

L'esperienza di Millikan



1923 Robert Millikan

“for his work on the elementary charge of electricity and on the photoelectric effect”

Luca Girlanda, Andrea Ventura

Dipartimento di Matematica e Fisica - Università del Salento

Email: luca.girlanda@unisalento.it

andrea.ventura@unisalento.it



He who has seen that experiment, and hundreds of investigators have observed it, has literally *seen* the electron. For he has measured (in terms of a speed) the smallest of the electrical forces which a given electrical field ever exerts upon the pith ball with which he is working and with the aid of whose movements he defines electricity itself. Further, he has found that that something which he has chosen to call electricity may be placed upon or removed from his pith ball only in quantities which cause the force acting upon it either to drop to zero, or else to go up by definite integral multiples of the smallest observed force.

Scopo dell'esperienza

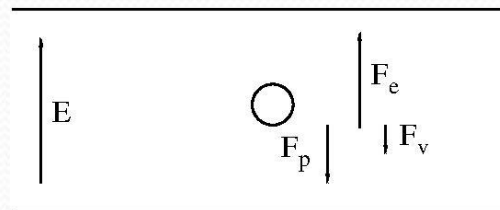
- Misurare la carica elettrica di goccioline d'olio accelerate da un campo elettrico uniforme
- Verificare la granularità della carica elettrica e l'esistenza di una carica fondamentale di cui tutte le cariche sono multiple

Cenni storici

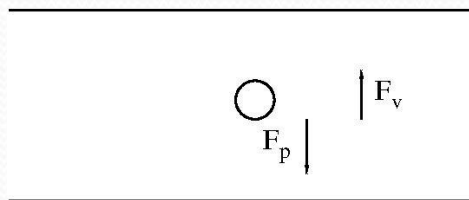
- Nel 1909 Robert Millikan fu il primo a misurare la carica dell'elettrone, attraverso l'esperimento della “goccia d'olio”, ottenendo già una precisione dello 0.1%:
$$Q = (1.5920 \pm 0.0017) \cdot 10^{-19} \text{ C}$$
- L'articolo definitivo (1913) gli valse, 10 anni più tardi, il riconoscimento del premio Nobel.
- Il valore attualmente noto della carica dell'elettrone è
$$Q = (1.602\ 176\ 487 \pm 0.000\ 000\ 040) \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

L'idea della misura

- Osservare il moto di goccioline cariche dentro un condensatore quando le forze si equilibrano
- **Fase di salita:** la forza elettrica, diretta verso l'alto e' bilanciata dalla forza peso e dalla resistenza viscosa

