)}=0,25; \quad \left(\frac{\delta}{\delta'}\right)_{(1,2)}=0,4$$

$$\left(\frac{d^2}{d'^2}\right)_{(1,3)}=0,538; \quad \left(\frac{d_1^2}{d'_1{}^2}\right)_{(1,3)}=0,312; \quad \left(\frac{d_2^2}{d'_2{}^2}\right)_{(1,3)}=0,111; \quad \left(\frac{\delta}{\delta'}\right)_{(1,3)}=0,1$$

$$\left(\frac{d^2}{d'^2}\right)_{(1,4)}=0,419; \quad \left(\frac{d_1^2}{d'_1{}^2}\right)_{(1,4)}=0,210; \quad \left(\frac{d_2^2}{d'_2{}^2}\right)_{(1,4)}=0,062; \quad \left(\frac{\delta}{\delta'}\right)_{(1,4)}=0,4$$

Adunque il rapporto $\frac{\delta}{\delta'}$ concorda sempre per questo tubo col rapporto $\frac{d_1^2}{d'_1{}^2}$.

TUBO N. 2.

Forma di pera. Catodo: disco di alluminio di 2,5 cm. di diametro. Anodo: croce di alluminio (4 cm. $\times$ 4 cm).

Superficie della base: 100 cmq.

Distanza dell'anodo dalla base: 9,2 cm.

Distanza del catodo » 23,7 »

Per brevità, qui trascrivo soltanto i valori dei rapporti riferentesi alle distanze di 10 cm. e di 15 cm. del disco dalla base del tubo; poichè le determinazioni fatte per altre distanze portano allo stesso risultato.

$$\left(\frac{d^2}{d'^2}\right)=0,758; \quad \frac{d_1^2}{d'_1{}^2}=0,629; \quad \frac{d_2^2}{d'_2{}^2}=0,444; \quad \frac{\delta}{\delta'}=0,41.$$

TUBO N. 3.

Forma cilindrica. Catodo: disco di alluminio di 1 cm. di diametro. Anodo: sferetta di alluminio di 5 millim. di diametro.

Superficie della base: 25 cmq.

Distanza dell'anodo dalla base: 8,5 cm.

Distanza del catodo » 15,9 »

Anche qui le relazioni fra i rapporti spettanti alle quattro successive posizioni del tubo sono sempre le stesse; 'per cui diamo soltanto i rapporti esistenti fra i dati della prima e della terza posizione, nelle quali le distanze della base del tubo dal disco erano rispettivamente di 4 cm. e di 12 cm.

$$\frac{d^2}{d^1}=0,509; \quad \frac{d_1^2}{d_1^1}=0,372; \quad \frac{d_2^2}{d_2^1}=0,111; \quad \frac{\delta}{\delta^1}=0,15.$$

TUBO N. 4.

Forma cilindrica. Catodo: disco di alluminio di 1,2 cm. di diametro. Anodo: sferetta di alluminio di 4 millim. di diam.
Superficie della base: 25 cmq.

Distanza dell' anodo dalla base: 8,1 cm.

Distanza del catodo » 15,1 »

Il tubo è alquanto più energico, ma i risultati sono perfettamente simili a quelli spettanti al tubo N. 3.

TUBO N. 5.

Forma cilindrica. Catodo: disco di alluminio del diametro di 22 millim. Anodo: anello di alluminio di 17 millim. di diametro.

Distanza dell' anodo dalla base: 4,0 cm.

Distanza del catodo » 21,9 »

Dentro il cilindro, sostenuto da una grappa di vetro, trovasi un piccolo blocco di calamina, che assume una forte fluorescenza rossa quando il tubo è in azione. Tale blocco è tagliato irregolarmente per modo che varie faccette splendenti di esso guardano obliquamente il disco di zinco.

Esso inoltre è isolato dagli elettrodi, e la sua distanza dalla base ch'è dalla parte dell' anello, è uguale a 7,5 cm. Si rappresenti con d_3 la distanza del blocco dal disco metallico comunicante con l'elettrometro.

I rapporti che si ottengono ponendo a confronto i dati della prima con quelli della seconda posizione del tubo, sono:

$$\left(\frac{d^2}{d'^2}\right)=0,785; \quad \frac{d_1^2}{d'_1{}^2}=0,589; \quad \frac{d_2^2}{d'_2{}^2}=0,250; \quad \frac{d_3^2}{d'_3{}^2}=0,651; \quad \frac{\delta}{\delta'}=0,49.$$

E i rapporti fra i dati della prima e della terza posizione:

$$\frac{d^2}{d''^2}=0,633; \quad \frac{d_1^2}{d'_1{}^2}=0,387; \quad \frac{d_2^2}{d'_2{}^2}=0,111; \quad \frac{d_3^2}{d'_3{}^2}=0,457; \quad \frac{\delta}{\delta''}=0,32.$$

Con questo tubo il rapporto fra le durate della dispersione non è in nessun caso coincidente con alcuno dei rapporti fra i quadrati delle distanze del disco dalle varie regioni del tubo prese in esame. Lo si potrebbe forse ritenere con una certa approssimazione uguale al rapporto spettante all'anodo; ma sembrami più giusto il concludere che qui ci troviamo nel caso di due sorgenti di emissione: il blocco di calamina e la base del tubo.

