

ESPERIENZA DI J.J. THOMSON

SCOPO: misura sperimentale del rapporto carica-massa dell'elettrone ($\frac{e}{m}$)

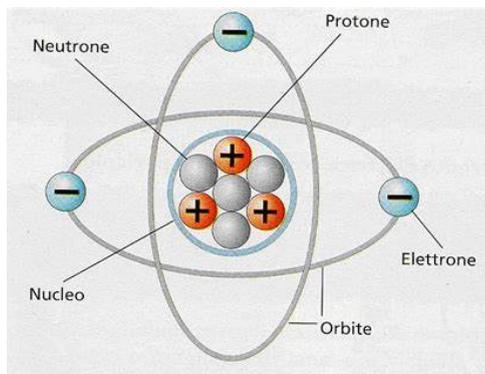
PREMESSA TEORICA:

Carica elettrica ed elettrone: esperienza di Millikan ed esperienza di J.J Thomson

La carica elettrica è una carica fisica, scalare e dotata di segno, responsabile di una delle interazioni fondamentali della materia, l'interazione elettromagnetica.

Essa è una grandezza fisica fondamentale definita come la quantità di elettricità di cui è dotato un corpo e la sua unità di misura nel Sistema Internazionale (SI) è il coulomb (C). Inoltre, la carica elettrica è una grandezza quantizzata, poiché se non si considerano i quark (particelle elementari costituite fundamentalmente dalla materia) non è stato scoperto alcun oggetto che possiede una carica inferiore a quella dell'elettrone e per tale motivo il suo valore è considerato l'unità di carica elettrica fondamentale, essendo tutte le quantità di carica suoi multipli.

Ossia, la carica elettrica esiste solo in forma di multipli di una quantità fondamentale che è la carica dell'elettrone, che è negativa, indicata con e ed è pari a $-1,6 \cdot 10^{-19} C$.



L'elettrone venne scoperto da J.J. Thomson essere una particella subatomica con carica elettrica negativa che insieme ai protoni e ai neutroni costituisce gli atomi che compongono la materia e, sebbene contribuisca in maniera quasi trascurabile alla massa atomica avendo essa massa pari a $9,1 \cdot 10^{-31} kg$ mentre un protone ha massa pari a $1,67 \cdot 10^{-27} kg$ è di fondamentale importanza per definire le proprietà chimiche degli elementi.

Esperienza di J.J. Thomson:



Influenzato dagli studi di Maxwell e dalla scoperta dei raggi X, Joseph John Thomson dedusse che i raggi catodici fossero composti da particelle di carica negativa, che chiamò *corpuscoli*, successivamente diventati noti come elettroni. In precedenza Stoney aveva presupposto l'elettrone come l'unità di carica in elettrochimica, ma Thomson comprese subito che in realtà esso era una particella subatomica, la prima ad essere scoperta.

Nel 1896 Thomson con i suoi colleghi Townsend e Wilson, svolse una serie di esperimenti che dimostrarono che i raggi catodici erano costituiti da singole particelle, piuttosto che onde, atomi o molecole come si riteneva in precedenza.

Thomson stimò in maniera accurata la carica e la massa di tali particelle, trovando che esse avevano probabilmente una massa migliaia di volte inferiore a quella dello ione idrogeno (H^+), lo ione più leggero che si conoscesse a quel tempo.

Thomson inoltre mostrò come il rapporto carica/massa (e/m), uguale a $5,273 \times 10^{17} \text{ e/g}$, fosse indipendente dal materiale del catodo e come le particelle cariche negativamente prodotte dai materiali radioattivi, dai materiali riscaldati e dai raggi catodici fossero riconducibili tutte alla stessa entità.

La sua scoperta gli portò una certa fama e gli consentì di vincere il Nobel in fisica nel 1906.

Per ironia della sorte, anni dopo, nel 1937, il figlio George Paget Thomson ricevette lo stesso premio ma per aver dimostrato che l'elettrone si comporta (anche) come un'onda.

Nel 1912 realizzò il primo spettrometro di massa, uno strumento che consentiva e consente di determinare il rapporto tra la massa e la carica degli ioni e che da allora è diventato uno strumento molto utilizzato nella chimica.

Esperienza di Millikan:



La carica degli elettroni fu misurata con maggiore precisione dal fisico americano Robert Millikan e Harvey Fletcher nel loro esperimento della goccia d'olio del 1909, i cui risultati furono pubblicati nel 1911.