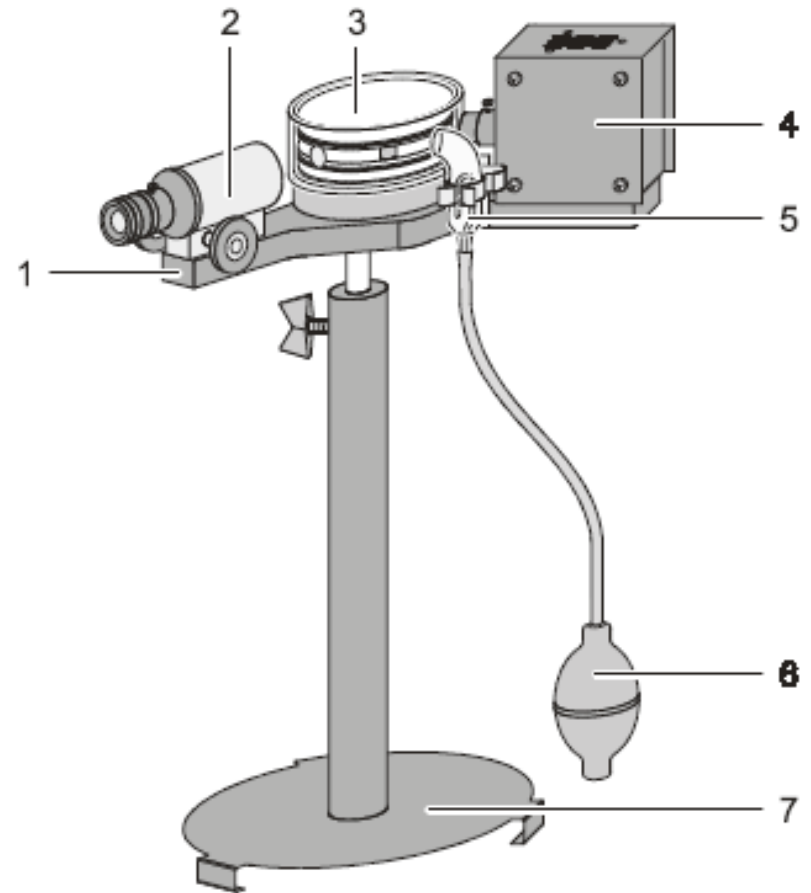


- **Fase di discesa:** il campo elettrico e' spento, la forza peso e' bilanciata dalla resistenza viscosa



Apparato strumentale

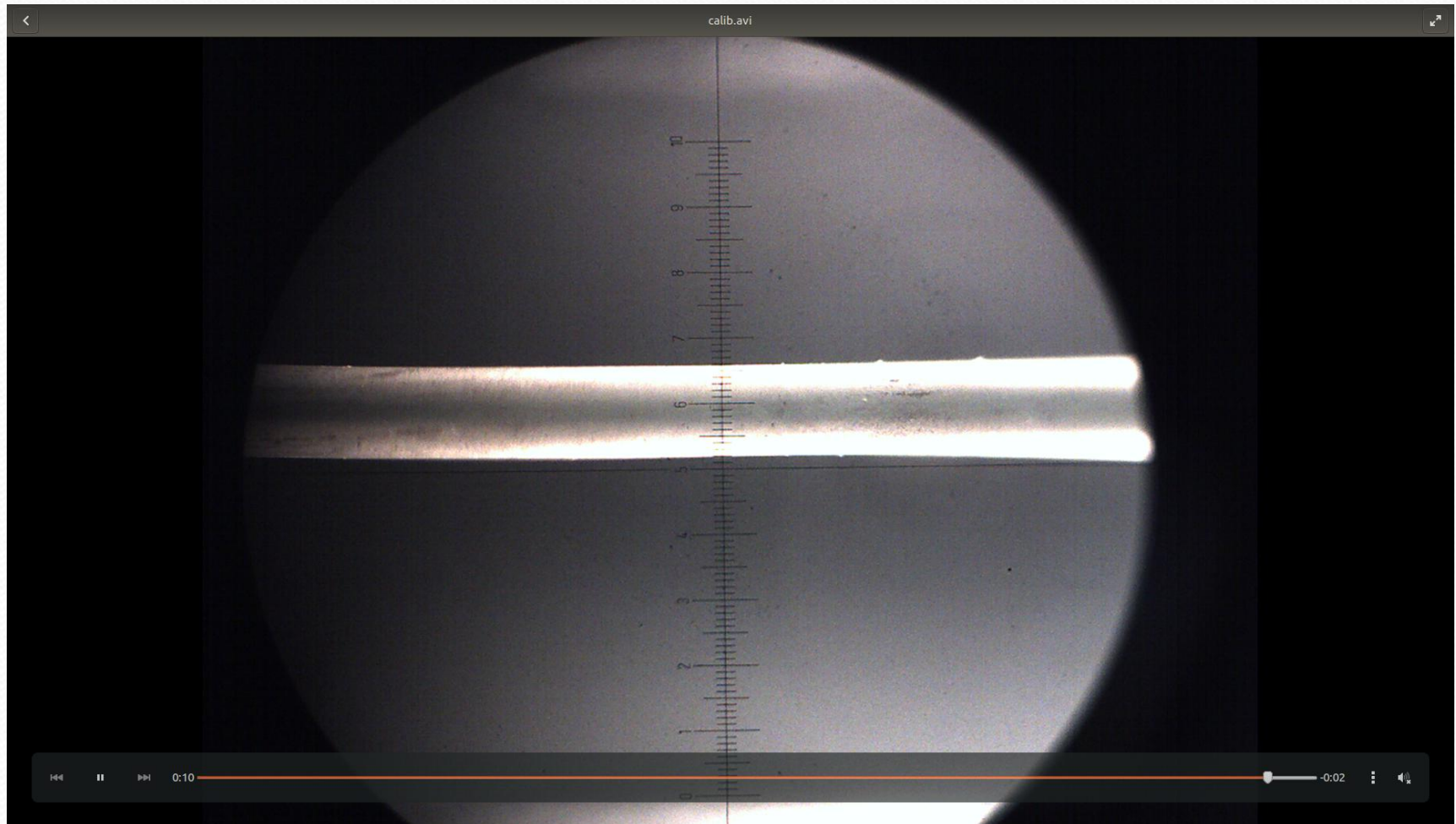
- 1) Piano di base
- 2) Microscopio con oculare e micrometro
- 3) Condensatore piano
- 4) Dispositivo per illuminare
- 5) Nebulizzatore d'olio
- 6) Pompetta di gomma per olio
- 7) Base d'appoggio
- Olio (di densità nota ρ)
- Alimentatore (corrente continua)



