

ESPERIENZA DI THOMSON: MISURA DEL RAPPORTO CARICA / MASSA DELL'ELETTRONE

Lo scopo di questa esperienza è stato quello di misurare il rapporto carica/massa dell'elettrone.

Materiale utilizzato:

- bobine di Helmholtz con relativo alimentatore
- tubo a vuoto (vuoto spinta a 10^{-5} atm) con all'interno una piastra fosforescente
- alimentatore
- voltmetro (fondoscala 5 kV)

Premessa:

Fin verso la fine del secolo scorso, si riteneva che l'elettricità fosse costituita da un fluido elettrico oppure da due fluidi elettrici uno positivo e l'altro negativo.

Per la prima volta G. C. Stoney nel 1874 propose l'idea dell'esistenza di una quantità minima d'elettricità non ulteriormente suddivisibile per spiegare in modo semplice le leggi dell'elettrolisi. Stoney riuscì anche a valutare correttamente l'ordine di grandezza della carica di questo atomo d'elettricità per il quale egli stesso propose in seguito (1891) il nome di elettrone.

La prima conoscenza dell'elettrone, nel senso in cui si usa attualmente questa parola, si ebbe nello studio del passaggio della scarica elettrica nei gas rarefatti; precisamente nel fenomeno dei raggi catodici.

Lo studio fisico delle proprietà dei raggi catodici ha dimostrato che essi sono costituiti da una proiezione di elettroni, che vengono lanciati dalla superficie del catodo con una velocità assai alta dipendente dalla differenza di potenziale applicata al tubo di scarica. Una delle prove più semplici del fatto che i raggi catodici sono una proiezione di corpuscoli elettricamente negativi, è data dalle deviazioni che essi subiscono quando attraversano un campo elettrico o un campo magnetico.

Alla stessa conclusione si arriva osservando la deviazione che subisce un fascio di raggi catodici attraversando un campo magnetico.

L'osservazione della deviazione elettrica e magnetica dei raggi catodici, oltre a indicarci il segno della carica elettrica dei corpuscoli che li costituiscono, ci permette anche di misurare la loro velocità e il rapporto e/m tra la carica elettrica e la massa dei corpuscoli.

Infatti quando un elettrone di carica elettrica q si trova in un campo elettrico d'intensità E , si esercita su di esso una forza:

$$\vec{F}' = q\vec{E}$$

dove q è la carica dell'elettrone.

Similmente si esercita una forza sull'elettrone quando questo si muove in un campo magnetico d'intensità B . Questa seconda forza è data, conformemente alle leggi dell'elettrodinamica, dall'espressione:

$$\vec{F}'' = q\vec{v} \wedge \vec{B}$$

essendo v la velocità della carica elettrica.

Quando l'elettrone si muove in una regione dello spazio in cui si abbia simultaneamente un campo elettrico E e un campo magnetico B , la forza che agisce su di esso è la somma vettoriale delle due forze F' e F'' dovute ai due campi.

È possibile costruire un apparato sperimentale in cui il fascio di elettroni viene fatto passare fra le armature di un condensatore, parallelamente ad esse. Due bobine percorse da corrente (bobine di Helmholtz) generano inoltre un campo magnetico perpendicolare al campo elettrico.

Consideriamo dapprima l'effetto della forza F' esercitata da un campo elettrico, che supporremo uniforme e parallelo all'asse y . La forza qE esercitata sul corpuscolo dal campo E , sarà essa pure parallela all'asse y e avrà grandezza costante; essa imprimerà perciò al corpuscolo un'accelerazione qE/m , essa pure costante in grandezza e direzione. Il moto del corpuscolo sarà perciò un moto parabolico uniformemente accelerato. Se il corpuscolo parte dall'origine O delle coordinate avendo velocità v parallela all'asse delle x , si ha dalle note formule del moto uniformemente accelerato che la sua posizione, dopo trascorso il tempo t , avrà per coordinate

$$X = v_0 t$$

$$Y = \frac{1}{2} a t^2 = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} t^2$$

da cui, eliminando t , si ottiene l'equazione della traiettoria del corpuscolo

$$Y = \frac{1}{2} * \frac{qE}{m} * \frac{x^2}{v_0^2}$$

Da questa equazione si ricava:

$$\frac{q}{m} = \frac{2 * Y * V_0^2}{E * x^2}$$

Essendo note le dimensioni fisiche dell'apparato sperimentale sono note la lunghezza x percorsa dagli elettroni all'interno del condensatore e la distanza d fra le armature. Da questi dati si può calcolare il campo elettrico E :

$$E = V_p / d$$

Dove V_p è la differenza di potenziale (nota) applicata fra le armature del condensatore.

La deflessione Y può anch'essa essere misurata direttamente.

Resta da determinare la velocità V_0 degli elettroni.

Siccome la velocità v_0 dei raggi catodici è perpendicolare alle linee di forza del campo magnetico, avremo, che sugli elettroni si esercita una forza perpendicolare alla traiettoria. Sotto l'azione di questa forza la traiettoria verrà deflessa in direzione opposta alla deflessione causata dal campo elettrico.

Regolando opportunamente la tensione V_p e l'intensità di corrente che percorre le bobine è possibile fare in modo che i due effetti si annullino ed il raggio non subisca alcuna deflessione. In questa situazione:

$$qE = qV_0B$$

da cui si ricava

$$V_0 = E/B$$

Il campo magnetico generato da una bobina può essere calcolato con la formula:

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \times \frac{\mu r * N * I h}{R}$$

dove i_h è l'intensità di corrente (nota) fornita dal generatore che alimenta le bobine.

