

Misura della carica dell'elettrone

Marilena Teri, Valerio Toso & Ettore Zaffaroni (gruppo Lu4)

1 Introduzione all'esperimento

In questo sperimento ci proponiamo di misurare la carica dell'elettrone e confrontare il valore ottenuto con quello universalmente accettato di $-1,6025 \cdot 10^{-19}$ C; per farlo misureremo la velocità limite di alcune goccioline di olio cariche di raggio r e densità ρ_o , sottoposte, in presenza di aria, a un campo elettrico verticale uniforme: queste goccioline saranno quindi sottoposte alla forza peso $\vec{P} = m\vec{g} = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_o \vec{g}$, alla forza elettrica $\vec{F}_e = Q\vec{E}$, alla forza di attrito viscoso $\vec{F}_a = 6\pi r \eta v$ (η è la viscosità dell'aria) e alla spinta di Archimede $\vec{A} = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_a \vec{g}$.

Bisognerà tenere conto del fatto che per goccioline di quelle dimensioni ($\approx 1\mu\text{m}$) va applicato un fattore correttivo $b = 8.2 \cdot 10^{-3}$ Pa · m alla viscosità dell'aria, che diventa quindi:

$$\eta' = \frac{\eta}{1 + \frac{b}{pr}}.$$

Dato che la forza d'attrito dipende dalla velocità, ogni gocciolina raggiungerà in brevissimo tempo una velocità limite quando:

$$\vec{P} + \vec{A} + \vec{F}_e + \vec{F}_a = 0$$

Avendo tutte queste forze solo la componente verticale, si possono omettere i segni di vettore, considerando come direzione positiva quella rivolta verso il basso:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_o g - \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_a g + QE - 6\pi r \eta' v = 0$$

Da questa formula si ricavano il raggio della gocciolina misurando la velocità di sedimentazione in assenza di campo elettrico:

$$r = \sqrt{\left(\frac{b}{2p}\right)^2 + 9\eta \frac{v}{2g(\rho_o - \rho_a)}} - \frac{b}{2p} \quad (1)$$

e la carica della gocciolina, misurando la velocità in presenza di campo elettrico; se si muove verso il basso:

$$Q = -\frac{4}{3}\pi r^3(\rho_o - \rho_a)\frac{g}{E}\left(1 - \frac{v}{v_0}\right) \quad (2)$$

mentre se si muove verso l'alto:

$$Q = -\frac{4}{3}\pi r^3(\rho_o - \rho_a)\frac{g}{E}\left(1 + \frac{|v|}{v_0}\right) \quad (3)$$

dove v_0 è la velocità media in assenza di campo elettrico.

2 Esperimento

2.1 Descrizione dell'apparato

L'apparato sperimentale (camera di Millikan) consiste in una cameretta nella quale può essere generato un campo elettrico attraverso una differenza di potenziale tra due armature separate da un distanziale in plastica e nella quale vengono fatte cadere delle piccole gocce d'olio ionizzate. Le gocce microscopiche sono prodotte con uno spruzzatore e vengono fatte entrare nella camera da un minuscolo forellino; il campo elettrico può essere invertito o annullato da un commutatore. Se la carica delle gocce (ottenuta per sfregamento con le pareti dello spruzzatore) non fosse risultata sufficiente esse potevano venire ulteriormente ionizzate attraverso una sorgente di Th-232 posta all'interno della camera.

Anteriormente all'apparato è fissato un microscopio nel quale è inserito un reticolo per poter osservare con maggior precisione il moto delle gocce dentro la camera; sull'altro lato è fissata una lampada alogena la cui posizione è regolabile, la cui luce viene focalizzata per mezzo di una lente al centro della camera. Lateralmente invece è fissata una bolla per mettere in piano l'intero apparato. Attraverso un piccolo ago è inoltre possibile regolare la messa a fuoco del microscopio e la posizione della lampada.

La differenza di potenziale tra le armature viene generata da un alimentatore in corrente continua (0-500 V). Attraverso un tester invece è possibile misurare la resistenza elettrica di un termistore posto all'interno della camera utilizzato per misurare la temperatura dell'aria.

2.2 Messa a punto dell'apparato

Dopo esserci accertati che l'intero strumento fosse in bolla, abbiamo aperto la camera di Millikan ed estratto i vari componenti per pulirli e misurare lo spessore d del distanziale isolante posto tra gli elettrodi. Da questa misura si determina l'intensità del campo elettrico tra le due armature:

$$E = \frac{\Delta V}{d}$$

Abbiamo preso cinque misure di d utilizzando un micrometro (precisione 10^{-2} mm) e abbiamo calcolato la media:

$$d = 7,64 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Riposto tutto nella camera di Millikan, abbiamo messo a fuoco il reticolo, abbiamo inserito un ago nel foro da cui sarebbero scese le goccioline d'olio, l'abbiamo messo a fuoco con il microscopio e abbiamo regolato la posizione della lampada in modo che fosse illuminato il più possibile.

