

Il Mondo Microscopico: L'esperienza di Millikan

L. Martina
12/02/2013

*Dipartimento di Fisica
Università del Salento
Sezione INFN - Lecce*

Cenni storici

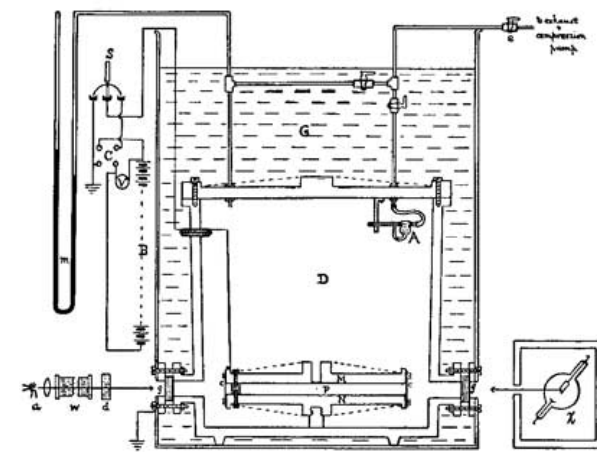
- Nel 1909 Robert Millikan fu il primo a misurare la carica dell'elettrone, attraverso l'esperimento della “goccia d'olio”, ottenendo già una precisione dello 0.1%: $Q = 1.592 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- L'articolo definitivo (1913) gli valse, 10 anni più tardi, il riconoscimento del premio Nobel.
- 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'esperienza di Millikan

$$e = 1.602\,176\,53(14) \times 10^{-19} \text{ C}$$

The NIST Reference on
Constants, Units, and Uncertainty



$$F_{visc} = 6\pi r\eta v \text{ velocità limite } v,$$

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g = 6\pi r\eta v$$

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

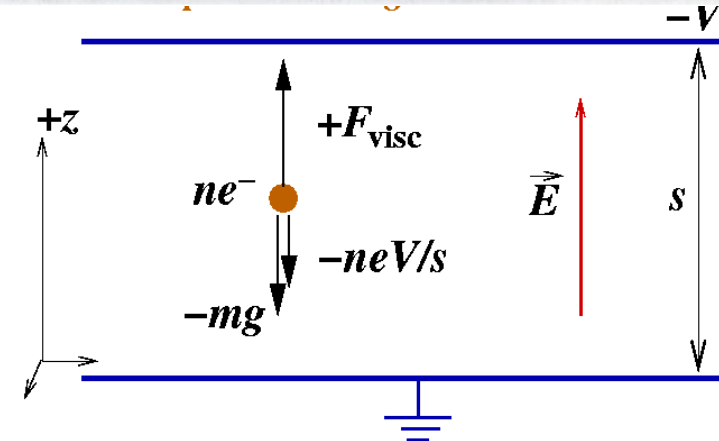
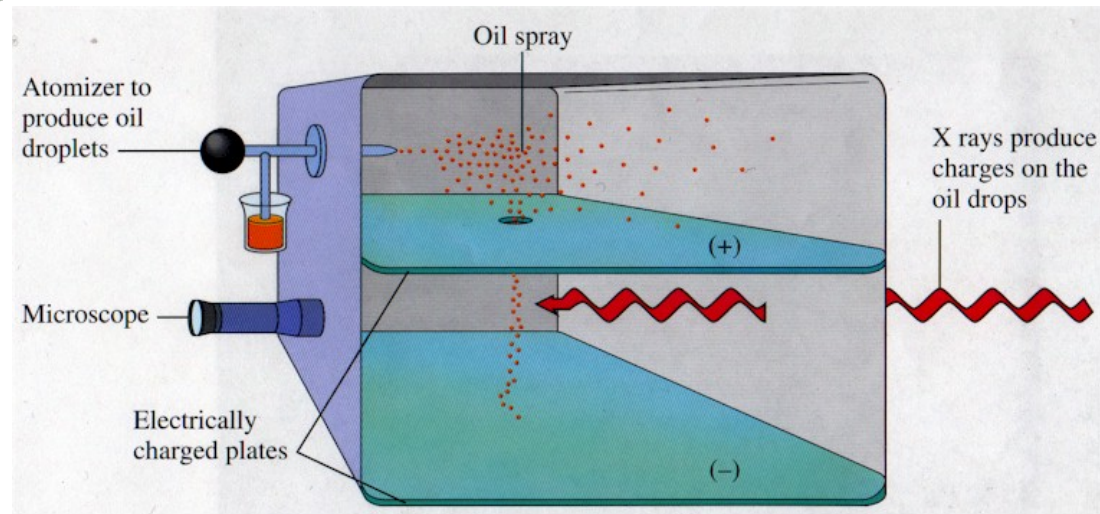
$$qE = mg$$

