



### SCOPO

Conferma del valore della carica elementare sulla base dell'esperimento di Millikan eseguito su goccioline d'olio cariche elettricamente

### RIASSUNTO

Fra il 1910 e il 1913 Robert Andrews Millikan riuscì a determinare la carica elementare con una precisione sconosciuta fino a quel momento e, di conseguenza, a confermare la quantizzazione della carica elettrica. L'esperimento che porta il suo nome si basa sulla misurazione della quantità di carica di goccioline d'olio cariche elettricamente che, se sottoposte al campo elettrico di un condensatore a facce piane parallele, salgono in aria, mentre in assenza di campo elettrico scendono. L'apparato sperimentale impiegato in questo esperimento è un apparecchio compatto ideato sulla base di quello di Millikan che tuttavia non utilizza una sorgente di radiazioni radioattive.

trico di un condensatore a facce piane parallele, salgono in aria, mentre in assenza di campo elettrico scendono. L'apparato sperimentale impiegato in questo esperimento è un apparecchio compatto ideato sulla base di quello di Millikan che tuttavia non utilizza una sorgente di radiazioni radioattive.

### FUNZIONI

- Formazione delle goccioline d'olio cariche elettricamente, selezione di quelle idonee e osservazione nel campo elettrico.
- Misurazione della velocità di salita all'interno del campo elettrico e della velocità di discesa in assenza di campo elettrico.
- Conferma del valore della carica elementare.

### APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Apparecchio di Millikan (230 V, 50/60 Hz)	1018884 o
	Apparecchio di Millikan (115 V, 50/60 Hz)	1018882

### BASI GENERALI

Fra il 1910 e il 1913 Robert Andrews Millikan riuscì a determinare la carica elementare con una precisione sconosciuta fino a quel momento e, di conseguenza, a confermare la quantizzazione della carica elettrica. Per questi studi vinse il premio Nobel per la fisica. L'esperimento che porta il suo nome si basa sulla misurazione della quantità di carica di goccioline d'olio cariche elettricamente che, se sottoposte al campo elettrico di un condensatore a facce piane parallele, salgono in aria, mentre in assenza di campo elettrico scendono. Il valore determinato da Millikan  $e = (1,592 \pm 0,003) \cdot 10^{-19}$  C si discosta solamente dello 0,6% dal valore stabilito al giorno d'oggi.

Le forze agenti su una gocciolina d'olio, la cui forma presunta è sferica e che galleggia in aria all'interno di un campo elettrico generato da un condensatore a facce piane parallele, sono la forza peso,

$$(1) \quad F_G = m_2 \cdot g = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_0^3 \cdot \rho_2 \cdot g,$$

$m_2$ : massa della gocciolina d'olio,  $r_0$ : raggio della gocciolina d'olio,  $\rho_2$ : densità dell'olio,  $g$ : accelerazione di caduta

la spinta di Archimede in aria,

$$(2) \quad F_A = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_0^3 \cdot \rho_1 \cdot g,$$

$\rho_1$ : densità dell'aria

la forza dovuta al campo elettrico  $E$ ,

$$(3) \quad F_E = q_0 \cdot E = \frac{q_0 \cdot U}{d},$$

$q_0$ : carica della gocciolina d'olio,  $U$ : tensione presente fra le piastre del condensatore,  $d$ : distanza fra le piastre del condensatore

e la forza di attrito viscoso di Stokes

$$(4) \quad F_{R1,2} = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r_0 \cdot v_{1,2}$$

$\eta$ : viscosità dell'aria,  $v_1$ : velocità di salita,  $v_2$ : velocità di discesa

Quando viene applicato un campo elettrico e la gocciolina d'olio sale, vale l'equilibrio fra le forze

$$(5) \quad F_G + F_{R1} = F_E + F_A,$$

mentre in assenza di campo elettrico la gocciolina scende e si ha

$$(6) \quad F_G = F_{R2} + F_A.$$

È quindi possibile determinare il raggio e la carica della gocciolina d'olio:

$$(7) \quad r_0 = \sqrt{\frac{9}{2} \cdot \frac{\eta \cdot v_2}{(\rho_2 - \rho_1) \cdot g}}$$

e

$$(8) \quad q_0 = \frac{6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot d \cdot (v_1 + v_2)}{U} \cdot r_0.$$