E' quindi possibile ricavare il rapporto

$$\frac{q}{m} = \frac{2*Y*Vo^2}{E*x^2}$$

che rappresenta il rapporto fra la carica q (normalmente indicata con la lettera e) e la massa dell'elettrone.

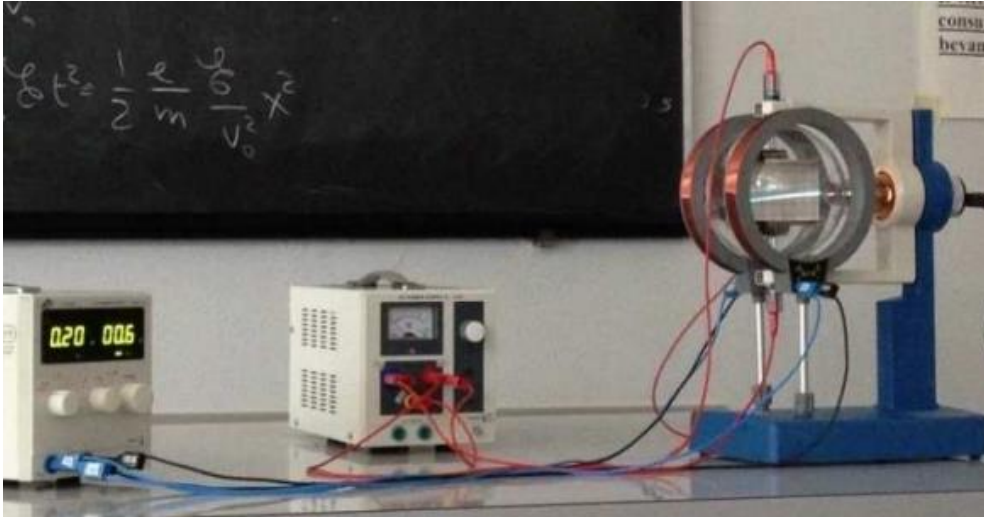
Con metodi basati sostanzialmente sopra il principio qui esposto si è trovato che la velocità degli elettroni può essere differente a seconda delle condizioni della scarica in cui essi sono prodotti; essa è tanto maggiore quanto più grande è la differenza di potenziale applicata al tubo di scarica. Invece il rapporto e/m tra la carica e la massa degli elettroni ha sempre lo stesso valore, entro i limiti degli errori sperimentali, qualunque siano le condizioni della scarica, il gas che si trova nel tubo o i metalli di cui sono costituiti gli elettrodi.

La costanza di questo rapporto induce a ritenere che esista una sola specie di elettroni che costituiscono raggi catodici.

Essendo noto, come abbiamo visto, il rapporto e/m tra la carica e la massa dell'elettrone, per conoscere separatamente i valori di queste due grandezze basta misurarne una sola. Le prime misure dirette della carica dell'elettrone sono dovute a J. S. Townsend; oggi conosciamo con notevole esattezza il valore della carica dell'elettrone grazie alle misure di R. A. Millikan.

Svolgimento dell'esperienza:

Per lo svolgimento dell'esperienza abbiamo utilizzato un apparato sperimentale come quello descritto in premessa.



La lunghezza x delle armature del condensatore era di 0,07m.

La distanza d fra le armature era di 0,034m.

Abbiamo regolato la differenza di potenziale V_p fra le armature su diversi valori, misurando la deflessione y causata dal campo elettrico. Per ciascuna di queste impostazioni, abbiamo poi letto sull'amperometro incorporato nel generatore che alimentava le bobine l'intensità di corrente i_h necessaria ogni volta per annullare la deflessione.

Abbiamo inoltre calcolato l'intensità del campo elettrico E come V_p/d e il campo magnetico B utilizzando la formula:

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \times \frac{\mu r * N * I_h}{R}$$

che considerate le caratteristiche fisiche delle bobine nel nostro caso dava il valore di

$$4,2 * 10^{-3} * i_h \text{ T}$$

Abbiamo quindi calcolato V_0 come rapporto E/B

Abbiamo potuto così calcolare il rapporto e/m utilizzando la formula

$$\frac{e}{m} = \frac{2 * Y * V_0^2}{E * x^2}$$

già citata in premessa.

La tabella seguente riporta i risultati delle diverse misurazioni

#	Vp [V]	Ih [A]	y [m]	E [V/m]	B [T]	Vo [m/s]	e/m [C/Kg]
Esperienza 1	1000	0,16	0,008	29411,765	6,72E-04	4,38E+07	2,1267E+11
Esperienza 2	1400	0,19	0,01	41176,471	7,98E-04	5,16E+07	2,63923E+11
Esperienza 3	2200	0,34	0,013	64705,882	1,43E-03	4,53E+07	1,6837E+11
Esperienza 4	2800	0,39	0,016	82352,941	1,64E-03	5,03E+07	2,0045E+11
Esperienza 5	4400	0,57	0,02	129411,76	2,39E-03	5,41E+07	1,84327E+11

La media fra le misurazioni effettuate ci porta a stimare il rapporto e/m al valore di $2,06 \times 10^{11}$ C/Kg.

Conclusioni:

Il valore del rapporto e/m reperibile in letteratura è di 1.78×10^{11} C/Kg.

Lo scarto percentuale rispetto alla nostra misura risulta essere del 13,5%, che può essere considerato un risultato esatto nei limiti degli errori sperimentali inevitabili con le semplici strumentazioni a nostra disposizione.