

SULLA LUNGHEZZA DELLO SPAZIO OSCURO CATODICO.

NOTA DI GINO ZANOBINI.

È noto che la lunghezza dello spazio oscuro catodico dipende dalla pressione e dalla natura del gas; ed anche dalla intensità e dalla forma della corrente: sembra poi che la posizione dell'elettrodo rispetto alle pareti del tubo di scarica e le dimensioni di questo vi abbiano influenza.

L'Ebert ¹⁾ per la dipendenza dalla pressione, nel caso di elettrodi secondo lui non influenzati dalle pareti del tubo di scarica, ritiene che valga la relazione $dp^m = d_0$ dove d_0 ed m sono numeri costanti caratteristici per il gas in questione, il secondo compreso fra 0 ed 1.

In questa relazione egli trova una discontinuità: al di sotto di una certa pressione (che chiama pressione critica) il valore delle costanti è diverso da quello che hanno al di sopra della medesima.

Secondo J. J. Thomson i risultati dell'Ebert per pressioni superiori alla critica possono esprimersi con la relazione ben diversa

$$d = a + \frac{b}{p}$$

La dipendenza della lunghezza dello spazio oscuro dalla densità della corrente non è stata oggetto di apposite indagini.

Il Thomson ²⁾ cita i risultati dello Schuster e del Wehnelt, ma anche quelli del secondo che si riferiscono ancora a catodi ritenuti non influenzati dalle pareti, sembra che siano dedotti da pochissime esperienze fatte in condizioni particolari.

Secondo il primo, la lunghezza dello spazio oscuro crescerebbe coll'aumentare della densità di corrente, secondo l'al-

¹⁾ *Wied. Ann.* 69, pag. 200 (1899).

²⁾ Thomson, « Passage de l'électricité à travers les gaz », pag. 546, 1912.

tro diminuirebbe. L' Ebert osserva, senza riportare misure, che essa diminuisce e sembra tendere a un valore limite. D'altra parte, Lo Surdo, incidentalmente, in alcune ricerche ha notato che essa si mantiene costante.

La lunghezza dello spazio oscuro dovrebbe dipendere, per una data pressione e un dato gas, dalla densità della corrente solo in quanto varia con essa la caduta catodica, se la luminosità dello strato che limita lo spazio oscuro, fosse il risultato delle collisioni degli atomi con gli elettroni che partono dal catodo e capaci di fornire ai primi una certa quantità critica di energia. Fino a che tale luminosità non ricopre l'intero elettrodo, sono costanti, come è noto, la caduta catodica *normale* e la densità della corrente; dopo aumentano insieme. Perciò nella ipotesi suddetta tale lunghezza dovrebbe diminuire coll'aumentare della densità, solo perchè aumenta l'intensità del campo.

Tuttavia con ciò, secondo me, verremmo a trascurare il fatto che gli ioni positivi generati nella collisione, muovendosi e addensandosi contro il catodo (afflusso catodico di Villard ¹⁾, con velocità crescente in prossimità di questo, debbono manifestarvi una pressione più grande di quella esistente nel tubo, e tanto più grande quanto maggiore è il loro numero; e quindi il crescere della densità di corrente dovrebbe produrre anche un effetto corrispondente ad un aumento di pressione.

Chè, se poi riteniamo inoltre che l'atomo possa acquistare la suddetta energia critica immagazzinando via via quella che può essergli fornita da altri urti di elettroni sia con esso che con atomi vicini (e con le pareti), allora la luminosità può anche dipendere dalla rapidità con la quale l'energia è fornita all'atomo, quindi dalla velocità con la quale la medesima è comunicata al gas dal campo elettrico e di conseguenza, oltre che dalla intensità del campo, anche dalla densità della corrente.

Io mi sono proposto di studiare la dipendenza della lunghezza dello spazio oscuro catodico d dalla densità della corrente σ : mi si è presentata così l'occasione di confrontare anche i valori di d con quelli della pressione p , nel caso importante di elettrodi che riempiano completamente il tubo di scarica.

¹⁾ P. Villard. « La formation des rayons cathodiques. Jons. Electrons, Corpuscoles ». Mémoires réunis et publiés par H. Abraham et P. Longevin. 2.^o fasc.

Descrizione degli apparecchi.

Tubi di scarica. — Ho adoperato tubi cilindrici con elettrodi eguali di alluminio che riempivano completamente la sezione del tubo. La distanza fra gli elettrodi, anche in tubi di vario diametro, è costante (cm. 19 circa) e la distanza di essi dalle estremità del tubo è la più breve possibile.

