

L'esperienza di Millikan

Materiali e strumenti

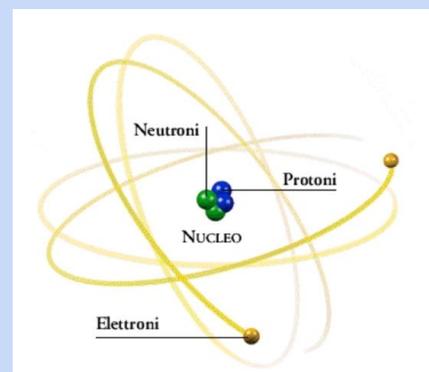
- Lastre metalliche con tubicino di vetro - Microscopio
- Batterie
- Scala graduata
- Orologio
- Tubo a raggi x
- Sferette di plastica per la microscopia elettronica
- Commutatore

Premessa Materiali e strumenti

Questa esperienza eseguita da un gruppo di professori universitari (Alfred G. Redfield e Francis Lee Friedman) aveva lo scopo di riprodurre un esperimento simile a quello di Millikan del 1909 per dimostrare che la carica si presenta in unità naturali e che essa è granulare e tutti i grani hanno la stessa grandezza di carica elettrica.

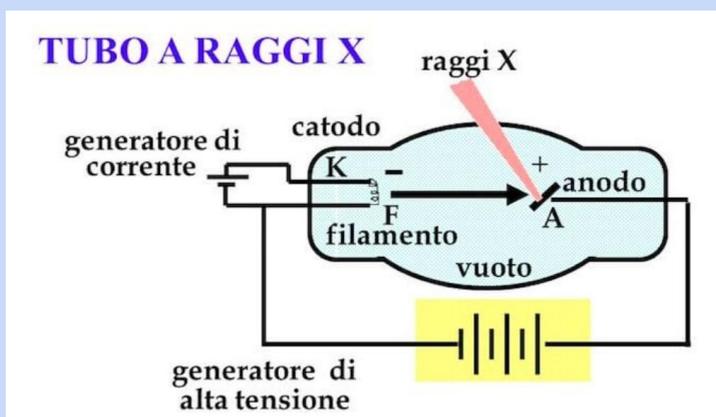
Robert Millikan, grazie a questo esperimento, riuscì a misurare il valore della carica dell'elettrone.

L'elettrone (rappresentato solitamente con il simbolo e^-), scoperto da J.J. Thomson nel 1897, è una particella elementare ed è la componente di carica negativa della materia ordinaria; è la particella più leggera che sia dotata di carica. Viene classificato come fermione in quanto obbedisce alla statistica di Fermi-Dirac. Secondo tutte le prove sperimentali svolte, l'elettrone è una particella stabile. Insieme a protoni (carichi positivamente) e ai neutroni (neutro) costituisce la materia ordinaria e quindi la struttura dell'atomo. Ha una massa a riposo di $9,1 \cdot 10^{-31}$ kg.



Il tubo radiogeno (o tubo a raggi X) è un tubo a vuoto destinato alla produzione di raggi X. I raggi X, che furono così chiamati dallo scopritore W. K. Roentgen nel 1895, sono prodotti

con tubi speciali, detti appunto tubi per raggi X, nei quali gli elettroni emessi da un catodo vengono accelerati fino a velocità molto alta per mezzo di un campo elettrostatico: tra anodo e catodo si applicano infatti elevate differenze di potenziale, anche superiori a 25 kV, per ottenere elevate energie degli elettroni. Tali elettroni,

