

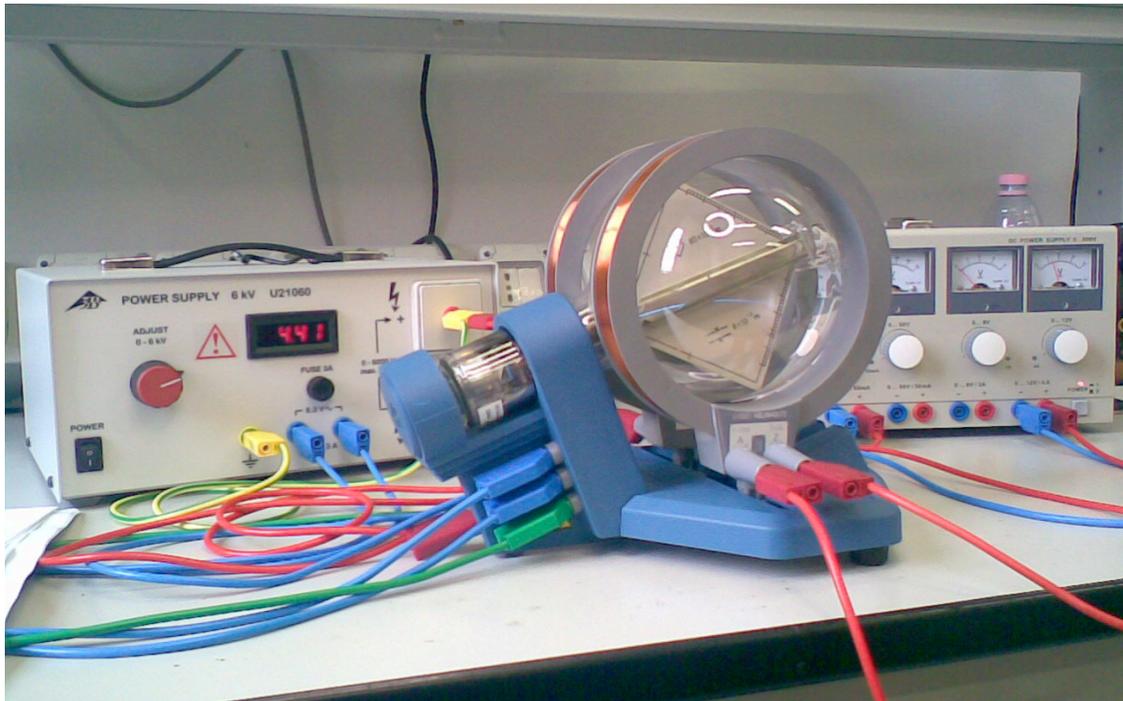
Esperimento di Thomson

Introduzione

E' realizzato sulla falsariga del classico esperimento con cui nel 1896 J.J. Thomson misurò il rapporto carica/massa delle particelle che costituiscono i raggi catodici prodotti da scariche elettriche in un gas rarefatto. Questo esperimento differisce da quello originale, a cui viene accreditata la scoperta che gli elettroni sono uno dei costituenti base di tutti gli atomi, nella versione qui proposta utilizza elettroni prodotti per effetto termoionico e permette di:

- studiare il moto di un fascio di elettroni di alta energia in presenza di campi elettrici E e di induzione magnetica B , isolati o combinati,
- misurare la velocità degli stessi elettroni,
- ricavare il segno della carica ed il rapporto carica/massa dell' elettrone

Struttura dello strumento



Una rappresentazione schematica dello strumento e' mostrata in figura 1.

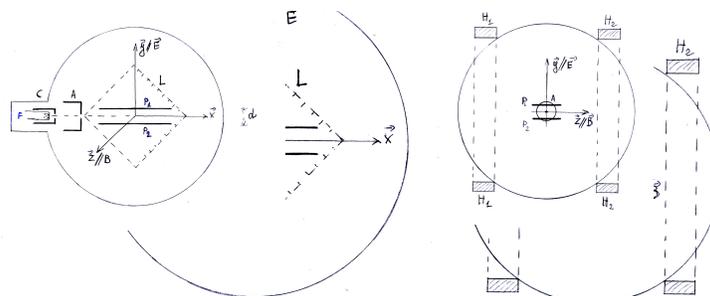


Figura 1 : Viste laterale e frontale del tubo a vuoto utilizzato per l' esperimento di Thomson

