

MISURA DEL RAPPORTO CARICA MASSA DELL'ELETTRONE

Materiale utilizzato

- ♣ Tubo catodico, formato da:
 - Tubo di deflessione con condensatore
 - Griglia fluorescente
- ♣ 3 alimentatori
- ♣ Bobine di Helmholtz
- ♣ cavetti

Premessa teorica

L'**elettrone** (rappresentato solitamente con il simbolo e^-) è una particella elementare ed è la componente a carica negativa della materia ordinaria. È la particella più leggera che sia dotata di carica e secondo tutte le prove sperimentali svolte, l'elettrone è una particella stabile. Delle tre particelle che costituiscono gli atomi, l'elettrone è anche il più piccolo, la sua **massa è infatti $9,1 \cdot 10^{-28}$ gr**. Il raggio dell'elettrone è così piccolo che non si è ancora riusciti a misurarlo; per questo diciamo che è puntiforme. Sappiamo inoltre che è privo di struttura interna, cioè è una particella fondamentale, in quanto non composta da altre più piccole. Insieme a protoni (carichi positivamente) e ai neutroni (neutri) costituisce la materia ordinaria e quindi la struttura dell'atomo.

Gli elettroni di un atomo, numericamente uguali al numero di protoni, si muovono attorno a un nucleo composto da protoni (p) e neutroni (n); il volume di un atomo è quasi del tutto occupato dalla nuvola elettronica distribuita attorno al nucleo, quest'ultimo occupa infatti solo una frazione piccolissima dell'intero volume dell'atomo.



Gli elettroni furono scoperti da J. J. Thomson nel 1897 nei processi di produzione dei raggi catodici. Nei suoi esperimenti **Thomson** utilizzò un **tubo di Crookes**: si tratta di un tubo di vetro resistente che viene mantenuto sotto vuoto spinto, alle estremità sono applicati due elettrodi collegati rispettivamente con il polo positivo (anodo) e con il polo negativo (catodo) di un generatore di corrente. Quando la differenza tra gli

elettrodi raggiunge un valore elevato (ad esempio 10000 volt) e la pressione interna un valore bassissimo, si osserva l'emissione di raggi luminosi che, partendo dal catodo e propagandosi in linea retta, si dirigono verso l'anodo provocando sul vetro una tenue luminosità.

Tale fenomeno fu messo in relazione con possibili radiazioni che potevano essere prodotte dal catodo e che furono chiamate raggi catodici. Oggi sappiamo che si tratta di elettroni che si muovono dal catodo all'anodo rendendo la parete che colpiscono fluorescente, che quindi **possiedono una quantità di moto e di conseguenza anche una massa**.

Successivi studi dimostrarono che tali raggi si propagano in linea retta dal polo negativo al polo positivo, infatti i raggi proiettavano sulla parete l'ombra di un oggetto, la croce di malta, frapposto nel loro cammino. I raggi catodici hanno una **propagazione rettilinea e trasmettono energia**, perché se passa molto tempo la croce di malta diventa incandescente.

Finalmente, nel 1895, il fisico francese J. B. Perrin osservò che un elettroscopio, colpito da radiazioni catodiche, si elettrizzava negativamente. Dimostrò in questo modo che i raggi catodici (ovvero gli elettroni) erano **dotati di carica negativa**. Successivi esperimenti dimostrarono che i raggi catodici erano dotati anche di una certa massa; infatti i raggi catodici erano in grado di fare

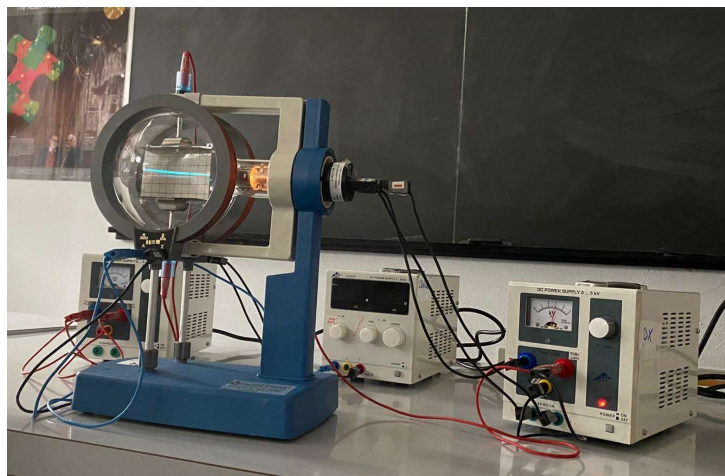


ruotare un mulinello interposto nel loro cammino. L'abbiamo potuto verificare anche noi in laboratorio: se collego il tubo catodico ad un alternatore si forma un fascio di elettroni, visibile perché lo schermo su cui sono proiettati è trasparente. Quando avvicino un magnete il fascio si piega (a seconda del polo) dimostrando che possiede carica elettrica.