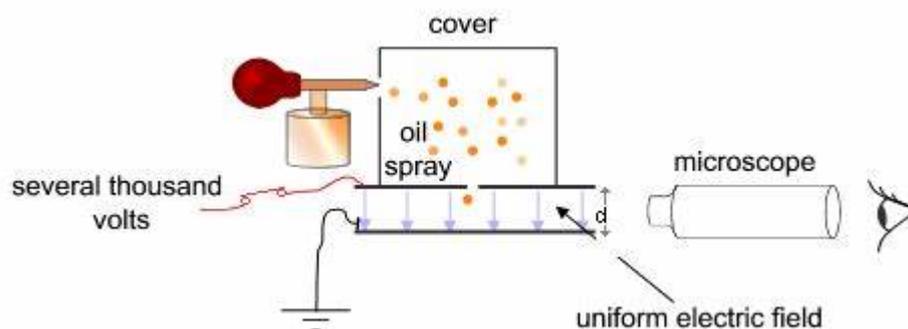
Dunque, esperienza fondamentale che ha portato a determinare la carica elettrica di un elettrone è l'esperienza di Millikan.

L'apparecchio utilizzato da Millikan durante tale esperienza viene da lui usato per verificare la quantizzazione della carica elettrica e per determinare la carica elementare osservando il movimento di singole goccioline d'olio cariche in presenza di un campo elettrico uniforme.

Il campo elettrico uniforme e costante viene generato tramite un condensatore a facce piane, e la sua intensità può essere

variata attraverso un generatore di tensione.

L'esperienza si divide in due fasi: durante la prima viene analizzato il moto di una goccia d'olio tra le armature di un condensatore in assenza del campo, invece durante la seconda viene analizzato il moto di una goccia d'olio tra le armature di un condensatore ma questa volta con l'applicazione del campo.



prima fase: viene nebulizzato dell'olio all'interno del condensatore, in questo modo le goccioline di olio si caricano per strofinio e per mezzo dell'attrazione gravitazionale cadono verso il basso con una velocità di caduta che viene considerata costante.

Osservando attraverso un microscopio una gocciolina di olio viene misurato con un cronometro il tempo che essa impiega a percorrere un determinato spazio (S) che verrà mantenuto costante per tutte le misurazioni.

Possiamo dunque ricavare la velocità di caduta della gocciolina d'olio presa in considerazione anche il suo raggio.

seconda fase: viene attivato il generatore di tensione.

Fatto ciò possiamo incorrere in due casi diversi.

Il primo in cui la forza elettrica è uguale ed opposta alla forza peso e quindi la sommatoria delle forze è nulla e non vi è variazione di velocità.

Il secondo in cui la goccia, soggetta al campo elettrico, subisce una piccola accelerazione per poi stabilizzarsi quando la sommatoria delle forze in gioco su di essa sarà nulla, e muoversi in maniera uniforme.

Come nella fase 1 viene poi misurato con un cronometro il tempo impiegato dalla goccia per percorrere lo spazio " S " (a cui abbiamo fatto riferimento anche nella prima fase dell'esperienza), ed in questo modo si può calcolare la velocità di caduta della goccia d'olio con il campo applicato.

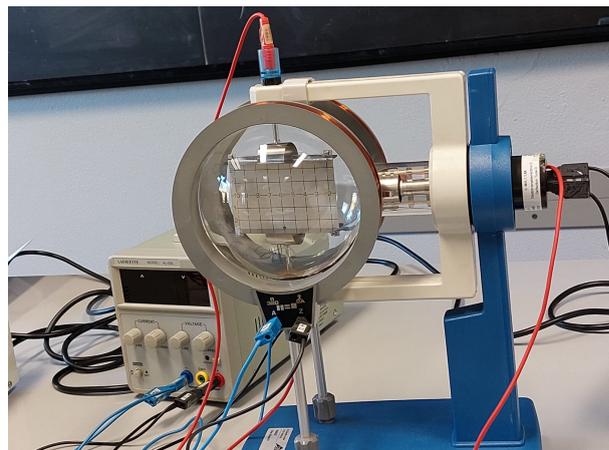
Ora sviluppando e mettendo in relazione l'equazione della sommatoria delle forze della fase 2 e con quella della fase 1, possiamo ricavare la carica presente sulla goccia d'olio in analisi. Millikan nel suo esperimento eseguì molte misurazioni, e da esse riscontrò che tutte le cariche trovate sono multipli di una carica elementare minima (e) definita come carica dell'elettrone.