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

$$q = \frac{18\pi d}{V} \sqrt{\frac{\eta^3 v^3}{2\rho g}}$$

<http://www.aip.org/history/gap/Millikan/Millikan.html>

PSSC: FISICA, vol. 2, Cap. 28-4

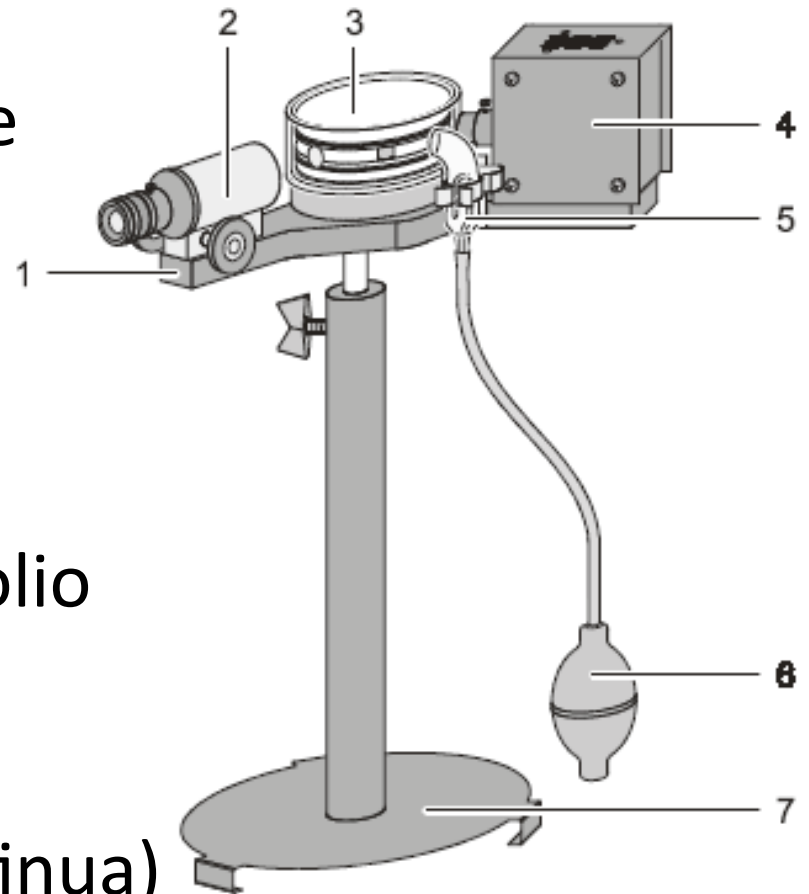


Scopo dell'esperienza

- 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 e di cui tutte le cariche sono multiple

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

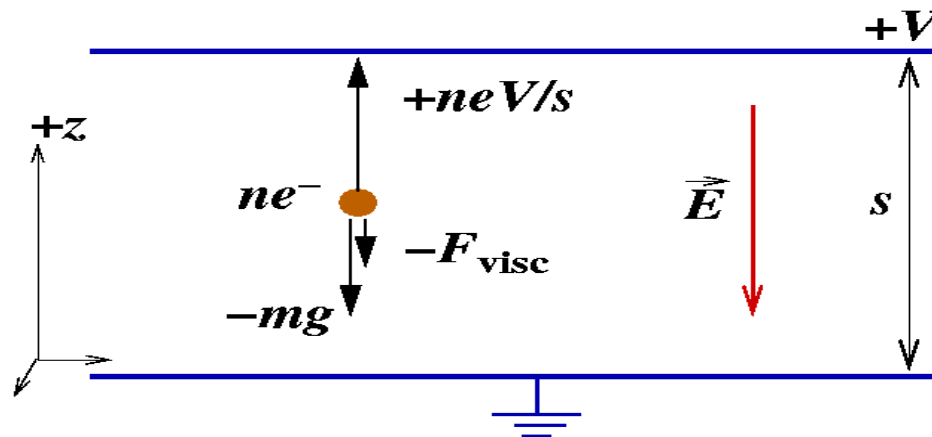
- Distanza tra le armature del condensatore:
 $d = 6.00 \pm 0.05 \text{ mm}$
- Densità dell'olio impiegato
 - $\rho = 0.877 \text{ g/cm}^3$ (a 15°C)
 - $\rho = 0.871 \text{ g/cm}^3$ (a 25°C)
- Ingrandimento dell'oculare: 10
- Ingrandimento dell'obiettivo: 2
- Scala del micrometro: 10 mm
- Graduazione della scala: 0.1 mm
- Intervallo di tensione dell'alimentatore: 0-600 V