Per avere una riprova che fosse veramente così, ho rovesciato il tubo, presentandone l'altra base al disco comunicante con l'elettrometro, e facendo agire da catodo l'anello e da anodo il dischetto d'alluminio.

Ecco i risultati:

$$\frac{d^2}{d'^2}=0,702; \quad \frac{d_1^2}{d'_1{}^2}=0,465; \quad \frac{d_2^2}{d'_2{}^2}=0,250; \quad \frac{d_3^2}{d'_3{}^2}=0,581; \quad \frac{\delta}{\delta'}=0,502.$$

Il rapporto $\frac{\delta}{\delta'}$ è discretamente lontano da tutti i rapporti dei quadrati delle distanze: il che vuol dire che non abbiamo un'unica regione di emanazione dei raggi.

Queste prime esperienze inducono alla conclusione che i raggi di Röntgen non partono dal catodo, nè sensibilmente dall'anodo, se questo è metallico. Hanno origine invece da qualunque corpo che sotto l'azione dei raggi catodici diviene fluorescente.

3). 2.^o *Metodo*. — Questo secondo metodo è in fondo quello stesso usato dal De Heen; esso però, quando non si badi a certe cautele, può indurre in errore, come credo sia avvenuto al De Heen medesimo.

Il tubo T è collocato colla sua base davanti ad una lamina metallica S, munita di due o più fori (fig. 2). Ponendo sotto la lamina, ad una certa distanza, una lastra fotografica difesa dalla luce, si otterranno in essa le immagini dei due fori. Misurando la distanza fra le due immagini, sarà facile determinare il luogo d'emergenza dei raggi, se questo è veramente un punto o una superficie molto ristretta.

Fig. 2.

La lamina S da me adoperata aveva in realtà tre fori di tre millimetri di diametro, costituenti un triangolo di lati uguali a 1 cm., 2 cm. e 3 cm. Le esperienze furono fatte con tre tubi, l'uno a forma cilindrica, il secondo a forma di pera e il terzo a forma sferica.

TUBO CILINDRICO.

Catodo: disco d'alluminio di 1 cm. di diam.

Anodo: sferetta d'alluminio di 3 mm. di diam.

Distanza del catodo dalla base del tubo: 18 cm.

» dell'anodo » » 9 »

Se si lascia la base del tubo scoperta, e le distanze fra tubo e lamina S, e fra lamina e pellicola fotografica, sono

piccole (da uno a due centimetri); allora le distanze fra le immagini dei fori riescono poco nette e sensibilmente uguali alle distanze tra i fori reali. Cosicchè si dovrebbe concludere che i raggi arrivano paralleli sulla lamina, o emanano da tutti i punti della base del tubo.

Di mano in mano che allontaniamo T, S ed L fra loro, le distanze fra le immagini dei fori aumentano; ma in guisa da lasciar sempre pensare che i raggi provengano da tutta la superficie della base del tubo.

Il fatto poi si dimostra con più evidenza, coprendo la base medesima con una lamina di piombo piuttosto spessa che abbia nel mezzo un foro di 2 millim. Variando le distanze, fra T, S ed L, si ottengono i risultati contenuti nella seguente tabella, dove d rappresenta la distanza fra la base del tubo e la lamina S, e d' la distanza fra S ed L. f poi rappresenta la distanza fra la base del tubo e il punto, in cui il calcolo pone l'origine dei raggi prendendo in considerazione i due fori che sono tra loro alla distanza di 1 cm.

d	d'	f
2 ^{cm}	1 ^{cm}	0,5 ^{cm}
3	2	1,0
4	3	0,8

Bisogna notare che raggi emananti dal catodo o dall'anodo non potevano arrivare sulla lastra. D'altra parte i valori di f sono abbastanza piccoli, tanto da potersi riguardare dovuti ad errori d'osservazione, se si considera specialmente la difficoltà di stabilire con molta esattezza il centro delle immagini dei fori, che risultavano anche in questo caso un poco sfumate. Tantochè non si può metter dubbio che i raggi emanassero dalla base del tubo.

TUBO A FORMA DI PERA.

Catodo: disco di alluminio di 2 cm. di diametro.

Anodo: sferetta di alluminio di 4 mm. di diametro.

Distanza del catodo dalla base del tubo : 21 cm.