Dati tecnici

- Distanza tra le armature del condensatore:
 $s = 5.7 \pm 0.1 \text{ mm}$
- Densità dell'olio impiegato
 - $\rho = 910 \pm 20 \text{ kg/m}^3$
- Ingrandimento nominale dell'oculare: ~10
- Ingrandimento nominale dell'obiettivo: 2
- Scala del micrometro: 10 mm
- Graduazione della scala: 0.1 mm
- Intervallo di tensione dell'alimentatore: 0-600 V

Calibrazione

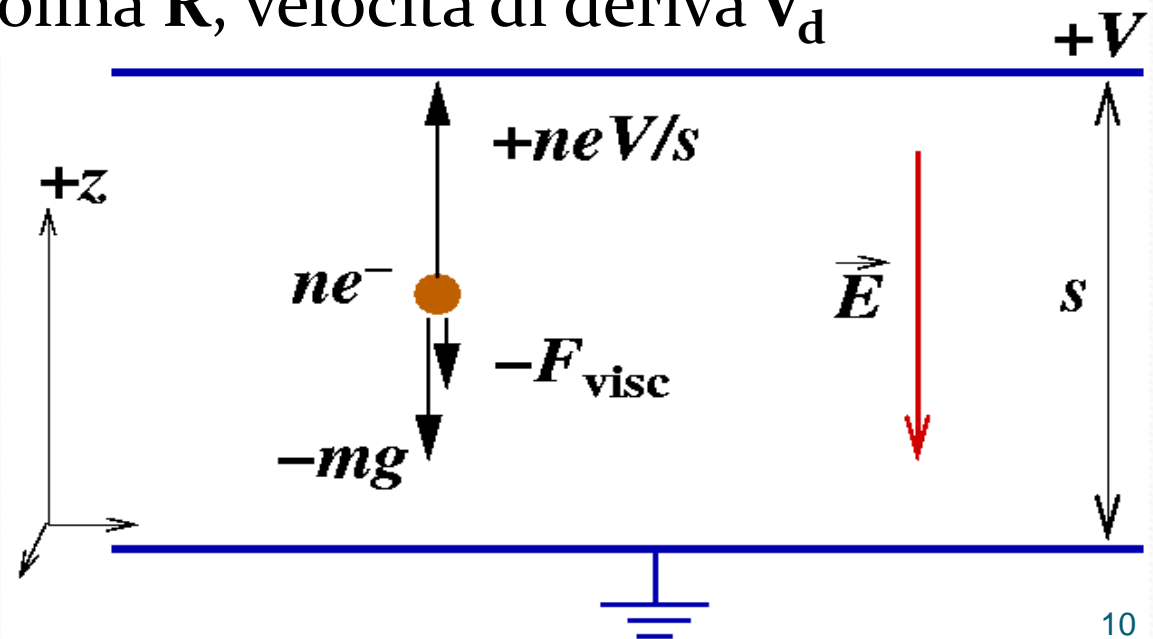


Procedura sperimentale (1/3)