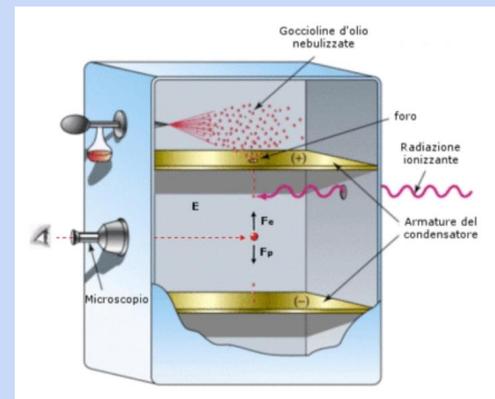


fortemente accelerati, vengono poi improvvisamente arrestati per collisione con un bersaglio solido interposto sul loro cammino. Dalla interazione degli elettroni accelerati con gli elettroni e i nuclei positivi che costituiscono gli atomi del bersaglio vengono allora generati raggi X, che, dal bersaglio stesso, irradiano in tutte le direzioni. Gli elettroni emessi dal catodo e accelerati verso l'anodo, vanno infatti a colpire un bersaglio metallico; le particelle incidenti strappano dagli atomi costituenti l'anodo gli elettroni dei livelli più interni, il cui posto viene rimpiazzato da elettroni situati nei livelli energetici più esterni: in questo passaggio si producono fotoni di elevata frequenza che sono i raggi X.

La carica elettrica è un tipo di carica fisica, scalare che è dotata di un segno. Nel sistema internazionale di unità di misura l'unità di carica elettrica è il coulomb (C). La carica elettrica è una grandezza quantizzata, cioè esiste solo con valori multipli di una quantità elementare che corrisponde alla carica del protone e, quando cambiata di segno, a quella dell'elettrone. questa carica elementare è indicata con e

$$e = 1,602176634 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Per eseguire l'esperimento, Millikan, utilizzò una camera dove venivano spruzzate piccole gocce d'olio, le quali passavano nel foro della seconda camera, dove c'era una differenza di potenziale causata dal generatore e, grazie ad un microscopio graduato, si è visto il comportamento delle goccioline nella prima camera. Si prevedeva che alcune gocce si sarebbero elettrizzate a causa dello strofinio sia con cariche positive che sia con cariche negative contro il tubo dello spruzzatore: nella prima camera, il comportamento dipendeva dal segno di carica, dunque una goccia caricata negativamente accelerava verso il basso mentre, se carica positivamente, invertiva il verso del suo moto. Le goccioline però risentono della forza d'attrito viscoso dell'aria, del peso e della differenza di potenziale e questo rende possibile determinare il tipo di carica utilizzando il primo principio della dinamica:



$$F_C = F_{\text{PESO}} + F_{\text{ATTRITO}} \text{ quindi } Eq = 6\pi\eta rv + mg \text{ da cui si ricava } q = (6\pi\eta rv + mg)s/v$$

η è la viscosità dell'aria

r è il raggio della goccia

v è la velocità misurata

m la massa della goccia

s la distanza tra le placche

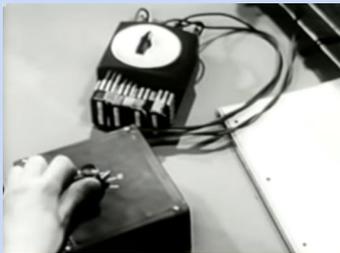
v la tensione tra esse

Alfred Redfield per eseguire l'esperienza porta le cariche positive e negative sulle lastre usando le batterie. Questo produrrà una forza elettrica tra le lastre su ogni granello di carica che emeremo tra esse. L'oggetto sarà molto piccolo per portare i grani perchè lo scopo è quello di misurare la forza sulla più piccola quantità di carica e per questo servirà il microscopio.

Le lastre metalliche, fondamentali per l'esecuzione dell'esperienza, sono sottostanti al tubo di vetro e distano circa 3,1 mm tra di loro, al centro il tubo di vetro è inserito sul fondo dove scendono le particelle. Il fondo del tubo è in metallo e, una volta inserito, arriva perfettamente in piano con la lastra metallica superiore. Solo così è possibile avere una situazione elettrica definita.



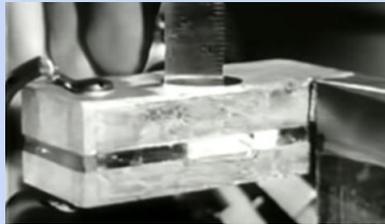
E' necessaria una sorgente di luce che illumina l'intercapedine tra le due lastre connesse con i fili alle 4 batterie che si possono regolare con una manopola da 1 a 4.