» dell' anodo » » 8 »

Con questo tubo si ottennero risultati che confermano i precedenti.

In una esperienza il foro nella lamina di piombo avvolgente la base del tubo fu ridotto a 1 millim.; tuttavia il valore di f risultò di 0,6 cm., ma tale valore è attribuibile certamente agli errori d'osservazione sopra accennati.

TUBO A FORMA SFERICA.

Catodo: disco di alluminio di 2,2 cm. di diametro.

Anodo: bastoncino d'alluminio di 2 mm. di spessore.

Distanza del catodo dalla calotta affacc. alla lastra sensib.: 10 cm.

» dell' anodo » » 2 »

La calotta fu coperta con stagnola, lasciando un foro di 4 millimetri, nel luogo che distava 2 centimetri dall'anodo.

Ecco i risultati:

d	d'	f
6 ^{cm}	4 ^{cm}	0,6 ^{cm}
8	6	0,4

Dalla lastra sensibile si vedeva l'anodo nell'un caso e nell'altro: eppure il risultato non pone in esso l'origine dei raggi.

In altre due esperienze il foro venne fatto di 6 millimetri, e si ottenne:

d	d'	f
7	5	1,3
9	6	1,0

Si vede che di mano in mano viene allargato il foro, il calcolo porta l'origine dei raggi più lontano dalla parete del

tubo; ma ciò è dovuto evidentemente alla troppa ampiezza della superficie di emissione.

È forse per tal guisa che il De Heen credè trovare nell'anodo il punto di emanazione dei raggi X ¹⁾.

4). *Osservazioni indirette sul medesimo argomento.* —

a) Anzitutto sono in accordo con le deduzioni precedenti le variate esperienze del Prof. Roiti, sui raggi che partono e si propagano in tutte le direzioni dai punti ove i raggi catodici colpiscono corpi fluorescenti ²⁾; e l'esperienza fatta dal Prof. Garbasso e da me ³⁾; e confermata poi dal sig. Piltchikof ⁴⁾, secondo cui un blocco reso fluorescente nell'interno del tubo per l'azione dei raggi catodici, accresce grandemente l'efficacia del tubo.

b). Ho fatto poi delle prove per vedere se immediatamente al di sotto dell'ombra proiettata dall'anodo sulla base del tubo l'efficacia dei raggi fosse diversa che nelle regioni vicine. A tale scopo ho adoperato un tubo a forma di pera, avente per anodo la croce d'alluminio infrapposta normalmente alla direzione dei raggi catodici.

A distanza di poco più di 1 millim. dalla base del tubo, disposto verticalmente, era collocata una lamina di zinco munita di due fori del diametro di tre millimetri, discosti fra loro circa un cent. e mezzo, di cui l'uno veniva a trovarsi sotto al centro dell'ombra della croce e l'altro sotto ad un settore fluorescente. Una lastra fotografica difesa dalla luce, era infine situata a pochi centimetri dalla lamina di zinco.

Se i raggi di Röntgen provenissero dall'anodo, in corrispondenza dell'ombra della croce si dovrebbe avere sulla lastra fotografica un effetto maggiore. Invece nella massima parte delle prove eseguite non si è riusciti ad osservare una differenza tra le immagini dei due fori; e nelle rimanenti l'im-

1) Nella Nota comunicata ai Compt. Rend. non sono riferiti i dati che hanno condotto il De Heen alla sua conclusione. Io perciò ho trascritti i miei con un certo dettaglio, come è utile fare in tutte le questioni controverse.

2) Vedi questo medesimo fascicolo.

3) N. Cimento, S. IV, t. 3, p. 49 (gennaio 1896).

4) Compt. Rend. de l'Acad., t. 122, p. 461 (febbraio 1896).

magine del foro posto sotto l'ombra apparve leggermente più debole di quella dell'altro foro.

c). Molti tubi di Crookes, quando siano stati attraversati dalle scariche, mantengono ancora per qualche tempo una leggera fluorescenza subito dopo cessate le scariche medesime. Una tale fluorescenza residua dura assai più a lungo in un blocco di calamina, o di corallo, o di uranio, o di marmo ecc. che siano collocati dentro il tubo.

Ho voluto osservare se a partire dal momento in cui era stata interrotta la corrente, il tubo fosse capace d'impressionare una lastra; e se tale azione fosse aumentata dalla presenza di un blocco fluorescente nell'interno. Questa sarebbe stata una prova che le pareti del tubo o di un corpo qualsiasi battute dai raggi catodici acquistano la proprietà di emettere raggi di Röntgen.

Era necessario a tale scopo di poter ottenere le impressioni fotografiche con brevissima posa.

