

ATTI
DELLA
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCCXIII.

1916

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME XXV.

2° SEMESTRE.



ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL DOTI. PIO BEFANI

1916

Fisica. — *La caratteristica dinamica dei tubi per raggi X.*
Nota di NELLA MORTARA ⁽¹⁾, presentata dal Socio P. BLASERNA.

La scarica nei gas rarefatti consta, come è noto, di varie parti: il primo strato catodico, lo spazio oscuro catodico, lo strato luminoso negativo, lo spazio oscuro intermedio, la colonna di luce positiva e lo strato anodico. La tensione agli elettrodi del tubo in cui avviene tale scarica è perciò la risultante delle cadute di tensione nelle parti sopra enumerate. Queste perdite parziali di tensione dipendono, con legge diversa, da varie altre grandezze, come l'intensità della corrente, la pressione del gas, l'estensione dello strato luminoso negativo, ecc.; fra tutte la caduta anodica è la minore e varia poco con le condizioni dell'esperienza.

A seconda che l'una o l'altra delle parti della scarica luminosa prevale sulle altre, la curva V, i , che rappresenta l'andamento della caduta totale di tensione V rispetto all'intensità i , ha un andamento diverso: così, p. es., se la parte prevalente è la caduta catodica, si ha una caratteristica, ossia una curva V, i , sempre crescente; vale a dire, al crescere dell'intensità, cresce la differenza di tensione agli elettrodi del tubo.

Queste curve caratteristiche nei varii casi per i tubi di scarica erano già state studiate ⁽²⁾. Però lo studio era stato fatto solo per intensità costanti; e i valori raggiunti per l'energia erano poco elevati, perchè come sorgenti di elettricità si usavano o macchine elettrostatiche, che danno alti potenziali, ma bassissime intensità, o batterie di accumulatori, che danno intensità elevate, ma bassi potenziali. Nè sarebbe stato possibile, nello studio della caratteristica statica, mandare nel tubo correnti elevate permanenti e ad alto potenziale, per l'eccessivo riscaldamento che si sarebbe prodotto nel tubo, durante il tempo non breve delle misure di V e i . Nè d'altra parte poteva senz'altro affermarsi che con le correnti rapidamente variabili utilizzate nei tubi per raggi X la caratteristica dinamica fosse identificabile con quella statica, la quale del resto non è nota per così intensi regimi.

Era quindi importante tracciare le curve caratteristiche V, i con grandi intensità, elevati potenziali e per correnti rapidamente variabili.

In un tubo per raggi X predomina la caduta catodica, e quindi era prevedibile che la caratteristica fosse sempre crescente; questo risultava anche dal fatto che in tali tubi al crescere dell'intensità cresce la distanza esplosiva equivalente. Era però interessante determinare non solo la relazione

⁽¹⁾ Lavoro eseguito nell'Istituto fisico di Roma, maggio 1916.

⁽²⁾ Winkelmann, vol. IV, pag. 513 segg.

fra il potenziale massimo e l'intensità media, ma poter seguire i singoli valori del potenziale corrispondenti alle varie intensità.

Per raggiungere questo scopo, ci si è serviti di un tubo Braun, munito di due elettrodi piani per la deviazione elettrostatica del fascio catodico, secondo la disposizione di Wehnelt. Se si riesce a dare al cerchietto fluorescente uno spostamento verticale proporzionale alla corrente che attraversa il tubo, e uno spostamento orizzontale proporzionale alla differenza di potenziale agli elettrodi del tubo stesso, la composizione delle due deviazioni dà la caratteristica dinamica, ossia permette di determinare in ogni istante i valori corrispondenti dell'intensità e del potenziale.

Per produrre questi spostamenti del cerchietto proporzionali alla corrente nel tubo e alla differenza di potenziale ai suoi estremi, si adottarono i seguenti metodi, suggeriti dal prof. Corbino.

Lo studio della corrente secondaria, che alimenta il tubo, presenta gravi difficoltà derivanti dalla sua rapida variazione col tempo e dalla relativamente piccola intensità.