F = filamento che emette elettroni per effetto termoionico, C= catodo, A = anodo, P1 e P2 = piastre per la deflessione elettrica, metalliche tra cui viene creato il campo elettrico E , H1 e H2 = bobine di Helmholtz utilizzate per creare il campo di induzione B che produce la deflessione magnetica, L = scala graduata di lunghezza L tracciata su un supporto di mica ricoperto di materiale fluorescente ($L= 80$ mm, $d= 8$ mm)

a) **sorgente di elettroni** : e' un *cannone elettronico* costituito da un filamento di tungsteno che, alimentato da una tensione massima di 7.5 V si riscalda per effetto Joule (come avviene con il filamento di una normale lampadina ad incandescenza) ed emette per effetto termoionico elettroni di bassissima energia. Gli elettroni così prodotti escono da un foro praticato in un cilindro metallico (il *catodo*) che circonda il filamento e vengono attirati verso un secondo elettrodo (l' *anodo*) mantenuto ad un potenziale positivo rispetto al catodo. Nell' attraversare questa differenza di potenziale gli elettroni acquistano una energia cinetica

$$E_k = m_e v^2 / 2 = e (V_a - V_c) \quad (1)$$

ed una velocità'

$$v = \sqrt{(2 E_k/m_e)} = \sqrt{2 e (V_a - V_c)/m_e} \quad (2)$$

avendo indicato con $e = -1.6 \cdot 10^{-19}$ C ed $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31}$ kg rispettivamente la carica e la massa dell' elettrone e con $\Delta V = V_a - V_c > 0$ la differenza di potenziale tra anodo e catodo con ΔV compreso tra 2000 e 5000 V. Gli elettroni escono dall' anodo (attraverso un forellino) formando un *pennello* di particelle cariche, tutte con la medesima energia, regolabile, aggiustando ΔV , tra 2 keV e 5 keV (1 keV = 10^3 eV, 1 eV = $1.6 \cdot 10^{-19}$ joule).

In assenza di forze esterne il pennello di elettroni viaggia in linea retta. Questa direzione coincide con l' asse x di una terna cartesiana di riferimento.

La traiettoria del pennello di elettroni é resa visibile facendo strisciare il pennello di elettroni su un foglio di mica rivestito da una sostanza fluorescente che investita dagli elettroni emette luce. Il foglio di mica di forma quadrata con una diagonale coincidente con l' asse x, porta sui lati scale graduate utili ad individuare eventuali deviazioni del pennello di elettroni dalla traiettoria rettilinea.

Entro l'ampolla di vetro e' praticato un vuoto sufficientemente elevato da rendere trascurabili gli urti degli elettroni con il gas residuo presente nel palloncino. Le pareti dell' ampolla sono sufficientemente spesse da arrestare completamente gli elettroni che le investono.

Un apposito alimentatore fornisce la bassa tensione necessaria ad alimentare il filamento e l' alta tensione da applicare tra catodo ed anodo per accelerare gli elettroni.

*Attenzione: a) rivolgersi al personale tecnico presente in laboratorio per collegare questo alimentatore
b) non superare i 7 volt per alimentare il filamento e 5000 Volt tra catodo ed anodo*

b) **deflessione elettrica** : parallelamente alla direzione del pennello di elettroni che esce dall' anodo sono poste due piastre metalliche affacciate separate da una distanza $d=8$ mm. Applicando una differenza di potenziale $\Delta V'$ tra queste due piastre, ogni elettrone che si sta muovendo con velocità' costante v_x lungo l' asse x, vede tra le due piastre un campo elettrico uniforme

$$E = \Delta V/d \quad (3)$$

ortogonale alle due piastre e quindi ortogonale ad x. L' elettrone risente di una forza costante $F = e E$ e quindi una accelerazione

$$a = F/m_e = e E/m_e = e \Delta V/d m_e \quad (4)$$

ortogonale ad x che lo fa muovere in direzione y di moto uniformemente accelerato (verso l' alto o verso il basso a seconda del segno di ΔV). Il moto complessivo, combinazione di un moto rettilineo uniforme e di un moto uniformemente accelerato lungo direzioni ortogonali, e' una parabola, (si pensi all' analogia col moto descritto da un sasso lanciato con una certa

inclinazione rispetto alla verticale), nel piano (x,y) del foglio di mica, di equazione

$$y = a t^2/2 = a (x/v)^2/2 = (e E / 2 m_e v^2) x^2 = (e \Delta V/2d m_e v^2) x^2 = (e/m_e)(1/v^2) (\Delta V/2d)x^2 \quad (5)$$

Misurando x ed y, se la velocità' v é nota (vedi più avanti), e' possibile ricavare il rapporto carica su massa e/m_e .

