

# Laboratorio di Fisica

Note a cura del prof. Luciano Troilo

## USO DELL'APPARECCHIO DI MILLIKAN

OBIETTIVO : Trovare il valore della carica dell'elettrone ripetendo l'esperimento di Millikan.

Millikan era un convinto assertore della natura corpuscolare dell'elettricità. Il "corpuscolo" elementare, però, doveva essere molto piccolo se, per fenomeni macroscopici la carica, appariva come continua.

Millikan ebbe l'idea di utilizzare oggetti molto piccoli in modo da poterli elettrizzare con un numero molto piccolo di singole cariche elementari. Scelse di misurare la carica delle goccioline che si formano nebulizzando dell'olio.

Il principio della misura era abbastanza semplice: si introduce la gocciolina in un campo elettrico costante e si regola  $E$  finché non rimane sospesa. In queste condizioni:  $qE = mg$  da cui si può ricavare  $q$ . Bisogna però conoscere la massa e questa non è semplice da misurare. Tra le varie possibilità Millikan scelse di utilizzare la **legge di Stokes** riguardante la caduta di un corpo in un mezzo viscoso (nel caso specifico l'aria)

### Teoria dell'esperimento di Millikan

*analisi semplificata:*

*spinta di Archimede = 0*

*dimensioni delle goccioline >> del libero cammino medio delle molecole d'aria*

#### a) Metodo 1

Si misura la ddp che riesce a mantenere in equilibrio la goccia d'olio.

Quando la goccia è ferma la forza dovuta al campo elettrico è uguale alla forza peso



Apparecchiatura originale di Millikan

$$F_e = F_g$$

$$qE = mg \quad (E = U/d)$$

$$q \cdot \frac{U}{d} = m \cdot g$$

La massa della gocciolina si può ricavare dal suo volume conoscendone la densità

$$m = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho$$

$$q = \frac{4 \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho \cdot g \cdot d}{3 \cdot U}$$

Per misurare il raggio della gocciolina ricorriamo alla legge di Stokes<sup>1</sup>. A causa dell'attrito con l'aria la velocità della gocciolina non può

aumentare indefinitamente a causa dell'accelerazione di gravità ma raggiungerà un valore limite ( $v_o$ ), come ad esempio, un'automobile che pur continuando a premere l'acceleratore non può superare una certa velocità limite.

<sup>1</sup> Se si tiene conto della spinta di Archimede e del libero cammino medio delle molecole d'aria:

$$6 \pi \eta v_o r \left(1 - \frac{a}{3}\right) = \frac{4}{3} \pi r^3 g (\rho_o - \rho_a) \quad \text{dove } \rho_o: \text{densità olio}; \rho_a: \text{densità aria e } a: \text{lib. camm. med. } \approx 2.2 \cdot 10^{-8} \text{m}$$

La velocità limite si raggiungerà quando la forza d'attrito sarà uguale alla forza peso

$$F_r = F_g$$

$$6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v_0 = m \cdot g \quad \text{dove } v_0 \text{ è la velocità di caduta in assenza di campo elettrico}$$

$$m = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho$$

$$r = \sqrt{\frac{9 \cdot \eta \cdot v_0}{2 \cdot \rho \cdot g}}$$

$$q = \frac{9\pi d}{U} \sqrt{\frac{2\eta^3 v_0^3}{\rho g}}$$

### b) Metodo 2

Si misura la velocità  $v_2$  con cui la gocciolina sale per effetto del campo elettrico. Poi si chiude il generatore di tensione e si misura la velocità  $v_0$  con cui cade la gocciolina

Durante la discesa si ha come prima:

$$F_r = F_g$$

$$6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v_0 = m \cdot g$$

$$m = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho$$

$$r = \sqrt{\frac{9 \cdot \eta \cdot v_0}{2 \cdot \rho \cdot g}}$$

Durante la salita si ha:

$$F_e = F_g + F_r$$

$$q \cdot \frac{U}{d} = m \cdot g + 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v_2$$

$$q = \frac{9\pi d(v_d + v_s)}{U} \sqrt{\frac{2\eta^3 v_d}{\rho g}}$$

L'ESPERIMENTO :

Le gocce sono spruzzate tra le armature di un condensatore piano alle quali è applicata una differenza di potenziale. Alcune di queste goccioline si caricano per strofinio con il nebulizzatore.