- Agendo sulla pompetta si immettono delle goccioline d'olio nella cameretta delimitata dalle armature del condensatore piano e dal coperchio in plastica, nel quale sono presenti due appositi forellini.
- Alcune goccioline si caricano elettricamente (con carica $-ne$, n intero) per effetto della frizione con l'aria e, tramite il campo elettrico E , possono essere accelerate lungo l'asse verticale (z), lungo il quale agiscono: la forza peso (mg), la spinta di Archimede, la forza viscosa (F_{visc}) e la forza elettrica (neE)

Procedura sperimentale (2/3)

- Il campo elettrico è dato da $|\mathbf{E}| = V/s$
- La spinta di Archimede è essenzialmente trascurabile rispetto alla forza peso ($\rho_{\text{aria}} \approx 10^{-3} \text{ g/cm}^3 \ll \rho_{\text{olio}}$)
- La forza viscosa è $F_{\text{visc}} = 6\pi\eta Rv_d$, viscosità $\eta=1.82 \cdot 10^{-5} \text{ Pa s}$ raggio della gocciolina R , velocità di deriva v_d



Procedura sperimentale (3/3)

- Si alimenta il condensatore e si individua una gocciolina carica, diretta verso l'alto, se ne misura la velocità avvalendosi di un cronometro

$$\frac{4\pi}{3}R^3\rho g + 6\pi R\eta v_{\uparrow} = q\frac{\Delta V}{d}$$

- Si toglie l'alimentazione al condensatore e si osserva la stessa gocciolina cadere verso il basso, misurandone la velocità

$$\frac{4\pi}{3}R^3\rho g = 6\pi R\eta v_{\downarrow}$$

- Risulta quindi

$$q = \frac{d}{\Delta V} 6\pi\eta \sqrt{\frac{9}{2} \frac{\eta}{\rho g}} v_{\downarrow} (v_{\uparrow} + v_{\downarrow})$$

Correzione alla legge di Stokes

- Quando il raggio e' è confrontabile con il libero cammino medio delle molecole dell'aria λ la legge di Stokes deve essere corretta.

$$\frac{4\pi}{3}R^3\rho g = \frac{6\pi R\eta v_{\downarrow}}{1 + \frac{A\lambda}{R}}$$

$$R^2 + A\lambda R - \frac{9}{2}\eta\rho g v_{\downarrow}$$

$$R = \sqrt{\frac{9\eta v_{\downarrow}}{2\rho g} + \frac{(A\lambda)^2}{4}} - \frac{A\lambda}{2}$$