MATERIALE UTILIZZATO:

- **Bobine di Helmholtz:** configurazione di bobine metalliche circolari a 320 spire, percorse da corrente elettrica che genera un campo magnetico in buona approssimazione uniforme.



- **Cavetti:** cavi utilizzati per collegare tra loro le varie componenti del circuito utilizzato nel corso dell'esperienza di laboratorio.
- **Griglia o piastra:** piastra centimetrata che diviene fluorescente quando viene attraversata da un fascio di elettroni.



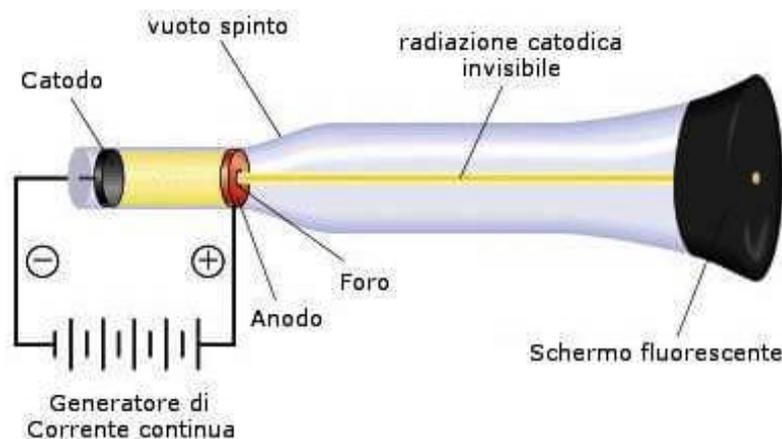
- **Condensatore:** componente del circuito elettrico costituito da due corpi conduttori, detti armature del condensatore, separate tra loro da un dielettrico. Esso si trova in questo caso inserito all'interno dell'ampolla e genera un campo elettrico diretto verso il basso.

- **Tubo catodico:**

Il tubo catodico, detto anche tubo a raggi catodici, in sigla CRT è un tubo elettronico, normalmente a vuoto (all'interno del quale in realtà sono presenti dei gas altamente rarefatti) utilizzato in passato e sino agli inizi degli anni duemila per realizzare vari tipi di apparecchi elettronici, i più noti dei quali sono gli schermi del PC, la telecamera e i televisori di vecchia generazione, detti appunto televisori a tubo catodico.

Ad oggi il tubo catodico viene utilizzato per esempio in laboratorio, come nel nostro caso, per visualizzare un segnale elettrico su uno schermo luminescente.

Il primo tubo a raggi catodici della storia è stato il tubo di Crookes, realizzato dal chimico e fisico britannico William Crookes, nella seconda metà del diciannovesimo secolo ed utilizzato successivamente dal fisico britannico Joseph John Thomson nei suoi esperimenti che lo portarono a vincere il premio Nobel per aver dimostrato che gli elettroni sono delle particelle.



Il tubo catodico è un tubo realizzato in vetro, mantenuto a bassissime pressioni, alle estremità del quale sono applicati due elettrodi collegati rispettivamente con il polo positivo (anodo) e il polo negativo (catodo) di un generatore di corrente.

Quando la differenza di potenziale tra gli elettrodi raggiunge valori parecchio elevati (al di sopra dei 10 KV) e la pressione all'interno del tubo in vetro valori bassissimi (inferiori a 10^{-6} atm) il vetro di fronte al catodo emette una lieve luminescenza.

Tale fenomeno è dovuto ai raggi catodici, che sono un flusso di elettroni emessi dal catodo che si muovono verso l'anodo rendendo fluorescente la parete del tubo che colpiscono.

Dunque, in un tubo a raggi catodici gli elettroni sono emessi da un filamento riscaldato dalla corrente: se la temperatura è abbastanza elevata, alcuni elettroni acquistano un'energia sufficiente ad allontanarsi dal metallo.

Questi elettroni vengono accelerati dalla differenza di potenziale esistente tra l'anodo e il catodo e a causa del passaggio all'interno di un piccolo foro presente sull'anodo, un fascio di elettroni colpisce uno schermo causando una fonte fluorescente nel punto colpito.