Dalla parte mediana del tubo partono due larghi tubi che terminano con i soliti raccordi conici: uno per stabilire la comunicazione col manometro, l'altro con un grande pallone sferico (4 o 5 lt.) e con la pompa.

La comunicazione col pallone ha lo scopo di rendere trascurabili le variazioni di pressione durante il processo di scarica dovute all'emissione di gas per parte degli elettrodi e delle pareti. Ed ho sempre avuto cura, avanti di introdurre il gas da sperimentare, di arroventare il tubo mentre vi mantenevo la massima rarefazione e vi facevo passare, ad intervalli, la scarica. Di altre precauzioni prese dirò in seguito. Il pallone è opportunamente protetto dalle variazioni esterne di temperatura.

Il manometro era una provetta di Mac-Leod modificata in modo da rendere rapide le letture: la graduazione va da mm. 1 a mm. 0,0001 di mercurio. La pompa era rotativa a mercurio: il vapore acqueo era assorbito con anidride fosforica. Con un dispositivo assai semplice potevo introdurre l'idrogeno che ottenevo scaldando formiato di potassa e calce.

I risultati che metto a confronto o sono ottenuti in serie, mantenendo costante la pressione, o rarefacendo via via il gas, in modo da poter ritenere costante la composizione di questo anche se intervenivano delle impurità.

La sorgente di elettricità era una batteria di 5000 piccoli accumulatori: variavo l'intensità inserendo per mezzo di leve colonne di acqua di varia sezione e la misuravo con un milliamperometro, che mi permetteva di apprezzare i centesimi di milliamperes. La differenza di potenziale fra gli elettrodi la leggevo su un elettrometro.

Quanto alla lunghezza dello spazio oscuro, trovavo conveniente determinarla per mezzo di un catetometro nel quale al cannocchiale avevo sostituito un traguardo opportuno.

La disposizione degli strumenti di misura e la posizione delle leve per variare l'intensità era tale che potevo con rapidità fare le varie letture: nonostante più volte sono ricorso all'aiuto di altro sperimentatore.

Dipendenza di d da σ .

I valori minimi dell'intensità (i) erano tali che la superficie del catodo fosse completamente ricoperta dalla luce negativa, così che un aumento di i si traducesse forzatamente in un aumento della densità di corrente e che inoltre la superficie equipotenziale limitasse nettamente la luce negativa dalla parte del catodo. D'altro lato però non ho adoprato intensità troppo forti per evitare complicazioni nel fenomeno, come emissione di gas per parte degli elettrodi, riscaldamento del gas, metallizzazione del tubo etc.

Tali limiti imposti alla intensità si troveranno differenti nelle varie serie, e ciò dipendentemente dalle condizioni diverse del tubo, ma saranno da ritenersi approssimativamente equivalenti. Quindi per avere una idea della variazione relativa dello spazio oscuro nelle varie condizioni di pressione e nei vari tubi ho calcolato i valori del rapporto $\frac{\Delta d}{d}$, fra la variazione totale e la lunghezza dello spazio oscuro ben definito e corrispondente all'intensità minima di corrente usata. Questi valori sono riportati nell'ultima colonna delle tabelle.

I tubi venivano adoperati fino a che non si manifestava un principio di metallizzazione.

Al fine di operare con rapidità mi sono limitato a serie di poche esperienze (5, 4, 3 e anche 2 sole), nelle quali variavo l'intensità inserendo ed escludendo le resistenze liquide: le serie erano immediatamente ripetute, variando l'intensità in senso inverso; la pressione era misurata al principio ed alla fine di ogni serie. Allo stesso scopo ho talvolta omissa la lettura dell'elettrometro.

Riporto alcune serie. In esse D indica il diametro del tubo, V la differenza di potenziale in Volta, Δd le variazioni successive di d in mm.

IDROGENO.