Attenzione : rivolgersi al personale tecnico presente in laboratorio per alimentare le piastre deflettrici. E' disponibile un alimentatore 0 - 500 V, ma si devono mai superare i 350 V.

c) **deflessione magnetica**

Due bobine di Helmholtz applicate all' esterno dell' ampolla di vetro (che contiene il cannone elettronico, il sistema di deflessione elettrica ed il foglio di mica graduato). percorse da corrente i creano, nella regione di spazio dove gli elettroni avanzano, un campo di induzione magnetica B proporzionale ad i . Se le bobine vengono inserite nei supporti predisposti B risulta ortogonale ad E e alla direzione di avanzamento degli elettroni.

Pertanto la direzione di avanzamento degli elettroni non deflessi, il campo elettrico E ed il campo di induzione magnetica formano una terna cartesiana.

Sotto l' azione della forza di Lorentz $F_L = e v B$, esercitata da B sulla carica e in movimento con velocità' v ortogonale a B, l' elettrone descrive una orbita circolare di raggio r, o comunque un arco di cerchio lungo il quale la forza di Lorentz e la forza centrifuga $F_c = m_e v^2/r$ si bilanciano Pertanto

$$B e v = m_e v^2 / r \quad \rightarrow \quad r = m_e v / B e \quad (7)$$

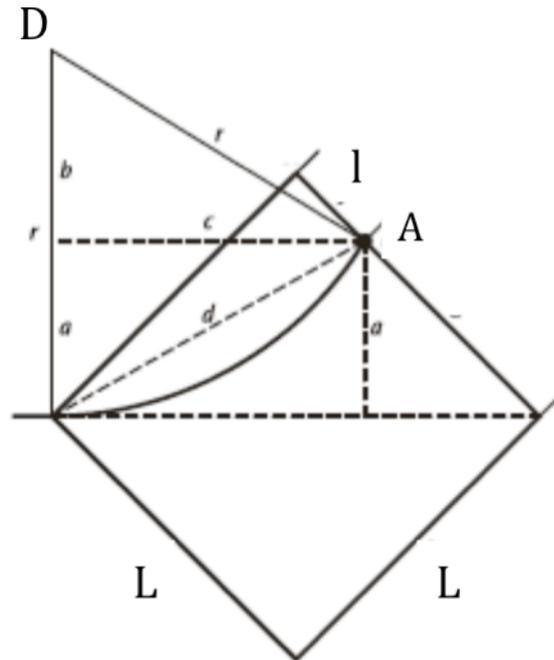


Figura 2 : calcolo del raggio di curvatura prodotto dalla deflessione magnetica

O = centro dell' orbita a cui appartiene l' arco di cerchio (linea nera curva) descritto dall' elettrone, r = raggio dell' orbita, A = intersezione dell' orbita con la scala graduata di lunghezza L = 80 mm , l = distanza del punto di intersezione dall' estremità superiore della scala graduata

(N.B. a, b, c e d sono grandezze che aiutano a trovare la relazione tra r ed l, ma non entrano nella relazione finale)

c1) Il raggio r si ricava dalle coordinate del punto in cui il pennello elettronico deflesso da B, esce dal quadrato di mica. Rifacendosi a figura 2, con un po' di geometria si trova

$$r^2 = c^2 + b^2 = c^2 + (r - a)^2 \quad \rightarrow \quad r = (c^2 + a^2) / 2a \quad \rightarrow \quad r = (L^2 + l^2) / \sqrt{2(L^2 - l^2)} \quad (8)$$

con L=80 mm.

c2) Il campo B, se la separazione d delle due bobine è uguale a raggio R delle bobine (condizione di Helmholtz) vale

$$B = (4/5)^{3/2} (\mu_0 n / R) i = k i \quad (9)$$

dove i è la corrente che scorre in ogni bobina. Poiché $\mu_0 = 4 \pi 10^{-7}$, permeabilità magnetica del vuoto, n=320, numero di spire in ogni bobina, R=68 mm, raggio della bobina, se la corrente i viene misurata in Ampere

$$k = 4.2 \text{ mT/A} \quad (10)$$

Se non è soddisfatta la condizione di Helmholtz, ($d \neq R$) B è sempre proporzionale ad i ma k cambia al variare di d e non è uniforme nello spazio delimitato dalle piastre utilizzate per applicare E.