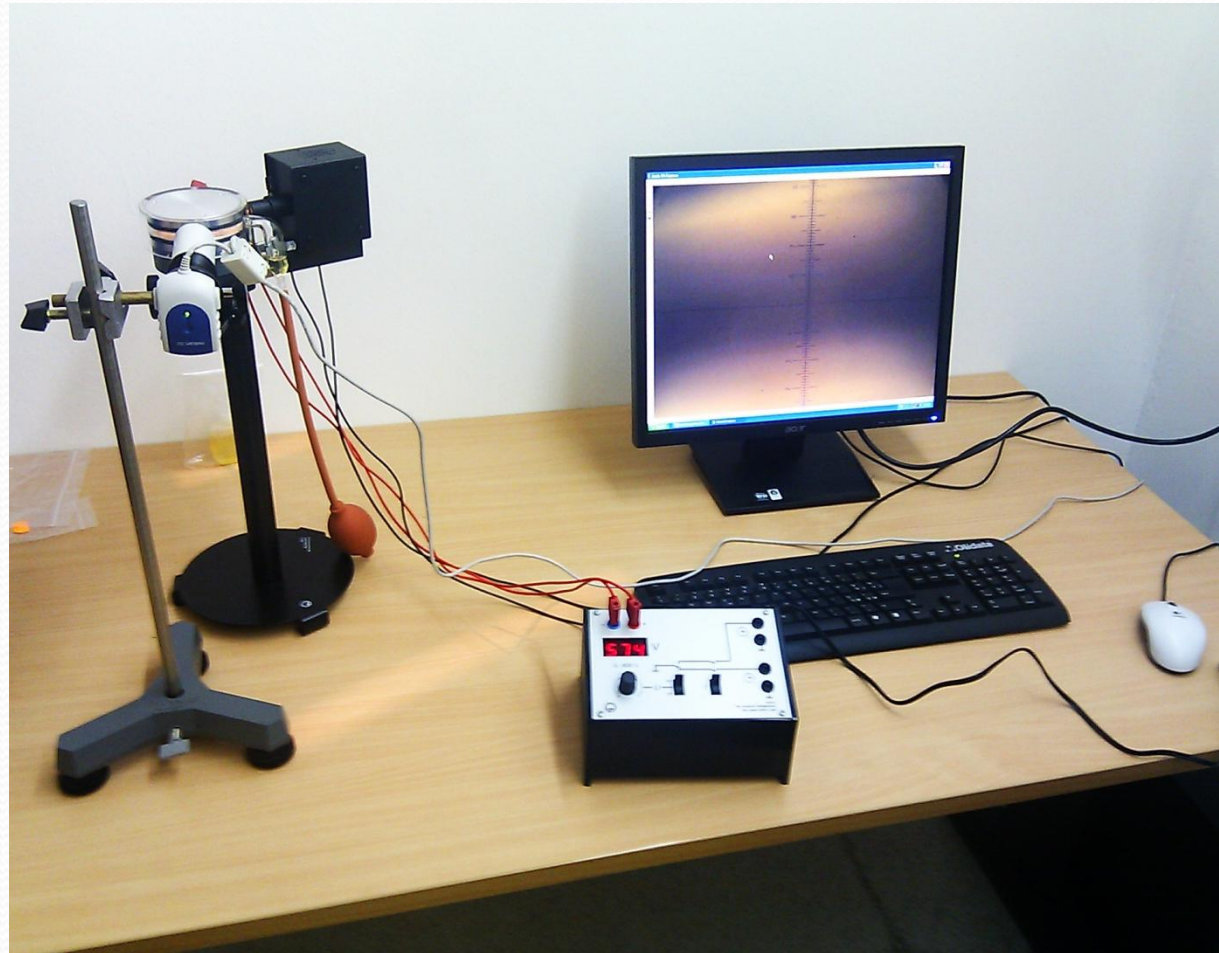
$$Q = 6\pi\eta R \frac{d}{\Delta V} \frac{v_{\uparrow} + v_{\downarrow}}{1 + \frac{A\lambda}{R}}$$

Alcune indicazioni

- L'apparato strumentale è estremamente sensibile a urti e spostamenti: agire con cautela in tutte le fasi dell'esperienza
- Per effetto della diversa temperatura all'interno del condensatore al variare della distanza dalla lampada, le goccioline possono avere una significativa componente orizzontale della velocità: agendo opportunamente sulla pompetta, tale effetto può essere compensato
- Per favorire una migliore osservazione, è disponibile una webcam collegata a un computer, fissata adeguatamente davanti al microscopio

Configurazione con webcam

- Montando la webcam al contrario, l'immagine del microscopio appare nuovamente rovesciata sullo schermo del computer



Studio delle incertezze

- Si considerino le fonti di incertezza sulla misura di Q , sistematiche e casuali
- Altre fonti di incertezza meno rilevanti riguardano:
 - Dipendenza dei valori di η e ρ dalla temperatura
 - Correzione per la spinta di Archimede
 - Conoscenza dell'accelerazione di gravità g
 - Conoscenza delle varie grandezze misurate
- Si stimi l'impatto di tali incertezze sulla misura finale

Esempio di risultati