Nella Memoria del prof. Corbino sul rocchetto di Ruhmkorff queste difficoltà poterono essere superate, trattandosi di un piccolo rocchetto, con il seguente artificio. Su un tubo Braun, alimentato da una macchina elettrostatica a molti dischi, si faceva agire tutto il rocchetto d'induzione insieme con una bobinetta percorsa dalla corrente primaria e situata in modo da compensare, anche con correnti variabili, l'azione esercitata sul tubo dalla corrente primaria del rocchetto. Rimaneva così l'azione della sola corrente secondaria, che produceva sul fascetto catodico e sulla macchia dello schermo spostamenti rapidissimi, proporzionali all'intensità. L'osservazione allo specchio girante forniva senz'altro la forma della corrente secondaria; mentre la composizione ortogonale con altri spostamenti dovuti o alla corrente primaria, o al flusso secondario dava luogo sullo schermo alla produzione di curve stabili, la cui interpretazione fu molto utile per stabilire le modalità del funzionamento del rocchetto e confrontarle con le previsioni della teoria già svolta.

Le modeste dimensioni del rocchetto, allora usato, avevano permesso, come fu accertato da prove opportune, di considerare trascurabili gli effetti della capacità distribuita lungo il secondario. Non essendo lecito fare questa ipotesi nel caso dei grandi rocchetti moderni, si imponeva una revisione dei risultati di quelle prime esperienze con metodi nuovi; e invero la presenza di una capacità distribuita fa sì che la corrente secondaria entro il rocchetto è in generale diversa da spira a spira, e perciò la sua azione complessiva sul tubo non può più fornire la vera legge di variazione della corrente secondaria, quale si utilizza nel tubo, cioè al di fuori dell'avvolgimento secondario.

D'altro canto la rapidità di variazione della corrente, e i conseguenti elevatissimi valori di $\frac{di}{dt}$, danno luogo a gravi ed inattese perturbazioni, qualora si tenti di esplorare la forma della corrente secondaria obbligandola a traversare una bobina a spire bene isolate, che agisce sul tubo Braun. E cioè, come fu già notato dai professori Corbino e Trabacchi, ad ogni impulso brusco di corrente prendono origine vere oscillazioni interne nella bobina, la quale deve avere le sue spire molto vicine e numerose perchè la corrente, di piccola intensità, devii sufficientemente la macchia fluorescente del tubo Braun. Queste oscillazioni sono dovute evidentemente alla capacità distribuita lungo la bobina fra le spire consecutive; alla loro azione perturbatrice si sovrappone inoltre quella che deriva dai corti circuiti intermittenti creati fra le spire vicine da piccole scintille; e ancora più l'azione elettrostatica sul fascio catodico, dovuta alla tensione delle spire della bobinetta, tensione che, per il grande valore di $L \frac{di}{dt}$, è molto elevata, anche se un estremo della bobinetta è tenuto in comunicazione col suolo.

Per tutte queste ragioni, nell'ultimo lavoro sopra citato fu ritenuto preferibile esplorare la forma della corrente secondaria col farle traversare una resistenza non induttiva r , raccogliere la tensione ohmica ri ai suoi estremi e fare agire questa sulle due laminette per la deviazione elettrostatica del fascio catodico in un tubo del tipo Braun-Wehnelt. È questo il metodo cui io mi sono attenuto nel presente lavoro.

La tensione secondaria. — Per lo studio di questa grandezza, la cui conoscenza è così importante per precisare le condizioni di funzionamento del tubo, è stato fatto finora ben poco. In un lavoro dei professori Corbino e Trabacchi fu fatto un primo tentativo in questo senso, ammettendo in prima approssimazione che esistesse proporzionalità fra la tensione al secondario e quella al primario. Ma è chiaro che, per l'imperfetto allacciamento fra il primario e il secondario, quella approssimazione deve esser considerata come molto grossolana.

Una assai più fedele riproduzione della legge della tensione secondaria può essere ottenuta col seguente metodo.

Una matassa di un centinaio di grandi spire è disposta intorno al cilindro di ebanite che avvolge il rocchetto, in modo da abbracciare il secondario e il primario; essa può essere spostata lungo l'asse del rocchetto, in modo da poterla allontanare o avvicinare agli estremi.