$1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ è la carica dell'elettrone, la misura diretta più precisa della carica venne effettuata dal fisico statunitense Robert A. Millikan per mezzo di un esperimento atto a determinare il valore delle cariche distribuite su goccioline d'olio in aria equilibrando con un opportuno campo elettrico il peso delle goccioline stesse. Il peso delle goccioline viene stabilito misurando la velocità di caduta libera nell'aria e inserendo tale valore nella formula della legge di Stokes, che permette di calcolare, per una sferetta che si muove lentamente, la resistenza che il mezzo viscoso esplica su essa. Si trova così che le cariche misurate sono multipli interi di e .

Lo strumento che abbiamo usato è un tubo catodico, già usato l'anno scorso per verificare la forza di Lorentz. All'interno del tubo catodico, alimentato da un generatore da 5000 V, il catodo si scalda da origine

ad un fascio di elettroni che attraverso il tubo sferico sottovuoto, ad una pressione di 10^{-3} Tor . All'interno di questo, si trova una griglia centimetrata e due lamine che rappresentano le armature del condensatore che generano un campo elettrico verticale e positivo, che devia gli elettroni. Esternamente si trovano due bobine di rame, o anche dette bobine di Helmholtz, che producono un campo magnetico uniforme. Sia il tubo catodico, sia le bobine di Helmholtz, ma anche le armature del condensatore sono alimentati da tre alimentatori differenti.



Quando viene iniettato un fascio di elettroni tra le 2 armature del condensatore questi non sentono alcuna forza orizzontale, per cui si muovono di moto rettilineo uniforme; per via del campo elettrico uniforme tra le armature sentono invece una forza elettrica verso l'alto: $F_{el} = eE = e \frac{\Delta V}{d}$

E sente verticalmente un'accelerazione verso il basso: $a = \frac{F_{el}}{\text{massa elettrone}} = \frac{e \Delta V}{m_e d}$

Combinando i due moti ottengo: $x = V_0 \cdot t$
 $y = \frac{1}{2} \frac{e \Delta V}{m_e d} t^2$

Queste equazioni descrivono un moto parabolico.

Sostituendo la t nella seconda equazione otteniamo: $y = \frac{1}{2} \frac{e \Delta V}{m_e d} \frac{x^2}{V_0^2} \rightarrow \frac{e}{m_e} = 2y \frac{d V_0^2}{\Delta V x^2}$

In questa equazione l'unica incognita, oltre al rapporto carica massa, è la velocità dell'elettrone: grazie alle bobine di Helmholtz che producono un campo magnetico uniforme, uscente e perpendicolare al fascio di elettroni e al campo elettrico, l'elettrone sente una forza di Lorentz $F_L = q V_0 \wedge B = e V_0 B \text{ sen}90 = e V_0 B$. Quindi, oltre a sentire una forza elettrica verso l'alto, sente una forza magnetica verso il basso (per la regola della mano destra (il pollice indica la direzione degli elettroni, verso sinistra, l'indice la direzione del campo magnetico, uscente, per cui il medio, che indica la forza magnetica sentita dagli elettroni, dovrebbe andare verso l'alto ma in quanto l'elettrone è una carica negativa la direzione è l'opposta, quindi verso il basso).

Per cui, se riesco a far passare un campo magnetico in modo tale che $F_{el} = F_m$ ottengo, attraverso la formula inversa la velocità di e^- (V_0):

$$\begin{aligned} F_{el} &= F_m \\ eE &= e V_0 B \\ V_0 &= \frac{E}{B} \end{aligned}$$

Dalle bobine di Helmholtz ricavo il campo magnetico: $B = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \frac{\mu_0 N i_H}{R} = 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot i_H$, dove i_H è l'intensità di corrente che alimenta le bobine. Mentre la distanza tra le armature ($d = 0,054$ m), la lunghezza della lastra fluorescente sono conosciute ($x = 0,07$ m), i_H , ΔV (il potenziale tra le piastre) e l'altezza della curva (y) variano con le misurazioni.

Esecuzione dell'esperienza

Per prima cosa abbiamo osservato il comportamento del fascio di elettroni in assenza del campo magnetico; grazie ad una piastra che a contatto con gli elettroni diventa fosforescente, abbiamo notato che il fascio era rappresentato da una linea retta.

Una volta introdotto il campo magnetico, la linea si curva, poiché il fascio ha subito una deviazione verso l'alto.

Una volta accesi i generatori, aumentando l'intensità di corrente con l'ausilio dell'amperometro, abbiamo modificato il percorso del fascio affinché raggiungesse dei punti sulla griglia centimetrata scelti da noi (y); mettendo in funzione le bobine di Helmholtz abbiamo fatto in modo da far passare una corrente i_H che riportasse il fascio di elettroni sulla linea retta.