D mm.	P mm. di Hg.	<i>i</i> milliampères	V volta	<i>d</i> mm.	Δd	$\frac{\Delta d}{d}$
35	0,58	1,17	—	7,7	1,5	0,19
»	»	4,29	—	6,2		
»	0,32	1,29	—	11,2	0,9	0,08
»	»	4,44	—	10,3		
»	0,079	0,96	—	30,8	1,8	0,06
»	»	3,00	—	29,0		
27	0,82	0,60	—	7,8	1,2	0,15
»	»	3,30	—	6,6		
»	0,31	0,66	475	11,9	1,0	0,14
»	»	1,59	590	10,9	0,4	
»	»	2,79	660	10,5	0,1	
»	»	3,33	675	10,4	0,2	
»	»	4,35	775	10,2		
»	0,20	0,69	510	16,9	1,7	0,13
»	»	1,89	620	15,2	0,6	
»	»	4,35	790	14,6		
»	0,115	0,59	1110	26,7	1,7	0,07
»	»	2,25	2275	25,0	0,2	
»	»	4,56	2500	24,8		
»	0,045	0,45	5000	40,4	2,1	0,05
»	»	2,40	7000	38,3		
11,8	0,84	0,42	850	4,9	0,2	0,12
»	»	0,75	910	4,7	0,3	
»	»	1,47	1010	4,4	0,1	
»	»	4,80	1400	4,3		

D mm.	P mm. di Hg.	<i>i</i> milliampères	V volta	\bar{d} mm.	Δd	$\frac{\Delta d}{\bar{d}}$
11,8	0,45	0,36	1500	8,9	0,2	0,04
»	»	0,60	1800	8,7	0,1	
»	»	1,20	2100	8,6	0,1	
»	»	4,05	2500	8,5		
7	0,82	0,72	1100	4,9	0,4	0,08
»	»	3,00	1700	4,5		
»	0,20	0,37	3000	8,7	piccolis- sima	0
»	»	1,20	4000	8,7		
»	0,06	0,45	—	36,2	0	0
»	»	2,55	—	36,2		

ARIA.

35	0,34	1,13	—	4,9	1,8	0,37
»	»	3,84	—	3,1		
»	0,186	1,14	—	6,9	1,0	0,14
»	»	3,84	—	5,9		
»	0,041	0,81	—	33,0	2,7	0,08
»	»	2,88	—	30,3		
27	1,0	0,90	790	2,6	1,0	0,38
»	»	2,85	890	1,6		
»	0,30	0,65	650	6,9	1,9	0,27
»	»	3,30	740	5,0		
»	0,15	0,86	520	8,7	1,2	0,18
»	»	1,73	590	7,5	0,4	
»	»	3,95	710	7,1		

D mm.	P mm. di Hg.	i milliampères	V volta	d mm.	Δd	$\frac{\Delta d}{d}$
27	0,07	0,32	775	20,3	1,4	0,13
»	»	0,63	910	18,9	1,2	
»	»	1,53	1160	17,7	0,2	
»	»	3,50	1550	17,5		
»	0,054	0,60	1200	25,9	2,3	0,09
»	»	1,41	1600	23,6	0,1	
»	»	3,45	2175	23,5		
16,8	0,30	0,36	500	8,1	1	0,30
»	»	0,80	560	7,1	1	
»	»	1,77	620	6,1	0,5	
»	»	4,42	740	5,6		
»	0,16	0,50	610	11,0	1,5	0,18
»	»	0,75	650	9,5	0,3	
»	»	2,16	850	9,2	0,2	
»	»	4,35	1000	9,0		
»	0,105	0,42	880	17,9	1,4	0,11
»	»	0,93	1120	16,5	0,4	
»	»	1,93	1440	16,1	0,3	
»	»	4,05	1900	15,8		
»	0,06	0,32	1550	22,5	0,3	0,01
»	»	1,05	2700	21,2	0	
»	»	2,97	3600	21,2		
11,8	0,18	0,41	1250	7,7	0,3	0,05
»	»	0,75	1480	7,4	0,1	
»	»	1,41	1800	7,3	0,0	
»	»	4,44	2750	7,3		

D mm.	P mm. di Hg.	<i>i</i> milliampères	V volta	<i>d</i> mm.	Δd	$\frac{\Delta d}{d}$
11,8	0,09	0,33	2600	13,9	0,3	0,04
»	»	0,65	3100	13,6	0,2	
»	»	1,11	3600	13,4	0,1	
»	»	2,88	4600	13,3		
7	0,4	0,24	1250	3,0	0,2	0,07
»	»	2,70	1800	2,8		
»	0,19	—	—	5,3	non si apprezzano variazioni	

Come si vede le variazioni di d si fanno meno sensibili via via che cresce la densità della corrente: nei tubi stretti nei quali già la densità di corrente iniziale era relativamente grande le variazioni con i erano molto meno sensibili: in tubi a diametro molto piccolo quasi non si avvertono ¹⁾).