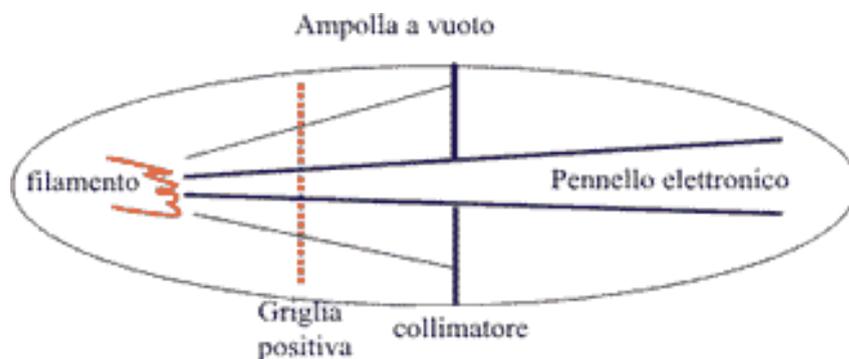
Se si applica una differenza di potenziale a due placche poste lungo un asse verticale presente sul cammino del fascio di elettroni, il fascio viene deviato e il punto luminoso sullo schermo si sposta verticalmente.

Invece una differenza di potenziale applicata a due placche posizionate lungo l'asse verticale del fascio causa uno spostamento orizzontale del punto luminoso.

Applicando contemporaneamente differenze di potenziale alle due coppie di placche, il punto luminoso può essere spostato in qualsiasi punto dello schermo.

Il tubo catodico utilizzato nel corso dell'esperienza in questione è costituito da: un'ampolla e un cannone elettronico.

- **Tre alimentatori** utilizzati rispettivamente uno per alimentare il tubo catodico, uno per alimentare il condensatore e uno per alimentare le bobine di Helmholtz.
- **Cannone elettronico:**



Un cannone elettronico è un insieme di parti elettroniche all'interno di un tubo a raggi catodici che produce un fascio di elettroni per illuminare un rivestimento di fosforo sulla superficie interna per esempio del vetro di un televisore o di un monitor.

Più semplicemente dunque, il cannone elettronico è una sorgente di un fascio altamente focalizzato di elettroni accelerati.

Esso è costituito da un catodo che viene riscaldato indirettamente o direttamente e in tal modo emette elettroni per effetto termoionico.

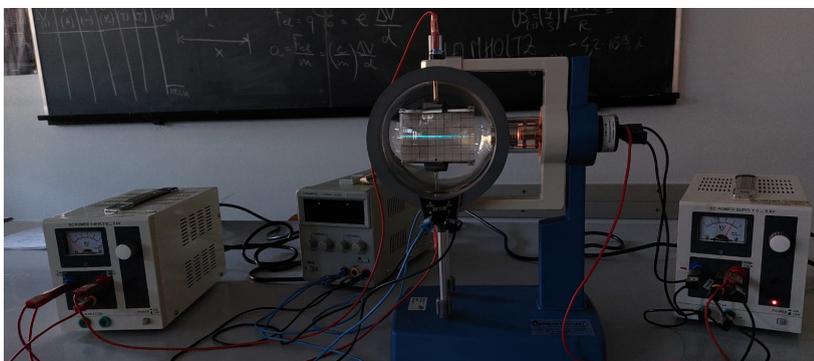
Inoltre, il cannone elettronico presenta anche una serie di lenti elettroniche, che hanno lo scopo di focalizzare il fascio elettronico in modo da ottenere una macchia di piccole dimensioni a un'opportuna distanza dal catodo.

L'intensità della macchia che si viene a formare è regolata da una dall'intensità del fascio di elettroni mediante la griglia di controllo.

Gli anodi invece costituiscono una lente elettrostatica a due cilindri e permettono di focalizzare il fascio.

Infine, l'acceleratore rende indipendente il controllo dell'intensità da quello della focalizzazione.

ESECUZIONE:



Per misurare il rapporto carica-massa dell'elettrone ci siamo serviti del tubo catodico collegato ad un

alimentatore. Gli elettroni, grazie al potenziale presente tra essi, si allontanano dal metallo: diventano un fascio, giungono al condensatore, la griglia si illumina e ci permette di osservare il fascio. Il condensatore e le bobine di Helmholtz, collegati entrambi a due alimentatori, generano rispettivamente un campo elettrico e un campo magnetico uniforme. Abbiamo, prima di tutto, acceso l'alimentatore del tubo catodico e quello delle bobine e abbiamo regolato, secondo alcuni valori scelti da noi, la deviazione delle particelle, che subiscono una forza di Lorentz. Ogni volta che si arriva alla deviazione desiderata, si segnala la corrente necessaria per avere questa deviazione, visibile dall'amperometro. Successivamente si accende l'alimentatore del condensatore, che genera campo elettrico, e, variando il potenziale di piastra (tra le due armature) tramite una manopola, si compensa la deviazione precedente facendo tornare il fascio luminoso orizzontale. Segnare, anche in questo caso, il potenziale necessario.