Indichiamo con M_{12} la mutua induzione fra primario e secondario; e con M_{13} , M_{23} rispettivamente le mutue induzioni fra la matassa e il primario, fra la matassa e il secondario. La tensione istantanea ai poli del secondario, qualunque siano le caratteristiche del circuito di utilizzazione, è data da

$$r_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} + M_{12} \frac{di_1}{dt},$$

dove r_2 è la resistenza, L_2 l'autoinduzione del secondario, e i_2 la corrente. Il primo termine è, senza errore sensibile, da trascurarsi rispetto agli altri. Invero la massima corrente secondaria istantanea è dell'ordine di 0,1 ampère, e perciò, avendosi per valore di r_2 circa 20.000 ohm, il primo termine è dell'ordine di 2000 volt, mentre nelle condizioni ordinarie di uso sono in giuoco nel secondario forze elettromotrici di molte decine di migliaia di volt. Si può quindi ritenere che la forza elettromotrice utile ai poli del rocchetto è data, con qualunque apparecchio di utilizzazione, da

$$L_2 \frac{di_2}{dt} + M_{12} \frac{di_1}{dt}.$$

Si consideri adesso la tensione agli estremi della matassa; essa è data da

$$M_{23} \frac{di_2}{dt} + M_{13} \frac{di_1}{dt}.$$

Se si vuole che quest'ultima sia in ogni istante proporzionale alla prima, deve essere

$$\frac{M_{23}}{M_{13}} = \frac{L_2}{M_{12}}.$$

Questa condizione può essere realizzata, spostando convenientemente la matassa lungo il rocchetto, con che variano in misura diversa M_{12} e M_{23} . E, poichè sarebbe difficile determinare col calcolo se e in quale posizione quella condizione è soddisfatta, basta ricorrere a questo semplice artificio.

Si chiude in corto circuito il secondario; con che si obbliga la tensione ai poli del secondario ad assumere il valore zero. Si manda nel primario una debole corrente alternata o interrotta: se la condizione di cui sopra è soddisfatta, dovrà esser nulla anche la tensione ai poli della matassa; e di questo ci si può assicurare facilmente con un rivelatore qualsiasi, come un voltmetro sensibile o un telefono con in serie una resistenza. Spostando la matassa lungo l'asse del rocchetto si può trovare la posizione che dà luogo a un forte minimo della tensione ai suoi estremi.

Non è questo il posto opportuno per sviluppare più ampiamente la teoria del metodo. Mi limiterò ad osservare che le correnti interne del secondario, diverse da spira a spira e dovute alla sua capacità distribuita, non impediscono che il metodo fornisca con buona esattezza la tensione utile. E invero la teoria rigorosa richiederebbe che il termine relativo a $\frac{di_2}{dt}$ nelle espressioni precedenti venisse scomposto in una serie di numerosi termini relativi ciascuno a ogni spira, del tipo $m_{1r} \frac{di_r}{dt}$, dove m_{1r} indica l'indu-

zione mutua fra il primario e la $r.^{ma}$ spira del secondario, mentre i_r denota la corrente nella medesima spira. La stessa sostituzione dovrebbe farsi per calcolare l'azione induttiva del secondario sulla matassa. Ma poichè le diverse spire del secondario incanalano i rispettivi flussi di preferenza lungo il nucleo di ferro, non si commette un grave errore conglobando tutte le azioni induttive in un unico termine che contiene una certa intensità risultante i_s , la quale agisce con le rispettive proporzioni sul primario, sul secondario e sulla matassa.

La legittimità di queste considerazioni, qui semplicemente abbozzate, viene del resto assicurata dal confronto diretto fra la tensione ai poli della matassa e quella ai poli del secondario, rivelata con gli altri due metodi che segnano, i quali sono di meno semplice applicazione, ma esenti da ogni obbiezione.

2° metodo. — Ai poli del rocchetto si inserisce una resistenza liquida di alquanti megaohm, costituita da lunghi tubi di vetro, che contengono una soluzione di acqua e alcool in proporzioni opportune. La corrente che circola in questa resistenza traversa anche una piccola bobina agente sul tubo Braun; ovvero traversa un'altra resistenza di poche migliaia di ohm, ai poli della quale sono inserite le laminette per la deviazione elettrostatica nel tubo Braun-Wehnelt.

3° metodo. — Ai poli del rocchetto sono inserite cinque capacità in cascata. Le quattro estreme sono costituite da semplici lastre di vetro con piccole armature di stagnola al centro. La capacità media C risulta invece di un microfarad diviso in frazioni; i suoi estremi sono rilegati alle laminette del tubo Braun-Wehnelt.

Il sistema funziona, come è evidente, da riduttore di tensione in proporzione variabile a volontà col modificare il valore di C.

Confronto fra i tre metodi. — Anzitutto fu verificato che essi sono perfettamente equivalenti nel fornire la legge di variazione della tensione ai poli del rocchetto funzionante nelle condizioni più svariate. Infatti, combinando i tre metodi due a due in modo da produrre contemporaneamente sul fascetto catodico spostamenti orizzontali per l'uno e verticali per l'altro, si osservò sempre allo schermo, come risultante della composizione dei due spostamenti, una retta di cui si poteva mutare a piacere la inclinazione.