Con il commutatore si connettono le batterie alle lastre e, quando questo è in posizione superiore, un capo della batteria è connesso ad una lastra e l'altro capo all'altra lastra. Quando invece è in posizione inferiore, il collegamento è invertito e in posizione centrale la batteria è esclusa.

Esecuzione dell'esperienza

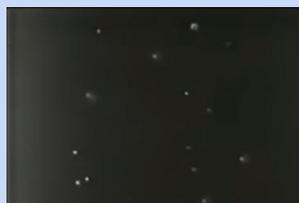
All'inizio dall'esperienza Redfield fa passare un filo nel foro del tubo per mettere a fuoco il microscopio. Lo spazio visibile da esso equivale a circa 1 mm.



Successivamente aiutandosi con uno spazzolino inserisce all'interno del tubo delle sferette, queste hanno peso pari a $2,8 \cdot 10^{-14}$ N e diametro di $1,8 \cdot 10^{-6}$ m.



Queste scendono attraverso il foro del tubo fino ad arrivare nello spazio fra le lastre; al microscopio si può notare che queste sferette 'cadono' a velocità costante tirate dalla gravità.



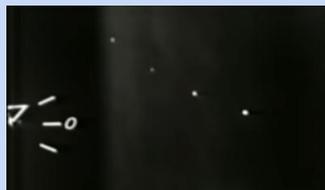
Successivamente Redfield muovendo la manopola del commutatore passa un po' di carica alle lastre; si può subito notare che alcune sferette invertono la loro direzione e iniziano così a salire verso l'alto, poi gira la manopola dalla parte opposta, quindi inverte la carica, e possiamo notare che le sferette cambiano direzione, questo significa che ci sono due gruppi di particelle con carica opposta.



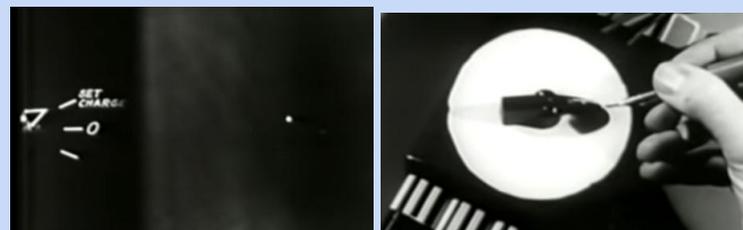
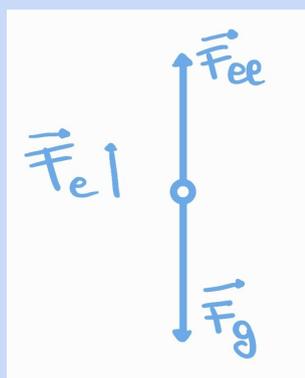
Ciò significa che ci sono particelle di cariche opposte che hanno direzioni opposte e si muovono con velocità costante. Le particelle che sono attratte verso il basso solo dalla gravità, accelerano ma, allo stesso tempo, influisce anche la resistenza dell'aria che esercita una forza uguale e opposta a quella di gravità. Quando queste due forze sono uguali, allora la particella si muoverà di moto uniforme anche se la velocità non era uguale per tutte le particelle dato che avevano diversa grandezza, massa e probabilmente anche carica. Proprio per questo motivo, Redfield utilizza particelle di massa costante.



Queste palline vengono fatte passare attraverso il foro del tubo e tra le lastre metalliche, si vedeva che cadevano grazie alla forza di gravità e che avevano velocità costante. Dopo Redfield cerca di mettere in equilibrio le sfere mettendo la giusta quantità di cariche sulle lastre. Se la carica era in eccesso, particelle andavano verso l'alto, diminuendo il numero di batterie, le palline erano quasi equilibrate.



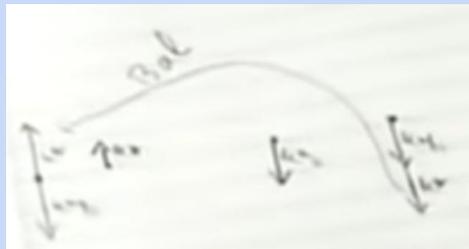
Si può tenere conto solo della sferetta di destra perchè il moto browniano separa le due sferette. Successivamente Redfield segna sulla manopola la posizione in cui le sferette sono in equilibrio in modo da ritrovarla facilmente. Questa quantità di cariche è detta set charge.