Procedura sperimentale - 1

- 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 q) per effetto della frizione con l'aria e, tramite il campo elettrico E , possono essere accelerate lungo l'asse verticale, lungo il quale agiscono:
 1. la forza peso (mg),
 2. la spinta di Archimede,
 3. la forza viscosa (F_{visc})
 4. la forza elettrica ($q E$)

Procedura sperimentale -2

- Il campo elettrico è dato da $|\mathbf{E}| = V/d$
- La spinta di Archimede è trascurabile rispetto alla forza peso ($\rho_{\text{aria}} \approx 10^{-3} \text{ g/cm}^3 \ll \rho_{\text{olio}}$)
- La forza viscosa è $F_{\text{visc}} = 6 \pi \eta r v_d$,
- Viscosità dell'aria $\eta_{\text{aria}} = 1.82 \cdot 10^{-5} \text{ Pa s}$ (20 °C)
- r raggio della gocciolina,
- v_d velocità di deriva



Procedura Sperimentale - 3

- 1) Portare la tensione a fondo scala e “scegliere” una gocciolina che “sale”
- 2) Abbassare la tensione V fino a che la gocciolina non si fermi:

$$\vec{F} = m\vec{g} + q\vec{E} = \vec{0} \Rightarrow |q| = \frac{mg}{|E|}$$

ancora incognita

- 3) Azzerare il potenziale,

$$\vec{F} = m\vec{g} - 6\pi\eta_{aria}r\vec{v}_d$$

far partire il cronometro e bloccarlo ad un traguardo prefissato a distanza s dalla partenza, misurare t

N.B. Il moto diventa rapidamente uniforme alla velocità'

$$v_d = \frac{mg}{6\pi\eta_{aria}r}$$

Elaborazione dei Dati

- Preparare una tabella con i dati misurati

V, t, s

- Calcolare v_d e quindi

$$q = \frac{18\pi d}{V} \sqrt{\frac{\eta^3 v^3}{2\rho g}}$$

Formula approssimata

$$q = \frac{2.018 \times 10^{-10}}{V} \sqrt{v^3}$$

Altre quantita' di interesse: r, m

Tabella dati

Nell'esperienza condotta dagli studenti del PLS 09/10
(Lab. Fisica Moderna)

V (V)	t (s)	s (m)	V_d (m/s)	q (C)
191 ± 1	32 ± 1	$1,5 \cdot 10^{-3} \pm 10^{-4}$	$4,7 \cdot 10^{-5} \pm 0,5 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-19} \pm 0,6 \cdot 10^{-19}$
142 ± 1	46 ± 1	$1,5 \cdot 10^{-3} \pm 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-5} \pm 0,3 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-19} \pm 0,4 \cdot 10^{-19}$
205 ± 1	42 ± 1	$1,5 \cdot 10^{-3} \pm 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-5} \pm 0,1 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^{-19} \pm 0,4 \cdot 10^{-19}$
218 ± 1	40 ± 1	$1,5 \cdot 10^{-3} \pm 10^{-4}$	$3,7 \cdot 10^{-5} \pm 0,3 \cdot 10^{-5}$	$1,9 \cdot 10^{-19} \pm 0,3 \cdot 10^{-19}$
211 ± 1	25 ± 1	$1,5 \cdot 10^{-3} \pm 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-5} \pm 0,6 \cdot 10^{-5}$	$4,2 \cdot 10^{-19} \pm 0,8 \cdot 10^{-19}$
294 ± 1	24 ± 1	$1,5 \cdot 10^{-3} \pm 10^{-4}$	$6,2 \cdot 10^{-5} \pm 0,7 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-19} \pm 0,6 \cdot 10^{-19}$
281 ± 1	34 ± 1	$1,5 \cdot 10^{-3} \pm 10^{-4}$	$4,4 \cdot 10^{-5} \pm 0,4 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-19} \pm 0,4 \cdot 10^{-19}$

Tabella dati PLS-2012

“Q. Punzi” - Cisternino

V(V)	e(V)	s(m)	e(s)	t(s)	e(t)	v _d (m/s)	e(v _d)
93±1	0,011	0,0030±0,0001	0,033	46±1	0,022	6,52E-05	0,055
396±1	0,003	0,0030±0,0001	0,033	14±1	0,071	2,14E-04	0,105
280±1	0,004	0,0030±0,0001	0,033	38±1	0,026	7,89E-05	0,060
242±1	0,004	0,0040±0,0001	0,025	46±1	0,022	8,70E-05	0,047
271±1	0,004	0,0030±0,0001	0,033	30±1	0,033	1,00E-04	0,067
226±1	0,004	0,0030±0,0001	0,033	42±1	0,022	7,14E-05	0,057
37±1	0,027	0,0030±0,0001	0,033	53±1	0,019	5,66E-05	0,052
359±1	0,003	0,0030±0,0001	0,033	27±1	0,037	1,11E-05	0,070
161±1	0,006	0,0030±0,0001	0,033	36±1	0,028	8,33E-05	0,061
247±1	0,004	0,0020±0,0001	0,050	26±1	0,038	7,69E-05	0,088