Le due bobine, identiche, ciascuna con impedenza di circa 6 Ohm, sono alimentate a bassa tensione: regolando la tensione tra 0 e 12 V si regola la corrente che fluisce nelle bobine e quindi B.

Le due bobine possono essere poste in serie, nel qual caso la corrente fornita dal generatore coincide con i, la corrente che fluisce in una bobina. Se le bobine vengono poste in parallelo, la corrente fornita dal generatore è 2i.

Attenzione: la corrente massima che può fluire in una bobina è 1 A.

Misure effettuabili

a) *segno della carica dell' elettrone*

Applicando una differenza di potenziale tra le due piastre deflettrici una particella di carica q viene attirata dalla piastra su cui e' presente una carica di segno opposto a q .

Pertanto:

- applicare una differenza di potenziale tra le piastre deflettrici in modo che la piastra superiore abbia potenziale maggiore
- osservare la deflessione del pennello elettrico e dedurre il segno della carica degli elettroni che formano il pennello
- cosa succede invertendo il segno della differenza di potenziale tra le piastre

b) *studio della deflessione elettrica*

Eliminare B togliendo l' alimentazione alle bobine di Helmholtz ed applicare una differenza di potenziale $\Delta V < 350$ V tra le piastre deflettrici. Poi

a) osservare la forma della curva descritta dal pennello elettronico ed approfittando delle intersezioni di tale curva con le scale graduate tracciate sui bordi del quadrato di mica verificare che tali intersezioni siano consistenti con la relazione $y = \text{costante } x^2$ suggerita dalla (5)

b) come cambia la curva variando l' ampiezza ed il segno della differenza di potenziale ?

Vale ancora la relazione (5) ?

c) *studio della deflessione magnetica*

Togliere la differenza di potenziale tra le piastre deflettrici e far scorrere nelle bobine una corrente $i < 1$ A

a) osservare la forma della curva descritta dal pennello elettronico ed approfittando delle intersezioni di tale curva con le scale graduate tracciate sui bordi del quadrato di mica verificare che tali intersezioni siano consistenti con un arco di cerchio,

b) rifacendosi alle (7) e (8) e a figura 2 ricavare il raggio del cerchio

c) cambiando l' intensita' ed il segno di i come cambia la curva? E' sempre un arco di cerchio ?

Cosa succede del suo raggio

d) *misura della velocita' degli elettroni*

Fissata ad un valore qualsiasi la differenza di potenziale ΔV tra anodo e catodo, applicare una differenza di potenziale tra le piastre deflettrici. Alimentare quindi le bobine di Helmholtz e regolare intensita' e segno della corrente fino ad annullare gli effetti della deflessione elettrica. In queste condizioni le forze elettriche e magnetiche sono uguali e contrarie per cui

$$e E = e v B \rightarrow v = E/B \quad (11)$$

Calcolare ora E con la (3), B con le (10) ed (11) e ricavare v con la (11).

Confrontare il numero così ottenuto con il valore di v calcolato utilizzando la (2).

Cosa succede, a parità di B , cambiando $(V_a - V_c)$ o ΔV ?

e) *misura del rapporto e/m_e .*

--Applicare un valore fisso di $(V_a - V_c)$ tra anodo, togliere ΔV e accendere B alimentando le bobine.

Misurare il raggio r dell' arco di cerchio e dalla (7) ricavare

$$e/m_e = v/r B \quad (12)$$

Sono possibili a questo punto due vie:

a) metodo semplice: ricavare v dalla (2)

b) metodo di Thomson : applicare E fino ad annullare la deflessione e ricavare v per mezzo della (11)

Avendo v , dalla (12) si ottiene immediatamente (e/m_e)

Alcuni suggerimenti per i piu' curiosi

a) Verificare che e/m_e non dipende dall' energia degli elettroni.

b) Discutere i vantaggi e gli svantaggi dei due modi proposti a) e b) per ricavare v .

c) Come si confronta il valore dell' induzione B del campo magnetico terrestre con il campo B utilizzato in questo esperimento ? Puo' disturbare le misure ?