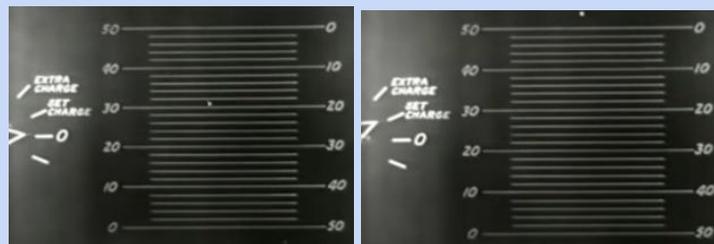
Successivamente, eliminando la forza elettrica dalle lastre, le sferette cadono. Con la carica di equilibrio la sfera è ferma ma, per poterci lavorare, bisogna portarla verso l'alto mettendo altre batterie. Quando si inseriscono e si muove la manopola verso l'alto, sulle lastre c'è più carica e la sfera è tirata verso l'alto. Quindi

se non c'è carica sulle lastre la sfera cade, se la carica è in equilibrio la sfera sta ferma, se si aggiungono cariche si muove verso l'alto. Quindi quando cambiamo carica, interviene una forza elettrica addizionale che si chiama forza efficace che permette alla pallina di spostarsi verso l'alto o verso il basso. Con l'azione di questa forza si arriva ad una velocità costante data dall'equilibrio delle forze.

La velocità costante è una misura della forza addizionale efficace che, per queste sferette, produce una velocità del moto che è proporzionale alla forza stessa. Per verificare questa tesi si fa cadere una sfera e si misura la velocità soggetta alla forza di gravità. Poi, per verificare la proporzionalità della forza, si usa una seconda forza nota ricavata dalla forza elettrica che tiene la sfera in equilibrio. Successivamente si somma alla forza di gravità e, utilizzando il commutatore, si ribalta tutto il sistema elettrico. Quindi la forza raddoppia e la velocità con la prima forza è esattamente la metà di quella con la seconda.

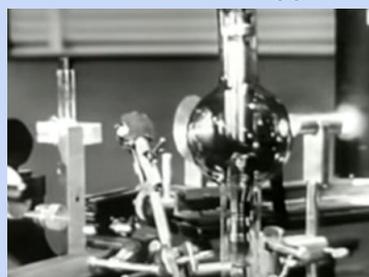


Per misurare la velocità utilizza un reticolo ed un orologio che batte ad intervalli di un secondo.



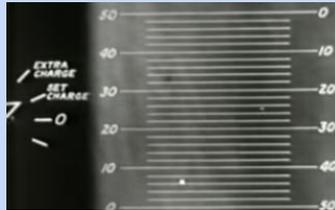
In 5 secondi la sferetta percorre 23 divisioni verso il basso e, in una seconda misurazione, ne compie 24. Questo procedimento viene ripetuto una serie di volte invertendo la forza e, in una prima misurazione in 5 secondi venivano percorse 48 divisioni, in una seconda i valori erano esattamente uguali. Quindi la forza e la velocità sono direttamente proporzionali e quindi si utilizzerà la velocità come misura della forza. Dopo questa fondamentale dimostrazione si può passare all'esperimento vero e proprio.

Redfield utilizza un tubo a raggi X per cambiare la carica sulle sferette ma, per proteggersi, mette intorno al tubo uno schermo che fa andare i raggi X solo tra le due lastre metalliche.