Il primo metodo ha sugli altri due il vantaggio di non distrarre nessuna parte della corrente secondaria dal circuito di utilizzazione, e di non alterare perciò le condizioni normali di funzionamento del ricevitore, per esempio dell'ampolla per raggi X.

Ma in compenso il primo metodo non dà più la tensione vera ai poli dell'ampolla, quando questa è inserita sul secondario attraverso a una scintilla o a una valvola per arrestare l'onda inversa, poichè in tal caso la tensione ai poli della matassa corrisponde alla tensione *totale* ai poli del rocchetto, e non a quella parziale che è attiva agli estremi dell'ampolla.

* * *

Le prime esperienze furono eseguite inviando nel tubo la corrente secondaria di un rocchetto, nel cui primario circolava una corrente alternata periodicamente interrotta con l'interruttore elettrolitico Trabacchi.

Ma la necessità di adoperare una breve scintilla in serie col tubo per eliminare le correnti inverse di chiusura rese inadoperabile il primo metodo per la esplorazione della differenza di potenziale.

Si dové quindi ricorrere per la esplorazione del potenziale al metodo della resistenza, realizzato nel modo seguente. Si prese una resistenza formata da un lungo tubo di vetro piegato ad U riempito di alcool ed acqua; e la si rilegò direttamente ai poli del rocchetto, senza scintilla intermedia. In serie con la resistenza ad acqua fu rilegata una resistenza metallica ρ , ai poli della quale veniva a prodursi così una differenza di potenziale variabile ρi , se i è l'intensità che traversa il circuito.

Contemporaneamente venne inserito ai poli del rocchetto un sistema di piccoli condensatori di vetro e stagnola, rilegati in serie e connessi al centro con un condensatore di capacità grande e regolabile; esso consisteva in un microfarad di mica argentata diviso in frazioni.

Ai poli del condensatore si determinava perciò una differenza di potenziale pari a una certa frazione della tensione totale prodotta dal rocchetto. Questa differenza di potenziale viene confrontata con l'altra ρi esistente ai poli della resistenza metallica per mezzo del tubo Braun, facendo in modo che ne risultassero spostamenti del cerchietto in direzioni ortogonali. Il diagramma così ottenuto, mandando nel primario del rocchetto una corrente alternata o periodicamente interrotta, fu una retta passante per l'origine; con che risultò dimostrato che la corrente i che traversa la resistenza è esattamente proporzionale alla tensione ai poli del rocchetto, e può quindi servire per esplorarne l'andamento.

L'adozione della resistenza liquida per l'esame della tensione consente che si adoperi una bobinetta, percorsa in serie dalla corrente i che traversa la resistenza, e agente elettromagneticamente sul fascetto catodico. Ciò dipende dal fatto che la grandissima resistenza liquida conferisce all'intero circuito resistenza-bobinetta una costante di tempo molto grande, nonostante l'auto-induzione di questa, in modo che l'intensità della corrente che traversa il sistema è praticamente proporzionale alla tensione totale agente. E infatti, facendo agire sul tubo la bobinetta percorsa dalla corrente i della resistenza liquida, e per mezzo delle laminette, la tensione attiva ai poli del condensatore, si potè verificarne la proporzionalità esatta nelle condizioni più svariate.

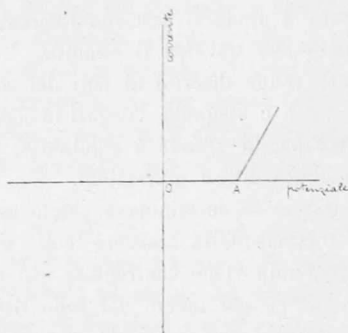
Il servirsi di una bobinetta per l'esplorazione del potenziale presenta il vantaggio che le laminette per la deviazione elettrostatica nel tubo Braun-

Wehnelt rimangono libere per la esplorazione della corrente nel tubo per raggi X, la quale, essendo variabile in limiti più ampi della tensione non può essere studiata esattamente che col metodo elettrostatico.

Nelle circostanze sopra indicate venne studiata la forma della caratteristica per tubi a raggi X di diversa provenienza e a gradi diversi di durezza. Fu ottenuta in tutti i casi una curva del tipo rappresentato nella figura.

