

# Il Mondo Microscopico: L'esperienza di Millikan

L. Martina  
18/02/2016

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

# Cenni storici

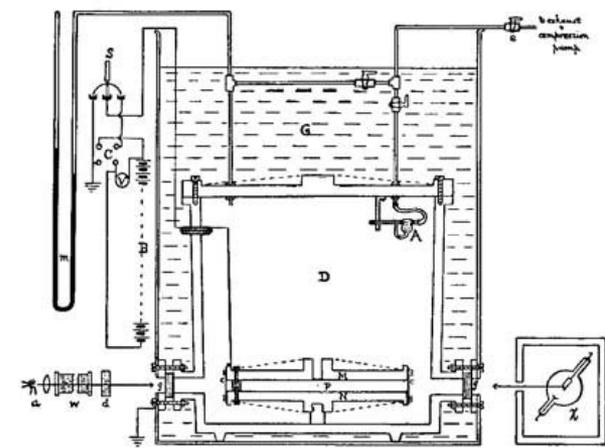
- Nel 1909 Robert Millikan fu il primo a misurare la carica dell'elettrone, attraverso l'esperimento della "goccia d'olio", ottenendo già una precisione dello 0.1%:  
 $Q = 1.592 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- L'articolo definitivo (1913) gli valse, 10 anni più tardi, il riconoscimento del premio Nobel.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



$F_{visc}$  !  $6!$   $r!$  ! velocità limite  $v$ ,

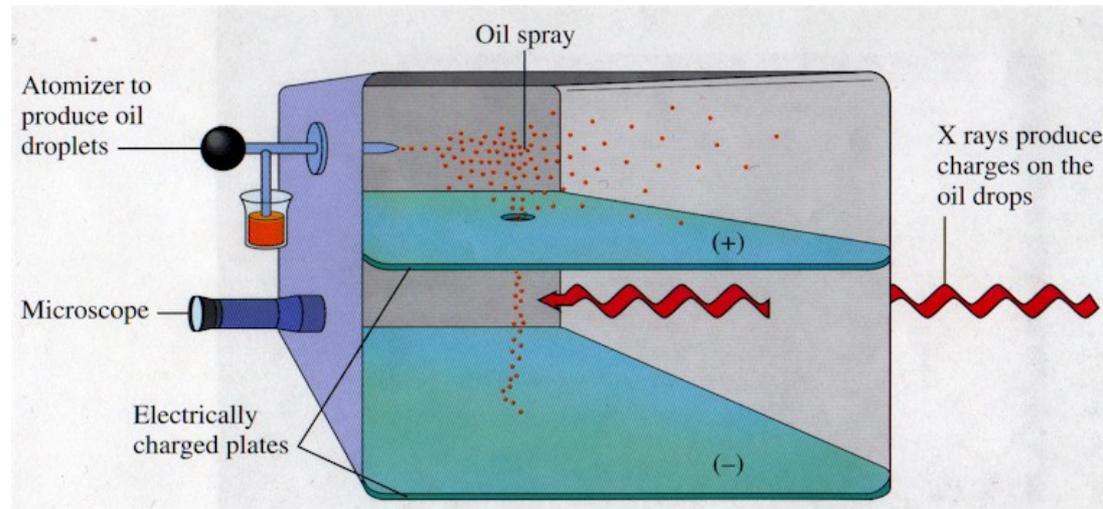
$$\frac{4}{3} M r^3 \rho g = 6 M r \Gamma v$$