I valori della deviazione da noi scelti sono: 0,010 m, 0,020 m, 0,015 m, 0,005 m.

RACCOLTA ED ELABORAZIONE DEI DATI:

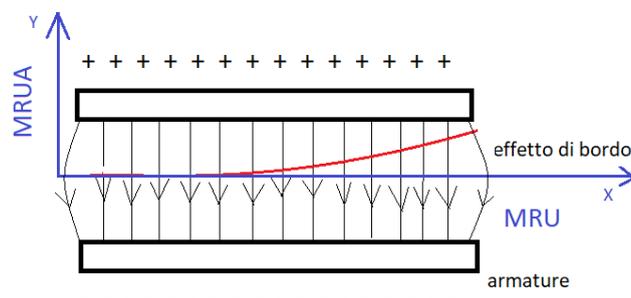
	ΔV [V]	i [A]	Y [m]	E [V/m]	B [T]	V_0 [m/s]	e/m [C/g]
1	1200	0,17	0,010	$2,2 \cdot 10^4$	$7,4 \cdot 10^{-4}$	$3,08 \cdot 10^7$	$1,71 \cdot 10^{11}$
2	5000	0,58	0,020	$9,2 \cdot 10^4$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$3,8 \cdot 10^7$	$1,2 \cdot 10^{11}$
3	3700	0,37	0,015	$6,8 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^7$	$1,74 \cdot 10^{11}$
4	600	0,08	0,005	$1,1 \cdot 10^4$	$3,36 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^7$	$1,96 \cdot 10^{11}$

d = distanza tra le due armature = 0,054m

x = lunghezza del condensatore = 0,07m

y = deviazione stimata

la particella con carica (e) e massa (m) viene iniettata tra due armature cariche (una positivamente e una negativamente) a una velocità V_0 e percorre un moto rettilineo uniforme lungo l'asse x e un moto parabolico lungo l'asse y :



$$x = x_0 + V_0 t$$

$$y = y_0 + V_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

x_0 e y_0 si trascurano perchè la particella parte dall'origine e V_0 è tutta orizzontale, non ha componenti verticali.

$$t = \frac{x}{v_0}$$

$$y = \frac{1}{2} a \frac{x^2}{v_0^2}$$

$$a = \frac{F_{el}}{m} = \frac{e}{m} \frac{\Delta V}{d}$$

$$y = \frac{1}{2} \frac{e}{m} \frac{\Delta V}{d} \frac{x^2}{v_0^2}$$

$$\frac{e}{m} = \frac{d}{\Delta V} \frac{v_0^2}{x^2} \cdot 2y$$

dalle misurazioni di ΔV , i , y ricavati dall'esperimento applichiamo le seguenti formule per trovare gli altri dati, presenti nella tabella, che servono per calcolare il rapporto carica-massa dell'elettrone:

(per trovare v_0 , la velocità degli elettroni, sfruttiamo il fatto che gli elettroni sentono una forza data dal campo elettrico che è pari a quella data dal campo magnetico)

forza elettrica $F_{el} = eE$

forza magnetica $F_m = evB$

$$e \cdot E = e \cdot v_0 \cdot B$$

$$v_0 = \frac{E}{B}$$

i quali campi si ricavano dalle formule: (le bobine di Helmholtz generano un campo magnetico che si può calcolare tramite la seguente formula)

$$E = \frac{\Delta V}{d} \quad B = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \mu_0 \frac{Ni}{r} = 4,2 \cdot 10^{-3} i$$

$$1) E = \frac{1200}{0,054} = 2,2 \cdot 10^4 \frac{V}{m}$$

$$B = 4,2 \cdot 10^{-3} (0,17) = 7,14 \cdot 10^{-4} T$$

$$v_0 = \frac{2,2 \cdot 10^4}{7,14 \cdot 10^{-4}} = 3,08 \cdot 10^7 \frac{m}{s}$$

$$\frac{e}{m} = \frac{d}{\Delta V} \frac{v_0^2}{x^2} \cdot 2y = \frac{0,054}{1200} \frac{9,49 \cdot 10^{14}}{4,9 \cdot 10^{-3}} 0,02 = 1,7 \cdot 10^{11} \frac{C}{g}$$