Queste variazioni sembra poi che decrescano col diminuire della pressione.

È noto che la colonna positiva, col crescere di i si modifica nel senso corrispondente ad una diminuzione di pressione (p. e. diminuisce il numero delle stratificazioni o spariscono del tutto) e reciprocamente, col diminuire di i . D'altra parte i risultati da me ottenuti, sulla lunghezza dello spazio oscuro, mostrano che l'aumentare di i porta nella regione catodica, conseguenze certamente analoghe a quelle dovute ad un aumento di pressione.

Ora, se questo ipotetico aumento di pressione lo pensiamo dovuto all'aumento numerico degli ioni positivi addensantisi

¹⁾ Questo risultato concorda con le osservazioni fatte dal prof. Lo Surdo nei tubi molto sottili: egli difatti non ha apprezzato variazioni assolute della lunghezza dello spazio oscuro in tubi di mm. 1,7, variando la corrente da 0,5 a 2 milliampères.

A. Lo Surdo. *Rendiconti della R. Acc. dei Lincei*, serie 5.^a vol. XXIII, pag. 117.

davanti al catodo, si presenta l'ipotesi che, adottando un catodo forato e lasciando dietro ad esso un tratto assai capace del tubo di scarica (insomma adottando un tubo per raggi canale), si possa evitare o almeno limitare questo accrescimento di pressione, e quindi la conseguente variazione nella lunghezza dello spazio oscuro catodico.

A tale scopo adoprai il tubo indicato nella figura, lasciando invariata la disposizione generale.

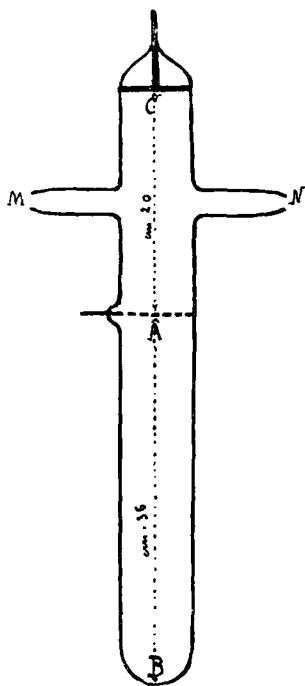


Fig. 1.

Un invertitore permetteva di adoprare alternativamente come catodo l'elettrodo forato e l'elettrodo pieno.

Il tubo è girevole intorno all'asse di MN, di modo che ruotando di mezzo giro potevo costringere un dischetto di mica situato nel tratto AB a cadere sul catodo e otturare i fori.

Non sempre però mi sono occupato dell'influenza di questo disco. Riporto alcuni dei risultati ottenuti.

IDROGENO.

P mm. di Hg.	<i>j</i> milliampères	V volta	<i>d</i> mm.	Δd	
0,32	0,96	600	10,6	1,0	Catodo pieno
»	4,11	900	9,6		
»	0,86	720	11,7	0,1	» forato
»	3,78	1200	11,6		
0,20	0,54	1425	21,6	1,1	» pieno
»	1,62	2000	20,5		
»	0,54	1500	23,6	0	» forato
»	1,65	1850	23,6		
»	0,53	1475	21,5	0,5	Catodo forato con disco
»	1,53	2250	21,0		

ARIA.

P mm. di Hg.	<i>i</i> milliampères	V volta	<i>d</i> mm.	Δd	
0,20	0,66	640	9,6	1,6	Catodo pieno
»	3,27	940	8,0		
»	0,66	690	9,5	0,7	» forato
»	3,30	940	8,8		
0,25	0,89	750	7,3	0,9	» pieno
»	4,20	1110	6,4		
»	0,93	790	8,4	0,2	» forato
»	3,87	1090	8,2		
»	0,96	790	6,7	0,7	Catodo forato con disco
»	4,50	1050	6,0		

Le differenze fra le variazioni relative al catodo pieno e a quello forato, sebbene possano sembrare di piccola entità, si manifestano nel senso necessario a confortare l'ipotesi. La chiusura, certo non completa, dei fori con il leggero disco di mica, ci riporta quasi nelle condizioni del catodo pieno.

Dipendenza dalla pressione.

Riguardo alla dipendenza di d da p riporto alcune serie di misure fatte con densità di corrente quasi costante e poco differente da quella minima necessaria perchè lo spazio oscuro sia ben definito, e le corrispondenti grafiche nelle quali le lunghezze d sono riportate sull'asse delle ascisse e le inverse delle pressioni su quello delle ordinate.