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

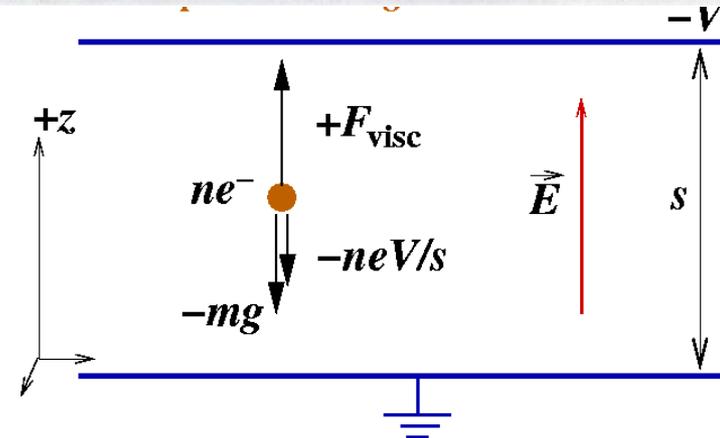
$$qE = mg$$

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

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



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



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					
11.908			22.390	.04470	.03751	7	.005358	24	.005371
11.904	11.2	22.4	22.368	.007192					
11.882	70.6	140.4	140.565	.007192	.005348	1	.005348	17	.005375
11.906	39.9	e 79.6	79.600	.01254					
11.838			34.748	.02870	.01616	3	.005387	21	.005376
11.816			34.762	.02870					
11.776			34.846	.02870	.03414	5	.005375	22	.005379
11.840			29.286	.03414					
11.904	14.6	29.3	29.236	.03414	.026872	4	.005393	21	.005382
11.870	69.3	137.4	137.308	.007268					
11.952	17.6	34.9	34.638	.02884	.021572	3	.005410	24	.005386
11.860				.01623					
11.846			22.104	.04507	.04307	8	.005384	16	.005387
11.912			22.268	.04507					
11.910			500.1	.002000	.04879	9	.005421	25	.005399
11.918			19.704	.05079					
11.870			19.668	.05079	.03874	7	.005401	18	.005390
11.888			77.630	.01285					
11.894	38.9	77.6	77.806	.01285	.01079	2	.005395	20	.005392
11.878	21.0	42.6	42.302	.02364					
11.880					Means		.005386		.005384

The NIST Reference on Constants, Units, and Uncertainty

Fundamental Physical Constants

1.602 176 487 x 10<sup>-19</sup> C  
 Standard 0.000 000 040 x 10<sup>-19</sup>  
 Relative standard uncertainty  $\frac{2.5 \times 10^{-8}}{8}$

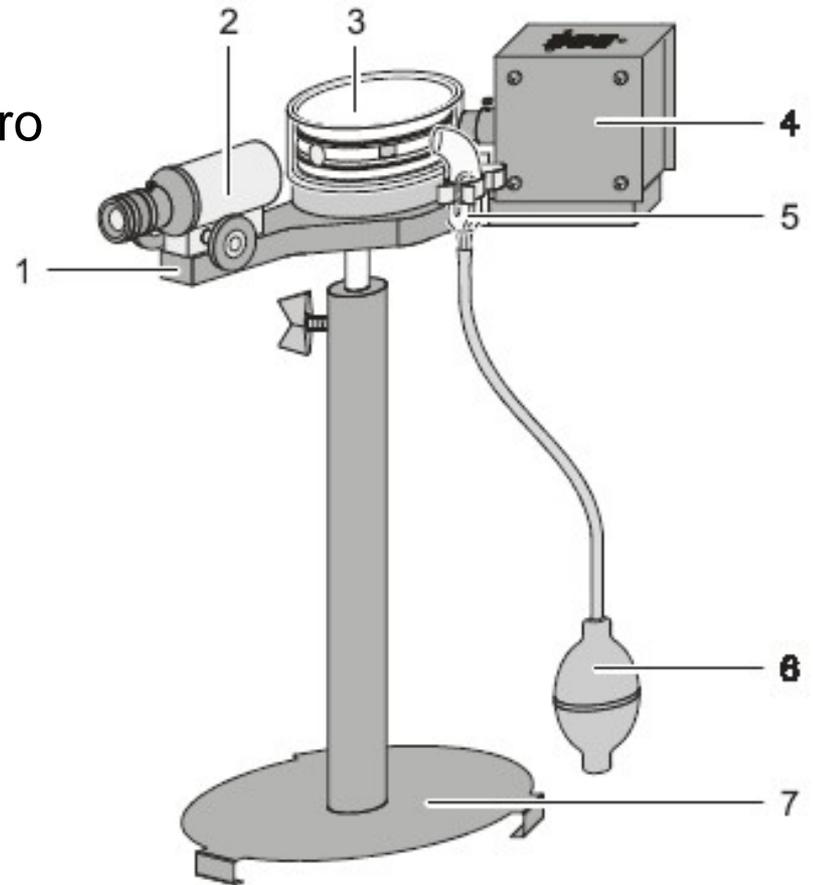
Duration of exp. = 45 min.,  
 Plate distance = 16 mm.,  
 Fall distance = 10.21 mm.,  
 Initial volts = 5,088.8.  
 Final volts = 5,081.2.  
 Temperature = 22.82° C.,  
 Pressure = 75.62 cm.,  
 Oil density = .9199,  
 Air viscosity<sup>1</sup> = 1,824 × 10<sup>-7</sup>,  
 Radius (a) = .000276 cm.,  
 l/a = .034,  
 Speed of fall = .08584 cm./sec.,  
 e<sub>1</sub> = 4.991 × 10<sup>-10</sup>.