Stima della carica elementare

Classe1

5,05E-19
5,38E-19
5,50E-19

Valore medio:
5,31E-19

Classe2

6,57E-19
6,75E-19
7,43E-19

Valore medio:
6,92E-19

Differenza tra le due classi:
1,61E-19

ON THE ELEMENTARY ELECTRICAL CHARGE AND THE AVOGADRO CONSTANT.

By R. A. MILLIKAN.

TABLE IV.
Drop No. 6.

Sec.	Sec.	Sec.	t_{F_c} Sec.	$\frac{1}{t_F}$	$(\frac{1}{t_{F'}} - \frac{1}{t_F})$	n'	$\frac{1}{n'}(\frac{1}{t_{F'}} - \frac{1}{t_F})$	n	$\frac{1}{n}(\frac{1}{t_{F'}} + \frac{1}{t_F})$				
11.848	39.9	80.2	80.708	.01236	.03234	6	.005390	18	.005366				
11.890	11.2	22.4	22.366	.04470				7	.005358	24	.005371		
11.908			22.390							.03751	1	.005348	17
11.904	11.2	22.4	22.368	.007192	18	.005374	21	.005376					
11.882	70.6	140.4	140.565						.01616				3
11.906	39.9	e 79.6	79.600	.03414	5	.005375	17	.005380					
11.838			34.748							.021572	4	.005393	
11.816			34.762	.01623	3	.005410	24	.005386					
11.776			34.846						.04507	8	.005384	16	.005387
11.840			29.286	.04307	9	.005421	25	.005399					
11.904	14.6	29.3	29.236						.05079	7	.005401	18	.005390
11.870	69.3	137.4	137.308	.01285	2	.005395	20	.005392					
11.952	17.6	34.9	34.638						.02364	Means	.005386	.005384	
11.860													
11.846			22.104										
11.912			22.268										
11.910			500.1										
11.918			19.704										
11.870			19.668										
11.888			77.630										
11.894	38.9	77.6	77.806										
11.878	21.0	42.6	42.302										
11.880													

The NIST Reference on
Constants, Units, and Uncertainty

Fundamental Physical Constants

$$1.602\,176\,487 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Standard uncertainty $0.000\,000\,040 \times 10^{-19} \text{ C}$

Relative standard uncertainty 2.5×10^{-8}

- Duration of exp. = 45 min.,
- Plate distance = 16 mm.,
- Fall distance = 10.21 mm.,
- Initial volts = 5,088.8.
- Final volts = 5,081.2.
- Temperature = 22.82° C.,
- Pressure = 75.62 cm.,
- Oil density = .9199,
- Air viscosity¹ = 1.824×10^{-7} ,
- Radius (a) = .000276 cm.,
- l/a = .034,
- Speed of fall = .08584 cm./sec.,
- $e_1 = 4.991 \times 10^{-10}$.

Procedura Sperimentale- 3 bis

- 1) Portare la tensione a fondo scala e “scegliere” una gocciolina che “sale”
- 2) Abbassare la tensione V_1 fino a che la gocciolina non si fermi
- 3) Fissare un traguardo s_1 e, azzerato il potenziale, misurare t_1
- 4) SENZA PERDERE LA GOCCIOLINA, riportare la tensione a V_1 e fermare la gocciolina
- 5) Portare la tensione a V_2 e far risalire la gocciolina di s_2 e misurare t_2

Elaborazione dei Dati - bis

- Preparare una tabella con i dati misurati

$$V_1, s_1, t_1, V_2, s_2, t_2$$

- Calcolare v_{d1}, v_{d2} e $r = \sqrt{\frac{9\eta v_{d1}}{2\rho g}} \approx 9.805 \times 10^{-5} \sqrt{v_{d1}}$

$$\vec{F}_1 = m\vec{g} - 6\pi\eta_{aria}r\vec{v}_{d1} = 0 \Rightarrow mg = 6\pi\eta_{aria}r v_{d1}$$

$$\vec{F}_2 = m\vec{g} + q\vec{E}_2 - 6\pi\eta_{aria}r\vec{v}_{d2} = \vec{0} \Rightarrow q = \frac{d}{V_2} 6\pi\eta_{aria}r (v_{d1} + v_{d2})$$

Fare un grafico di $q^{3/2}$ in funzione di $1/r$ ed estrapolare $q=ne$ per $1/r \rightarrow 0$