A questo punto abbiamo annotato in una tabella i valori di y , dell'intensità di corrente (i_H) e della differenza di potenziale tra le piastre (ΔV); abbiamo calcolato il valore del campo magnetico e del campo elettrico e di conseguenza anche V_0 . A questo punto abbiamo tutti i dati per calcolare il rapporto tra carica e massa dell'elettrone.

Il valore che abbiamo trovato, dopo aver fatto la media delle 4 misurazioni, va confrontato con il valore trovato tramite strumenti più precisi (che si trova su internet).

Dati ed esecuzione

#	ΔV [V]	i_H [A]	y [m]	E [V/m]	B [T]	V_0 [m/s]	$\frac{e}{m_e}$ [C/Kg]
1	1100	0,09	0,005	20370,3	0,000378	$5,4 \cdot 10^7$	$2,9 \cdot 10^{11}$
2	2000	0,19	0,010	37037,0	0,000798	$4,6 \cdot 10^7$	$2,3 \cdot 10^{11}$
3	3000	0,30	0,015	55555,5	0,00126	$4,4 \cdot 10^7$	$2,1 \cdot 10^{11}$
4	5000	0,46	0,020	92592,6	0,00193	$4,8 \cdot 10^7$	$2,0 \cdot 10^{11}$

#1

$$E = \frac{\Delta V}{d} = \frac{1100 \text{ V}}{0,054 \text{ m}} = 20370,3 \text{ V/m}$$

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \frac{\mu_0 N i_H}{R} = 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot i_H = 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,09 = 0,000378 \text{ T}$$

$$V_0 = \frac{E}{B} = \frac{20370,3}{0,000378} = 5,4 \cdot 10^7 \text{ m/s}$$

$$\frac{e}{m_e} = 2y \frac{d}{\Delta V} \frac{V_0^2}{x^2} = 2(0,005) \frac{0,054 (5,4 \cdot 10^7)^2}{1100 (0,07)^2} = 2,9 \cdot 10^{11} \text{ C/Kg}$$

#2

$$E = \frac{\Delta V}{d} = \frac{2000 \text{ V}}{0,054 \text{ m}} = 37037,0 \text{ V/m}$$

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \frac{\mu_0 N i_H}{R} = 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot i_H = 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,19 = 0,000798 \text{ T}$$

$$V_0 = \frac{E}{B} = \frac{37037,0}{0,000798} = 4,6 \cdot 10^7 \text{ m/s}$$

$$\frac{e}{m_e} = 2\gamma \frac{d}{\Delta V} \frac{V_0^2}{x^2} = 2(0,010) \frac{0,054 (4,6 \cdot 10^7)^2}{2000 (0,07)^2} = 2,3 \cdot 10^{11} \text{ C/Kg}$$

#3

$$E = \frac{\Delta V}{d} = \frac{3000 \text{ V}}{0,054 \text{ m}} = 55555,5 \text{ V/m}$$

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \frac{\mu_0 N i_H}{R} = 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot i_H = 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,30 = 0,00126 \text{ T}$$

$$V_0 = \frac{E}{B} = \frac{55555,5}{0,00126} = 4,4 \cdot 10^7 \text{ m/s}$$

$$\frac{e}{m_e} = 2\gamma \frac{d}{\Delta V} \frac{V_0^2}{x^2} = 2(0,015) \frac{0,054 (4,4 \cdot 10^7)^2}{3000 (0,07)^2} = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ C/Kg}$$

#4

$$E = \frac{\Delta V}{d} = \frac{5000 \text{ V}}{0,054 \text{ m}} = 92592,6 \text{ V/m}$$

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \frac{\mu_0 N i_H}{R} = 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot i_H = 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,46 = 0,00193 \text{ T}$$

$$V_0 = \frac{E}{B} = \frac{92592,6}{0,00193} = 4,8 \cdot 10^7 \text{ m/s}$$

$$\frac{e}{m_e} = 2\gamma \frac{d}{\Delta V} \frac{V_0^2}{x^2} = 2(0,020) \frac{0,054 (4,8 \cdot 10^7)^2}{5000 (0,07)^2} = 2,0 \cdot 10^{11} \text{ C/Kg}$$

Media $(2,9 \cdot 10^{11} + 2,3 \cdot 10^{11} + 2,1 \cdot 10^{11} + 2,0 \cdot 10^{11}):4 = (9,3 \cdot 10^{11}):4 = 2,32 \cdot 10^{11} \text{ C/Kg}$

$$\text{Scarto \%} = \frac{(\text{magg} - \text{min})}{\text{magg}} \times 100 = \frac{(2,32 \cdot 10^{11} - 1,78 \cdot 10^{11})}{2,32 \cdot 10^{11}} \times 100 = \mathbf{23,2 \%}$$

Conclusione

Dato che lo scarto percentuale ha un valore accettabile possiamo affermare che l'esperienza sia riuscita con successo. Ovviamente la percentuale non sarà mai molto vicina allo 0 per via degli errori nel momento della raccolta dei dati.