Una volta rimosso l'ago, abbiamo connesso il generatore di tensione e il tester ai terminali del termistore per misurarne la resistenza.

2.3 Test dell'apparato

Abbiamo spruzzato l'olio attraverso il foro superiore del coperchio con la leva a sinistra della camera nella posizione "spruzzatore in funzione" per porre in comunicazione la cameretta con l'ambiente esterno e limitare le turbolenze.

Si vedevano molte goccioline e abbiamo verificato che con $\Delta V = 0$ queste scendevano lentamente, mentre azionando il condensatore o cambiando la polarità delle armature queste aumentavano la velocità di sedimentazione o la invertivano.

La difficoltà maggiore che abbiamo avuto è stato scegliere le goccioline su cui effettuare le misure: abbiamo fatto diverse prove per trovare goccioline che scendessero sufficientemente rapide da non bloccarsi nel corso della sedimentazione e deviare. Bisognava inoltre evitare che la temperatura salisse troppo all'interno della cameretta, altrimenti si sarebbero potuti generare dei moti convettivi, a causa di gradienti di temperatura, che avrebbero falsato le misure (questo fatto non si è verificato, infatti la temperatura non è mai salita oltre i 27°C).

2.4 Esecuzione dell'esperimento

Per prima cosa fissavamo ΔV e calcolavamo la temperatura della cameretta, misurando la resistenza del termistore ivi presente, poi, se non erano presenti goccioline d'olio visibili dal microscopio, le spruzzavamo nella cameretta dal foro superiore.

Per scegliere la gocciolina da utilizzare per le misure, ne cercavamo una che scendesse abbastanza velocemente in assenza di campo elettrico e salisse quando il campo elettrico era diretto verso l'alto; una volta individuata la facevamo salire all'inizio del reticolo e la lasciavamo scendere in assenza di campo elettrico, misurando il tempo che impiegava a percorrere ogni tratto di 0,5 mm del reticolo, per cinque tratti; senza perderla di vista

ripetevamo la misura in presenza di campo elettrico diretto prima verso l'alto e poi verso il basso. I risultati sono riportati nella tabella allegata.

2.5 Elaborazione dei dati

Dai tempi di percorrenza di ogni tratto del reticolo, abbiamo ricavato la velocità di sedimentazione, con la quale, in assenza di campo elettrico abbiamo calcolato, per ogni tratto, il raggio della gocciolina dalla (1), e abbiamo fatto la media. Conoscendo il raggio, dalla (2) e dalla (3) abbiamo ricavato la carica della gocciolina per ogni tratto, in modo da controllare che non cambiasse durante l'osservazione ¹.

Una volta preso un numero sufficiente di misure (nel nostro caso siamo riusciti a prendere $N = 100$ valori della carica delle goccioline), e verificato che queste non fossero da escludere, abbiamo applicato la formula:

$$S(q) = \sum_{i=1}^N (kq - Q_i)^2$$

dove k è il valore intero che meglio approssima il rapporto Q_i/q . Valutando questa funzione tra $q = 1,55 \cdot 10^{-19}$ C e $q = 1,7 \cdot 10^{-19}$ circa e trovandone il minimo, si ricava il valore che meglio approssima la carica dell'elettrone e (si vedano tabella e grafico allegati).

Per calcolare l'errore su e , abbiamo diviso per \sqrt{N} la deviazione standard:

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (ke - Q_i)^2}{N - 1}} \cdot \frac{1}{\sqrt{N}}$$

Il valore che abbiamo ottenuto è:

$$e = -1,64 \cdot 10^{-19} \pm 0,04 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

COMMENTO: Nonostante il grafico sia irregolare (non ha una concavità costante e presenta diversi minimi), il minimo più basso è proprio in corrispondenza di questo valore; la presenza di altri minimi meno significativi può essere dovuta al fatto che tra le misure, alcune approssimavano meglio multipli di altri valori di q . Il risultato ottenuto è compatibile entro σ con il valore atteso per la carica dell'elettrone di $-1,6025 \cdot 10^{-19}$ C.

¹Per semplicità abbiamo lavorato con valori di carica positivi, mettendo il meno sono alla fine.