# 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  $\rho$ )
- Alimentatore (corrente continua)



# Dati tecnici

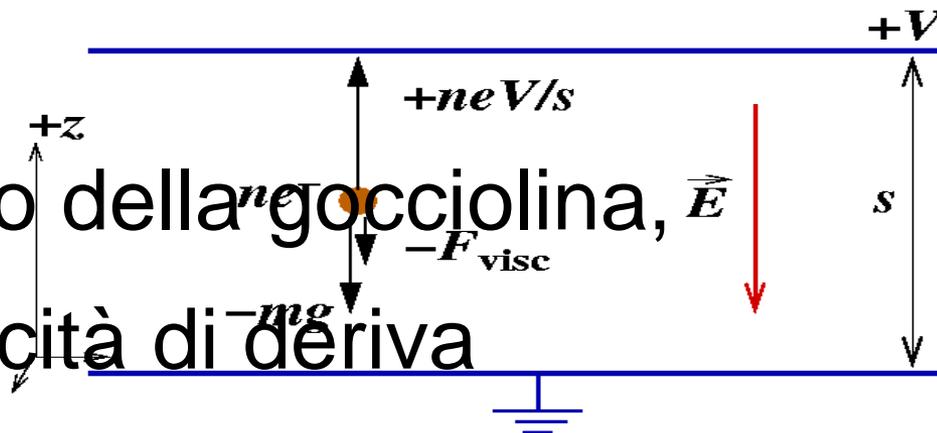
- Distanza tra le armature del condensatore:  
 $d = 6.00 \pm 0.05 \text{ mm}$
- Densità dell'olio impiegato
  - $\rho = 0.877 \text{ g/cm}^3$  (a  $15^\circ\text{C}$ )
  - $\Xi = 0.871 \text{ g/cm}^3$  (a  $25^\circ\text{C}$ )
- Ingrandimento dell'oculare: 10
- Ingrandimento dell'obiettivo: 2
- Scala 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 ( $F_{\text{visc}}$ )
  4. la forza elettrica ( $qE$ )

# Procedura sperimentale -2

- Il campo elettrico è dato da  $|\mathbf{E}| = V/d$
- La spinta di Archimede è trascurabile rispetto alla forza peso (! aria !  $10^{-3} \text{ g/cm}^3 \ll$  ! 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 bis

- 1) Portare la tensione a fondo scala e “scegliere” una gocciolina che “sale”
- 2) Abbassare la tensione  $V1$  fino a che la gocciolina non si fermi
- 3) Fissare un traguardo  $s1$  e, azzerato il potenziale, misurare  $t1$
- 4) **SENZA PERDERE LA GOCCIOLINA,** riportare la tensione a  $V1$  e fermare la gocciolina

# Elaborazione dei Dati

- Preparare una tabella con i dati misurati

V, t, s

- Calcolare  $v_d$  e quindi

$$q = \frac{18Md}{V} \sqrt{\frac{\Gamma^3 v^3}{2Eg}}$$

$$q = \frac{2.018 \text{ €}10^{210}}{V} \sqrt{v^3}$$

Formula approssimata

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)	Vd (m/s)	q (C)
191 ± 1	32 ± 1	1,5·10 <sup>-3</sup> ± 10 <sup>-4</sup>	4,7 10 <sup>-5</sup> ± 0,5 10 <sup>-5</sup>	3,4·10 <sup>-19</sup> ± 0,6·10 <sup>-19</sup>
142 ± 1	46 ± 1	1,5·10 <sup>-3</sup> ± 10 <sup>-4</sup>	3,3 10 <sup>-5</sup> ± 0,3 10 <sup>-5</sup>	2,6·10 <sup>-19</sup> ± 0,4·10 <sup>-19</sup>
205 ± 1	42 ± 1	1,5·10 <sup>-3</sup> ± 10 <sup>-4</sup>	3,6 10 <sup>-5</sup> ± 0,1 10 <sup>-5</sup>	2,1·10 <sup>-19</sup> ± 0,4·10 <sup>-19</sup>
218 ± 1	40 ± 1	1,5·10 <sup>-3</sup> ± 10 <sup>-4</sup>	3,7·10 <sup>-5</sup> ± 0,3·10 <sup>-5</sup>	1,9·10 <sup>-19</sup> ± 0,3·10 <sup>-19</sup>
211 ± 1	25 ± 1	1,5·10 <sup>-3</sup> ± 10 <sup>-4</sup>	6,0·10 <sup>-5</sup> ± 0,6·10 <sup>-5</sup>	4,2·10 <sup>-19</sup> ± 0,8·10 <sup>-19</sup>
294 ± 1	24 ± 1	1,5·10 <sup>-3</sup> ± 10 <sup>-4</sup>	6,2·10 <sup>-5</sup> ± 0,7·10 <sup>-5</sup>	3,2·10 <sup>-19</sup> ± 0,6·10 <sup>-19</sup>
281 ± 1	34 ± 1	1,5·10 <sup>-3</sup> ± 10 <sup>-4</sup>	4,4·10 <sup>-5</sup> ± 0,4·10 <sup>-5</sup>	2,0·10 <sup>-19</sup> ± 0,4·10 <sup>-19</sup>