Il raggio  $r_0$  è dell'ordine di grandezza del cammino libero medio delle molecole d'aria e pertanto occorre correggere la forza di attrito viscoso di Stokes. Per il raggio corretto  $r$  e la carica corretta  $q$  si utilizzano le relazioni:

$$(9) \quad r = \sqrt{r_0^2 + \frac{A^2}{4}} - \frac{A}{2} \quad \text{con} \quad A = \frac{b}{p}$$

$b = 82 \mu\text{m} \cdot \text{hPa} = \text{costante}$ ,  $p$ : pressione atmosferica

$$(10) \quad q = q_0 \cdot \left(1 + \frac{A}{r}\right)^{-1.5}$$

L'apparato sperimentale impiegato in questo esperimento è un apparecchio compatto ideato sulla base di quello di Millikan che tuttavia non utilizza una sorgente di radiazioni radioattive. Le goccioline d'olio cariche elettricamente vengono formate mediante un apposito nebulizzatore. Una volta formatesi le goccioline, la loro carica, generatasi casualmente, non subisce più alcun influsso esterno. Come nell'apparato di Millikan, le goccioline d'olio vengono inserite nella camera di sperimentazione dall'alto. Tramite l'osservazione con un microscopio di misura si selezionano le goccioline d'olio idonee alla misurazione e se ne determina la carica. Per ogni gocciolina d'olio si misura il tempo di salita, quando viene applicato un campo elettrico, e il tempo di discesa, in assenza di campo elettrico, per una distanza compresa fra due punti marcati su una scala oculare. La polarità delle piastre del condensatore viene selezionata in funzione del segno della carica. In alternativa, è possibile mantenere le goccioline d'olio in equilibrio nell'aria all'interno del campo elettrico. Sul touch screen vengono visualizzati il tempo di salita, il tempo di discesa di una gocciolina d'olio carica elettricamente, nonché i parametri importanti ai fini della determinazione, quali la temperatura, la viscosità e la pressione.

### ANALISI

Partendo dai tempi di salita e discesa  $t_1$  e  $t_2$  misurati si determina la velocità di salita e discesa

$$v_{1,2} = \frac{s}{V \cdot t_{1,2}},$$

$s$ : distanza fra due punti marcati sulla scala oculare,  
 $V = 2$ : ingrandimento dell'obiettivo

e dall'equazione (10) la carica  $q$  della gocciolina d'olio. Le cariche  $q_i$  (Tab. 1) determinate dalla misurazione vengono divise per un numero intero  $n_i$  in modo tale che i valori risultanti siano il meno dispersi possibile rispetto al valor medio. La misura della dispersione è la deviazione standard. Il migliore valore stimato  $e$  per la carica elementare e l'errore standard  $\Delta e$  vengono determinati a partire dai valori  $e_i$  delle singole misurazioni e dai rispettivi errori di misurazione  $\Delta e_i$  (Tab. 1) mediante il calcolo della media ponderata procedendo come segue:

$$e \pm \Delta e = \frac{\sum w_i \cdot e_i}{\sum w_i} \pm \frac{1}{\sqrt{\sum w_i}} \quad \text{con} \quad w_i = \left(\frac{1}{\Delta e_i}\right)^2$$

Con i valori dalla Tab. 1 si ricava:

$$e \pm \Delta e = \frac{1286}{799} \pm \frac{1}{28} = (1,61 \pm 0,04) \cdot 10^{-19} \text{ C.}$$

Il risultato è tanto più attendibile quanti più valori vengono misurati. Migliori risultati si ottengono per piccoli valori del numero di cariche  $n$  per ogni gocciolina d'olio. A causa delle imprecisioni in particolare in relazione alla distanza delle piastre del condensatore e della lettura sulla scala del microscopio  $n$  dovrebbe essere  $\leq 7$ .

Tab. 1: Cariche  $q_i$  misurate di dieci diverse goccioline d'olio e valori  $e_i$  ricavati per la carica elementare.

$i$	Polarità	$q_i$ $10^{-19}$ C	$\Delta q_i$ $10^{-19}$ C	$n$	$e_i$ $10^{-19}$ C	$\Delta e_i$ $10^{-19}$ C
1	+	-11,1	0,9	-7	1,59	0,13
2	+	-7,9	0,6	-5	1,58	0,12
3	+	-6,2	0,4	-4	1,55	0,10
4	-	3,5	0,2	2	1,75	0,10
5	-	4,9	0,3	3	1,63	0,10
6	-	6,3	0,5	4	1,58	0,13
7	-	6,6	0,4	4	1,65	0,10
8	-	7,6	0,6	5	1,52	0,12
9	-	10,2	0,8	6	1,70	0,13
10	-	10,6	0,8	7	1,51	0,11