Si riconosce da questa che il tubo si adessa in A, per un certo valore OA del potenziale, e che da quel momento la tensione cresce linearmente con l'intensità, identificandosi la salita con la discesa del diagramma. Si può quindi porre, come equazione della caratteristica:

$$V = a + bi, \text{ dove } a \text{ e } b \text{ sono costanti.}$$



Fin qui le esperienze si erano fatte servendosi della corrente alternata; si volle vedere se con la corrente continua, e quindi con un tipo di interruttore diverso, si ottenessero gli stessi risultati.

Venne adoperato un rocchetto di medio modello; la corrente primaria, fornita da una batteria di accumulatori, attraversava un interruttore Ropiquet, munito di selettore d'onda per il secondario.

La caratteristica si studiava servendosi dello stesso metodo, ossia usando la resistenza liquida per l'esplorazione del potenziale con la bobinetta, e le lamine del tubo Braun per lo studio dell'intensità.

A qualunque regime e per qualunque durezza del tubo, la caratteristica risultò del tipo $V = a + bi$, senza apparente isteresi.

Per una stessa durezza, cambiando regime, il punto di partenza della retta inclinata rimane lo stesso e l'inclinazione pure si mantiene invariata, ossia tanto a quanto b per una stessa durezza si mantengono costanti ai vari regimi.

All'aumentare della durezza il punto di partenza della salita si sposta verso destra, ossia a diventa più grande. Quanto a b , si è potuto accertare

che per i diversi tubi esso varia un po' dall'uno all'altro, ma per uno stesso tubo si mantiene sensibilmente costante al variare della durezza. Difatti, ripetendo l'esperienza con parecchi tubi, si è visto che al variare della durezza, in uno stesso tubo, la retta inclinata si sposta, mantenendosi all'incirca parallela a se stessa.

In tutti i casi da me osservati la curva della salita coincide quasi esattamente con quella del ritorno; risultato importante perchè è contrario a quanto pareva accertato da osservazioni anteriori, secondo le quali il tubo, dopo l'adescamento, presenterebbe una resistenza minore. Questi risultati possono considerarsi validi per tutti i tipi di tubi ordinari per raggi X che sono adesso in commercio, entro ampi limiti di durezza e per intensità di corrente che raggiungono i dieci milliampère-medi. Non fu creduto opportuno di sperimentare con intensità più elevate, le quali, negli apparecchi esistenti, si ottengono col prolungare la durata della corrente più che con l'accrescerne l'intensità massima; e perciò il campo di variazione della intensità e della differenza di potenziale non ne risulta ampliato in misura sensibile.

Le ricerche si stanno ora estendendo a un tubo Coolidge. In una prossima Nota saranno riprodotte le fotografie delle caratteristiche ottenute per i vari tubi e saranno dati i valori numerici corrispondenti a ciascun fotogramma.

Compio un gradito dovere terminando questo mio scritto col porgere vivi ringraziamenti al prof. Corbino per i suggerimenti e i consigli coi quali ha voluto guidarmi in questa ricerca.

Fisica. — *Sull'impiego radiografico del cromometro di Benoist per la misura del potere penetrante dei raggi X* ⁽¹⁾. Nota di G. C. TRABACCHI, presentata dal Socio P. BLASERNA.

Avendo avuto occasione di eseguire numerose radiografie di un radiocromometro di Benoist, ho potuto fare questa notevole osservazione: *Il grado di durezza letto nel radiogramma, risulta in ogni caso più elevato di quello che si può apprezzare ad occhio sullo schermo fluorescente.*

La spiegazione di questo fatto singolare, che può aver condotto a curiosi equivoci per l'uso invalso presso vari osservatori ⁽²⁾ di apprezzare il potere

⁽¹⁾ Lavoro eseguito nell'Istituto Fisico della R. Università di Roma.

⁽²⁾ Qualcuno, come Davey (Phys. Rev., vol. IV, ser. 2^a, 1914) se ne serve sistematicamente, desumendo anzi dal grado radiocromometrico la tensione ai poli del tubo; Voltz (Phys. Zeit. 16, 306 aug. 1915) critica l'uso del metodo credendo di riscontrare delle anomalie confrontando i risultati dei radiogrammi con le misure di tensione eff. ai poli del tubo. — Salomonson (Phys. Zeit., 16, 389 nov. 1915) dissente completamente dall'opinione di Voltz e ritiene che per gli scopi medici il metodo sia raccomandabile.