$$2) E = \frac{5000}{0,054} = 9,2 \cdot 10^4 \frac{V}{m}$$

$$B = 4,2 \cdot 10^{-3} (0,58) = 2,4 \cdot 10^{-3} T$$

$$v_0 = \frac{9,2 \cdot 10^4}{2,4 \cdot 10^{-3}} = 3,83 \cdot 10^7 \frac{m}{s}$$

$$\frac{e}{m} = \frac{d}{\Delta V} \frac{v_0^2}{x^2} \cdot 2y = \frac{0,054}{5000} \frac{1,4 \cdot 10^{15}}{4,9 \cdot 10^{-3}} 0,04 = 1,20 \cdot 10^{11} \frac{C}{g}$$

$$3) E = \frac{3700}{0,054} = 6,8 \cdot 10^4 \frac{V}{m}$$

$$B = 4,2 \cdot 10^{-3} (0,37) = 1,5 \cdot 10^{-3} T$$

$$v_0 = \frac{6,8 \cdot 10^4}{1,5 \cdot 10^{-3}} = 4,5 \cdot 10^7 \frac{m}{s}$$

$$\frac{e}{m} = \frac{d}{\Delta V} \frac{v_0^2}{x^2} \cdot 2y = \frac{0,054}{3700} \frac{2,0 \cdot 10^{15}}{4,9 \cdot 10^{-3}} 0,03 = 1,74 \cdot 10^{11} \frac{C}{g}$$

$$4) E = \frac{600}{0,054} = 1,1 \cdot 10^4 \frac{V}{m}$$

$$B = 4,2 \cdot 10^{-3} (0,08) = 3,36 \cdot 10^{-4} T$$

$$V_0 = \frac{1,1 \cdot 10^4}{3,36 \cdot 10^{-4}} = 3,2 \cdot 10^7 \frac{m}{s}$$

$$\frac{e}{m} = \frac{d}{\Delta V} \frac{V_0^2}{x^2} \cdot 2y = \frac{0,054}{600} \frac{1,07 \cdot 10^{15}}{4,9 \cdot 10^{-3}} 0,01 = 1,96 \cdot 10^{11} \frac{C}{g}$$

media dei quattro valori trovati, valore sperimentale del rapporto tra carica e massa dell'elettrone: $1,65 \cdot 10^{11} C/g$

valore reale, teorico del rapporto tra la carica e la massa dell'elettrone:

$$\frac{e}{c} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{9,11 \cdot 10^{-31}} = 1,758 \cdot 10^{11} \frac{C}{g}$$

scarto percentuale:

$$S\% = \left(\frac{V_{max} - V_{min}}{V_{max}} \right) \cdot 100 = \left(\frac{1,758 \cdot 10^{11} - 1,65 \cdot 10^{11}}{1,758 \cdot 10^{11}} \right) \cdot 100 = 6,14\%$$

CONCLUSIONI:

In conclusione, osservando i risultati di questa esperienza di laboratorio possiamo affermare che l'esperienza ci ha soddisfatto.

Lo scopo è misurare sperimentalmente il rapporto carica-massa dell'elettrone.

Nel caso di uno scarto percentuale, se assume dei valori inferiori, corrispondenti, o di poco superiore al 20%, possiamo affermare che l'esperienza è riuscita con successo, mentre se i valori dello scarto percentuale risultano di gran lunga superiori al 20% dovremmo affermare che l'esperienza di laboratorio considerata non ha soddisfatto le nostre aspettative.

Se prendiamo in considerazione lo scarto percentuale, notiamo che soddisfa a pieno le nostre aspettative, poiché in particolare il valore è ben inferiore al 20%.

Nonostante ciò in questa esperienza di laboratorio alcuni dettagli hanno causato imperfezioni nello svolgimento e nei calcoli, ovvero nella costruzione del circuito le sonde e i cavi stessi fanno resistenza e, anche se trascurabili, questi valori modificano alcune misure. Ci possono essere poi anche errori dovuti ai calcoli, approssimazioni e/o arrotondamenti e anche il valore della lunghezza del condensatore, da noi considerata 7cm, in realtà non è esattamente 7cm poiché bisognerebbe considerare anche gli effetti di bordo, che quindi aumentano leggermente questo valore.

Per concludere, questa esperienza di laboratorio è riuscita e possiamo ritenerci soddisfatti.