Insieme al prof. Garbasso ¹⁾ avevamo trovato che uno strato di sostanza fluorescente posto sotto ad una semplice pellicola fotografica, diminuiva d'assai la posa per i raggi di Röntgen, in modo da poter ottenere una impressione quasi istantanea. Il fatto di poi è stato ritrovato anche dai Prof. Winkelmann e Straubel, ²⁾ che pongono sotto ad una lastra fotografica uno strato di polvere grossa di fluorite, sostanza molto conveniente per la sua efficacia e pel suo basso prezzo.

Il massimo effetto con la minor spesa si ottiene ponendo uno strato di fluorite sotto ad una pellicola fotografica autotesa, allora un tubo ordinario discretamente eccitato dalla scarica produce l'immagine di un filo metallico in una frazione di secondo.

Ora, in pellicole sensibili così preparate, e usando tubi vari con o senza blocco interno, di cui alcuni serbavano discreta fluorescenza per più di un minuto, non ottenni mai alcuna impressione fotografica, dopo l'interruzione delle scariche nei tubi.

1) L. c.

2) Jen. Zeit. f. Naturwissenschaft, XXX.

Ma riuscii nell'intento per altra via; col mezzo dell'apparecchio della fig. 1, avendo aumentata la sensibilità dell'elettrometro. — La dispersione della carica elettrica pel disco viene provocata dal tubo, anche dopo cessate le scariche.

La cosa fu replicatamente constatata, con tutta evidenza.

Dunque le pareti del tubo che siano state eccitate dai raggi catodici, anche dopo la scomparsa di questi continuano a emettere raggi di Röntgen.

5). Quest'ultimo fatto ha importanza anche sotto altro riguardo.

È stato già segnalato da parecchi sperimentatori che le sostanze fosforescenti emettono radiazioni, che hanno, sebbene in tenue grado, le proprietà dei raggi di Röntgen. Ma tali sostanze erano state eccitate dalla luce solare; nel caso presente invece la fosforescenza del vetro è stata eccitata dai raggi catodici, e ci indica quindi una più stretta relazione fra i raggi X e quelli che possono emettere i corpi fosforescenti.

6). Intanto non pare che l'azione del tubo sul disco sia proporzionata all'intensità della fosforescenza in esso rimasta dopo la scarica; ma piuttosto sia proporzionata alla potenza che esso possedeva sotto l'azione dei raggi catodici.

Dovrò tornare su questo argomento; ma frattanto mi pare di dover segnalare la seguente osservazione. — Un tubo periforme viene fortemente eccitato dalle scariche d'un rocchetto per tre minuti. Interrotta la corrente, il tubo conserva per più d'un minuto una discreta fosforescenza che provoca in 9 secondi sul disco di zinco una dispersione corrispondente a 40 divisioni della scala dell'elettrometro. Si fa quindi agire sul disco medesimo il tubo mentre è attraversato dalle scariche; e si regola per modo la corrente, da provocare, *pure in 9 secondi*, una dispersione corrispondente a 40 divisioni della scala. Orbene, la fosforescenza appare all'occhio *più viva in questo secondo caso, che nel precedente*.

Conclusione.

Le esperienze fatte mi permettono di affermare che:

1) I raggi di Röntgen si comportano come se partissero dalla superficie dei corpi battuti dai raggi catodici.

2) I tubi di Crookes, anche dopo cessate le scariche che li attraversavano continuano ad emettere raggi di Röntgen.

Istituto di Fisica dell'Università di Pisa,
Marzo 1896.

**SUL MASSIMO DI DENSITÀ DI ALCUNE SOLUZIONI ACQUOSE,
E SULL' AZIONE DEL CORPO DISCIOLTO SULLE PROPRIETÀ DEL SOLVENTE.**

Ricerche sperimentali del Dottor MODESTO CINELLI ¹⁾.

Il sig. G. Tammann, ritenendo come dimostrato da una serie di fatti osservati, che la pressione intermolecolare (*binnendruck*) di una soluzione deve ordinariamente essere non di poco superiore a quella del solvente ²⁾, cerca di dimostrare che le soluzioni acquose si comportano, per le loro proprietà, precisamente come si comporterebbe l'acqua, se allo stato di purezza venisse assoggettata ad una pressione esterna, equivalente all'aumento della pressione intermolecolare, che si produce in essa per il fatto del trovarvisi disciolta una sostanza ³⁾.

Dalle variazioni quindi che subisce una sua proprietà qualunque, per es. la temperatura del suo massimo di densità, allorchè se ne faccia variare la pressione esterna, e dalle variazioni che questa medesima proprietà subisce, allorchè nel-

1) Questo lavoro fu eseguito nel laboratorio dell'Istituto Fisico dell'Università di Siena diretto dal prof. Lussana.

2) G. Tammann. Ueber die Binnendruck in Lösungen. (Zeitschr. für Phys. Chem. 11, 1893, pag. 677).

3) L. c. pag. 678.