Quando i raggi cambiano la carica sulla sferetta presa in considerazione, di conseguenza cambia anche la forza e altera l'equilibrio. In base alla sua velocità, si può capire di quanto la carica è cambiata. Quindi cambia la carica sulle sferette ma rimane uguale quella sulle

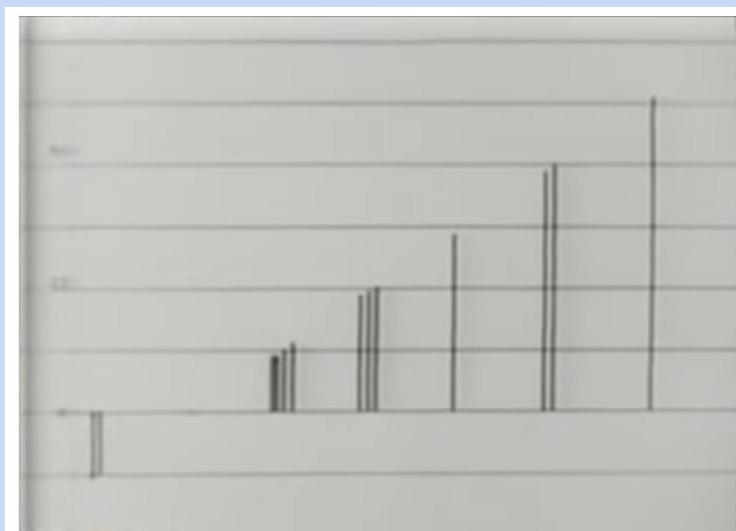
lastre. Successivamente la farà scendere per misurare la carica aggiunta dalla velocità con cui risalirà.



Possiamo notare che la sferetta percorre 12 divisioni in 5 secondi quindi la forza addizionale la fa salire verso l'alto in 5 secondi. Dopo questa osservazione Redfield cambia carica ed esegue un'altra misurazione, questa volta la sfera percorre 22 divisioni in 5 secondi. Cambia ancora la carica e osserva che questa volta la sferetta percorre 46 divisioni. Quindi ogni volta che cambiava carica, questa aumentava.

Redfield cambia ancora la carica, ma questa volta la sferetta al posto di andare più veloce, rallenta, infatti, percorrere 34 divisioni. Successivamente cambia ancora carica e la sferetta si muove ancora più lentamente, percorrendo 13 divisioni, ma continua a salire, ciò significa che la carica deve essere ancora maggiore di quella di equilibrio. Dopo questa misurazione cambia ancora una volta la carica e registra 11 divisioni. Poi svolge un'altra misurazione in cui cambia ancora carica e nota che questa volta c'era meno carica che all'equilibrio, la sferetta infatti percorrere 12 divisioni, ma questa volta verso il basso in quanto poteva essere tenuta in equilibrio solo tramite le batterie addizionali. Redfield continua a fare altre misurazioni cambiando le cariche, ma ad un certo punto, si accorge che anche le batterie addizionali non riescono più a tirare la sferetta verso l'alto, possiamo infatti notare che questa continua a cadere. Questo significa che è presente solo la gravità che la tira in basso perché sulla sferetta non c'è più carica.

Alla fine dell'esperimento Redfield osserva tutti i valori ottenuti dalle varie misurazioni e nota che non sono distribuiti casualmente, infatti, si può notare che questi valori cadono in gruppi: il primo gruppo si trova intorno alle 11/12 divisioni, il secondo è circa il doppio quindi tra le 22 e le 23 divisioni e il terzo intorno al triplo con 34 divisioni. A questo punto si può supporre che i numeri ottenuti dalle misurazioni siano tutti vicini a multipli interi di 11,8; quindi, in seguito, riportiamo tutti i dati in un grafico in ordine crescente e li confrontiamo con rette orizzontali distanti 11,8.



Come si può ben notare dal grafico la carica aggiunta soltanto o sottratta è sempre cambiata secondo l'unità naturale, possiamo notare inoltre che non si è mai trovata una velocità tra 11,8 e zero, ma sempre multipli interi di unità naturale di carica.

Conclusione

Alfred G. Redfield è riuscito a riprodurre l'esperimento di Millikan grazie all'utilizzo di strumenti che noi non disponiamo nel nostro laboratorio, ma grazie alla visione di questo filmato abbiamo avuto la possibilità di comprendere a pieno il concetto di carica elementare e grazie all'ultimo grafico in particolare abbiamo dimostrato che la carica si presenta in unità naturali e che essa è granulare e tutti i granuli hanno la stessa grandezza di carica elettrica. Quindi da questa esperienza abbiamo dimostrato le tesi iniziali che aveva verificato anche Millikan: esiste un'unità naturale di carica di cui tutte le cariche sono composte.