ARIA (diam. mm. 11,8)

$i \dots$	36	40	36	36	35	38	32	33	36	42	40	38
	38	34	36	37								
$p \dots$	1,45	0,93	0,77	0,63	0,476	0,43	0,37	0,263				
	0,249	0,217	0,196	0,14	0,137	0,123	0,11	0,09				
1	0,69	1,1	1,3	1,6	2,1	2,3	2,7	3,8	4,0	4,6		
$p \dots$	5,1	7,1	7,3	8,1	9,1	11,1						
$d \dots$	1,8	2,2	2,5	2,8	3,2	3,6	3,8	4,8	5,4	6,0		
	6,7	8,5	8,7	9,7	10,3	12,8						

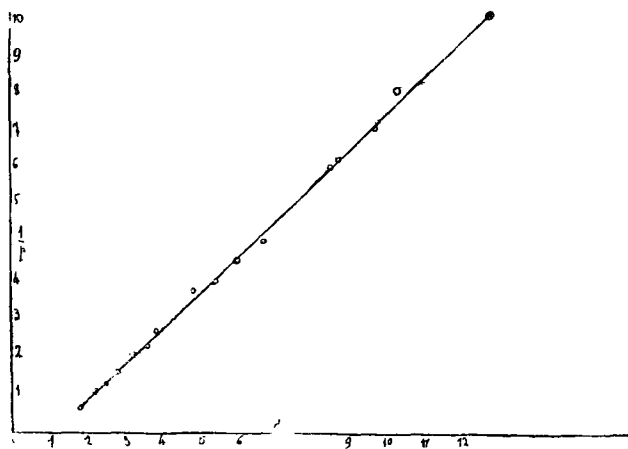


Fig. 2.

ARIA (diam. mm. 35)

$$i \dots \left\{ \begin{array}{cccccccccccc} 37 & 37,5 & 39 & 38 & 38 & 38 & 39 & 30 & 33 & 32 & 35 \\ 27 & 24 & & & & & & & & & \end{array} \right.$$

$$p \dots \left\{ \begin{array}{cccccccc} 0,55 & 0,34 & 0,29 & 0,21 & 0,186 & 0,157 & 0,104 & 0,074 \\ 0,067 & 0,052 & 0,05 & 0,041 & 0,032 & & & \end{array} \right.$$

$$\frac{1}{p} \dots \left\{ \begin{array}{cccccccccccc} 1,8 & 2,9 & 3,4 & 4,8 & 5,3 & 6,3 & 9,6 & 13,4 & 14,9 & 19,2 \\ 20 & 24,4 & 31,2 & & & & & & & \end{array} \right.$$

$$d \dots \left\{ \begin{array}{cccccccccccc} 4 & 4,9 & 5,7 & 6,7 & 6,9 & 7,9 & 11,5 & 16,1 & 18,8 & 24,7 \\ 26,5 & 33 & 41,7 & & & & & & & \end{array} \right.$$

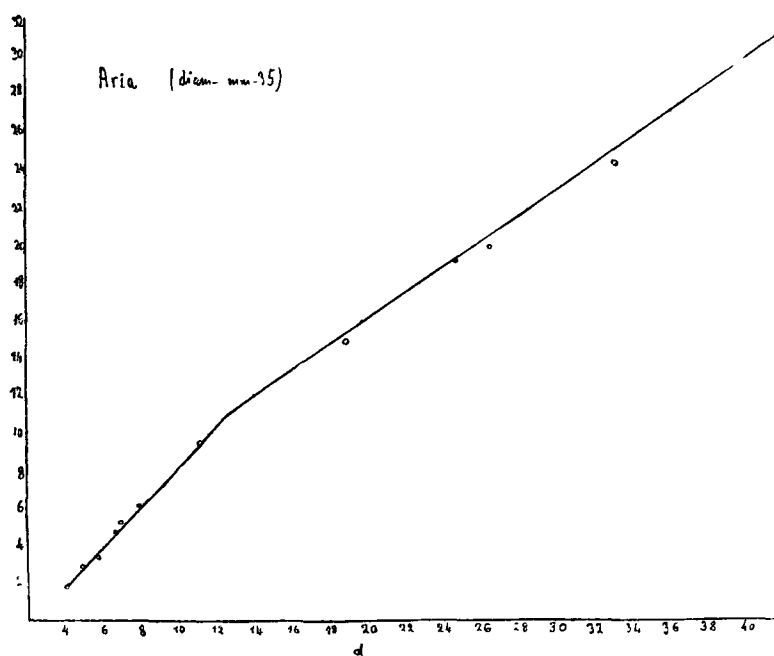


Fig. 3.