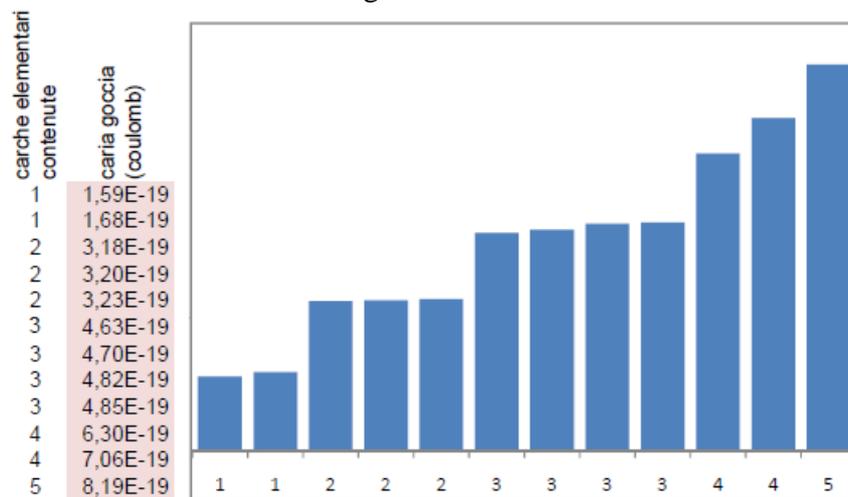
Le goccioline sono osservate mediante un microscopio dotato di una scala graduata per rilevare il tempo di caduta delle goccioline e quindi ricavare la velocità limite.

Risultati ottenuti mediante la simulazione. (Le misure sono state effettuate dall'alunno Celi Mirko classe V ST sez B)

goccia	T discesa (sec)	T salita (sec)	Vd (m/s)	Vs (m/s)	U (volt)	q_goccia (coulomb)	numero cariche elementari	carica elementare (coulomb)
1	28,9	30	6,92E-05	6,67E-05	400	4,70E-19	3	1,57E-19
2	20,03	22,3	9,99E-05	8,97E-05	990	3,18E-19	2	1,59E-19
3	30,1	14,1	6,64E-05	1,42E-04	610	4,63E-19	3	1,54E-19
4	29,4	12,1	6,80E-05	1,65E-04	1000	3,20E-19	2	1,60E-19
5	22,13	22,67	9,04E-05	8,82E-05	400	7,06E-19	4	1,76E-19
6	19,7	17,6	1,02E-04	1,14E-04	440	8,19E-19	5	1,64E-19
7	26,9	26	7,43E-05	7,69E-05	450	4,82E-19	3	1,61E-19
8	20,17	8,34	9,92E-05	2,40E-04	890	6,30E-19	4	1,58E-19
9	17,05	32,27	1,17E-04	6,20E-05	1000	3,23E-19	2	1,61E-19
10	23,75	9,18	8,42E-05	2,18E-04	950	4,85E-19	3	1,62E-19
11	27,38	51,84	7,30E-05	3,86E-05	1000	1,59E-19	1	1,59E-19
12	26,09	51,74	7,67E-05	3,87E-05	1000	1,68E-19	1	1,68E-19
						minimo	valore medio	
						1,59E-19	1,61E-19	
							dev stnd	
							5,9E-21	

### Interpretazione dei risultati.

Una prima verifica della natura corpuscolare della carica può essere effettuata rappresentando in un diagramma a barre i valori della carica delle goccioline ordinate in ordine crescente



Da questo risultato abbiamo una prima conferma della natura “corpuscolare” della carica.

Cerchiamo ora di individuare il valore della carica elementare.

Come primo tentativo prendiamo il valore della carica più piccola. Dividiamo la misura delle altre cariche per questo valore. Se la nostra ipotesi è giusta dovremmo trovare rapporti vicini a numeri interi 1, 2, 3 ecc. Colonna **C/Qm** della tabella. Questi valori sono arrotondati nella colonna **n**. Se i risultati non confermano l’ipotesi, proviamo a dividere il valore della carica più piccola per due, tre ecc. e procedendo poi come nel punto precedente.

Dividendo il valore **C** della carica per il corrispondente **n** abbiamo una stima della carica elementare. I valori così ottenuti vengono ulteriormente elaborati con le solite tecniche: Valore medio come valore più probabile e deviazione standard come valutazione dell’errore.

Dalle “misure” effettuate abbiamo così il seguente risultato:

$$1,50 \cdot 10^{-19} \text{ C} < 1,61 \cdot 10^{-19} \text{ C} < 1,73 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Valore più preciso realmente misurato della carica elementare : **1,60217733  $\cdot 10^{-19}$  C**