# Panoramica

Analisi carica  
r. m. goccia

## Foglio 1: Analisi carica

	De(V) ddp de(V)= (V)	0,01	t (s)	de(t) (mm)	s de(s)	v (m/s) de(v)	q ( C ) de(q)	De(q)	q x 10 <sup>19</sup>	q >	De(q) >	q- De(q)	q + De(q)	<q>	sigma	qi-q1
303	3.03	36.91	2.71E-003	3	0.07	8.13E-05	4.88E-019	5.57E-020	4.88	3.29	0.54	2.75	3.83			
128	1.28	49.04	2.04E-003	2.5	0.08	5.10E-05	5.74E-019	7.64E-020	5.74	3.43	0.56	2.87	3.99			
458	4.58	10.9	9.17E-003	2	0.10	1.83E-04	1.10E-018	1.90E-019	10.95	3.77	0.57	3.20	4.35	3.77	0.408	
217	2.17	31.8	3.14E-003	2.5	0.08	7.86E-05	6.48E-019	8.73E-020	6.48	4.13	0.68	3.45	4.81			
321	3.21	29.14	3.43E-003	2.5	0.08	8.58E-05	5.00E-019	6.75E-020	5.00	4.21	0.47	3.73	4.68			1.05
202	2.02	17.2	5.81E-003	1.5	0.13	8.72E-05	8.14E-019	1.78E-019	8.14	4.36	0.52	3.84	4.88			
311	3.11	12.47	8.02E-003	2	0.10	1.60E-04	1.32E-018	2.27E-019	13.18	4.88	0.56	4.32	5.44	4.82	0.311	
238	2.38	21.23	4.71E-003	1.5	0.13	7.07E-05	5.04E-019	1.09E-019	5.04	5.00	0.68	4.32	5.67			
182	1.82	19.41	5.15E-003	2.5	0.08	1.29E-04	1.62E-018	2.23E-019	16.21	5.04	1.09	3.94	6.13			
254	2.54	35.99	2.78E-003	2	0.10	5.56E-05	3.29E-019	5.40E-020	3.29	5.40	0.53	4.86	5.93			2.01
169	1.69	31.65	3.16E-003	2	0.10	6.32E-05	6.00E-019	9.88E-020	6.00	5.48	0.91	4.57	6.39			
333	3.33	21.12	4.73E-003	2	0.10	9.47E-05	5.58E-019	9.33E-020	5.58	5.58	0.93	4.65	6.52	5.78	0.404	
245	2.45	31.7	3.15E-003	2	0.10	6.31E-05	4.13E-019	6.80E-020	4.13	5.74	0.76	4.97	6.50			
153	1.53	49.08	2.04E-003	2	0.10	4.07E-05	3.43E-019	5.59E-020	3.43	6.00	0.99	5.01	6.99			6.22
278	2.78	15.28	6.54E-003	2	0.10	1.31E-04	1.09E-018	1.85E-019	10.87	6.48	0.87	5.61	7.36			
194	1.94	38.57	2.59E-003	5	0.04	1.30E-04	1.54E-018	1.13E-019	15.35	8.14	1.78	6.36	9.92			
293	2.93	23.29	4.29E-003	2	0.10	8.59E-05	5.48E-019	9.12E-020	5.48	10.87	1.85	9.02	12.72	9.99	1.602	
228	2.28	48.68	2.05E-003	3.5	0.06	7.19E-05	5.40E-019	5.33E-020	5.40	10.95	1.90	9.05	12.85			11.15
362	3.62	28.53	3.51E-003	2.2	0.09	7.71E-05	3.77E-019	5.72E-020	3.77	13.18	2.27	10.91	15.45			
188	1.88	56	1.79E-003	3	0.07	5.36E-05	4.21E-019	4.74E-020	4.21	15.35	1.13	14.22	16.49	14.91	1.561	
290	2.9	31.4	3.18E-003	2.3	0.07	7.32E-05	4.36E-019	5.23E-020	4.36	16.21	2.23	13.98	18.44			