IDROGENO (diam. mm. 35)

$$i \cdot \cdot \cdot \left\{ \begin{array}{cccccccccccc} 40 & 39 & 40 & 35 & 43 & 37 & 35 & 35 & 35 & 33 & 31,5 \\ 31,5 & 32 & 36 & 35 & & & & & & & \end{array} \right.$$

$$p \cdot \cdot \cdot \left\{ \begin{array}{cccccccc} 0,725 & 0,58 & 0,455 & 0,362 & 0,32 & 0,30 & 0,251 & 0,21 \\ 0,18 & 0,146 & 0,117 & 0,096 & 0,079 & 0,068 & 0,059 & \end{array} \right.$$

$$\frac{1}{p} \cdot \cdot \cdot \left\{ \begin{array}{cccccccc} 1,37 & 1,72 & 2,2 & 2,76 & 3,12 & 3,33 & 3,98 & 4,76 & 5,55 \\ 6,84 & 8,5 & 10,4 & 12,62 & 14,7 & 16,9 & & & \end{array} \right.$$

$$d \cdot \cdot \cdot \left\{ \begin{array}{cccccccc} 6,9 & 7,7 & 9,1 & 10,15 & 11,2 & 12,3 & 13,6 & 15,5 & 18,1 \\ 22,1 & 24,5 & 28,1 & 30,8 & 35,1 & 36,9 & & & \end{array} \right.$$

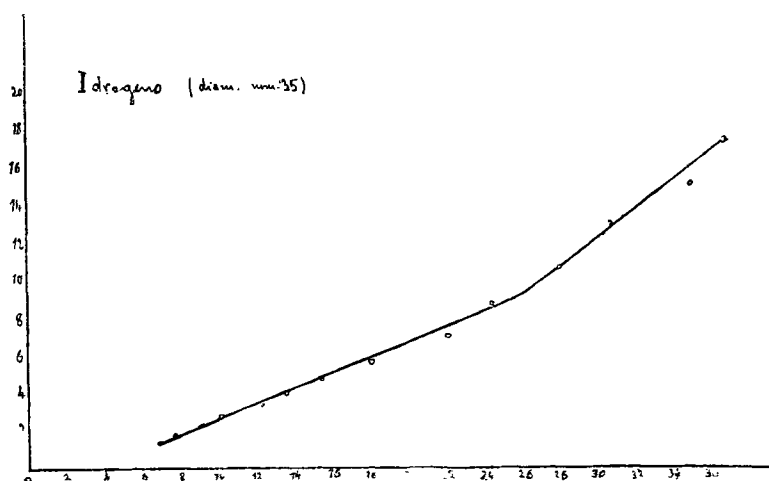


Fig. 4.

La relazione: $d = a + \frac{b}{p}$ come si vede è, assai bene verificata. Solo che qui, come nei risultati dell'Ebert, si ha una discontinuità: il valore delle costanti al di sotto di una certa pressione è diverso da quello che hanno al di sopra. Però, io pure, come l'Ebert, ho potuto riscontrare che tale pressione critica non dipenderebbe esclusivamente dalla natura del gas:

le dimensioni del tubo di scarica e del catodo vi avrebbero influenza.

Confrontando le grafiche (3) (4) relative all'aria e all'idrogeno, si osserva il fatto strano che, nella prima la discontinuità avviene nel senso di una diminuzione del coefficiente angolare della retta rappresentativa, mentre nella seconda avviene nel senso di un aumento.

Ma non si può escludere che su tale fatto vi abbia influenza più o meno grande la inevitabile emissione di impurità, dovute ai gas occlusi, per parte degli elettrodi.

La legge di Thomson si può quindi ritenere verificata, anche nel caso importante di elettrodi che riempiono completamente la sezione del tubo. Non si può escludere che la stessa legge sia vera anche al di sotto della così detta pressione critica corrispondente alla discontinuità trovata. Per verificare ciò sarebbe necessario usare nell'esperienze elettrodi e recipienti da lungo tempo immersi nello stesso gas in istudio. Forse la discontinuità di Ebert dipende da cause non dissimili.

Laboratorio di Fisica del R. Istituto di Studi Superiori in Firenze.
Agosto 1915.