

# Misura del rapporto carica/massa di un elettrone non relativistico

Laboratorio di Ottica, Elettronica e Fisica Moderna

C.d.L. in Fisica, a.a. 2023-2024

Università degli Studi di Milano

Lucrezia Bioni, Leonardo Cerasi, Giulia Federica Bianca Coppi

Matricole: 13655A, 11410A, 11823A

2 novembre 2023

## 1 Misure

### 1.1 Misure preliminari

Innanzitutto si prendono 6 misure - mediante l'utilizzo di un calibro di sensibilità  $0.01\text{ mm}$  - dello spessore  $d$  del distanziale della camera di Millikan

$d\text{ [mm]}$
7,65
7,64
7,63
7,64
7,64
7,63

Tab. 1: Misure dello spessore del distanziale

Viene quindi attribuito come valore finale a  $d$  la sua media con la relativa incertezza strumentale:

$$d = (7.64 \pm 0.01)\text{ mm} \quad (1.1.1)$$

Ogni volta che viene scelta una gocciolina da seguire, si prende la misura della temperatura attuale. Tale grandezza è variata durante l'esperimento tra i  $21.5\text{ }^\circ\text{C}$  e i  $22.0\text{ }^\circ\text{C}$ : la temperatura relativa a ciascuna goccia è riportata nelle relative Tabb 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31.

### 1.2 Costanti

le seguenti quantità, che saranno necessarie per la determinazione della grandezza in esame, vengono assunte costanti:

- accelerazione di gravità  $g = 9.806 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
- densità dell'olio  $\rho_o = 860 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- densità dell'aria  $\rho_a = 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

- pressione atmosferica  $P = 101325 \text{ Pa}$
- costante legata alla viscosità dell'aria  $b = 0.0082 \text{ Pa} \cdot \text{m}$
- distanza delle righe del reticolo  $\Delta z = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$

### 1.3 Misure effettive

Si scelgono 10 gocce di cui registrare il moto nelle due condizioni: in assenza e in presenza di campo elettrico  $E$ , la presenza del campo elettrico fornisce due set di misure - moto discendente o ascendente - per ogni goccia. Si misura quindi la differenza di potenziale applicata e il tempo che ogni goccia impiega a percorrere  $0.5 \text{ mm}$ . A tali grandezze si corredano ulteriori informazioni: il verso del moto - se sale o se scende - e dati qualitativi come eventuale presenza di rumore e comportamenti anomali. Tutti i dati vengono riportati nelle Tabelle riportate al paragrafo *Misure Preliminari*.

La misurazione del tempo di volo è stata effettuata mediante un cronometro digitale di precisione  $0.01 \text{ s}$  - attribuita come incertezza - e la misurazione della differenza di potenziale  $\Delta V$  è stata effettuata mediante un multimetro digitale a cui viene attribuita come incertezza  $10 \text{ V}$ .

## 2 Appendice

$t \text{ [s]}$	$v_0 \text{ [} 10^{-6} \text{ m/s]}$	$r \text{ [} 10^{-7} \text{ m]}$	$\eta \text{ [} 10^{-5} \text{ N}\cdot\text{s/m}^2]$	$r_m \text{ [} 10^{-6} \text{ m]}$	$T \text{ [}^\circ\text{C]}$	$\Delta V \text{ [V]}$
61.38	8.146	2.447	1.831	2.334	21.5	0
64.28	7.778	2.384				
47.97	10.42	2.814				
53.29	9.383	2.652				
81.58	6.129	2.077				

Tab. 2: Goccia 1: assenza di campo elettrico

$t \text{ [s]}$	$v_+ \text{ [} 10^{-4} \text{ m/s]}$	$Q \text{ [} 10^{-19} \text{ C]}$	$E \text{ [} \frac{\text{V}}{\text{m}}]$	$T \text{ [}^\circ\text{C]}$	$\Delta V \text{ [V]}$
1.4	3.571	3.622	51581.93	21.5	394
1.0	4.808	4.906			
1.3	4.000	4.067			
1.3	3.788	3.847			
1.2	4.065	4.135			

Tab. 3: Goccia 1: presenza di campo elettrico, moto discendente

$t \text{ [s]}$	$v_- \text{ [} 10^{-4} \text{ m/s]}$	$Q \text{ [} 10^{-19} \text{ C]}$	$E \text{ [} \frac{\text{V}}{\text{m}}]$	$T \text{ [}^\circ\text{C]}$	$\Delta V \text{ [V]}$
3.3	1.524	1.670	-51581.93	21.5	-394
1.0	4.950	5.229			
0.9	5.376	5.671			
1.3	3.759	3.991			
1.1	4.386	4.642			

Tab. 4: Goccia 1: presenza di campo elettrico, moto ascendente

$t$ [s]	$v_0$ [ $10^{-6}$ m/s]	$r$ [ $10^{-7}$ m]	$\eta$ [ $10^{-5}$ N·s/m <sup>2</sup> ]	$r_m$ [ $10^{-6}$ m]	$T$ [°C]	$\Delta V$ [V]
20.4	2.457	4.515	1.831	4.289	21.5	0
23.6	2.120	4.167				
22.2	2.250	4.305				
24.5	2.045	4.087				
19.5	2.567	4.623				

Tab. 5: Goccia 2: assenza di campo elettrico

$t$ [s]	$v_+$ [ $10^{-5}$ m/s]	$Q$ [ $10^{-19}$ C]	$E$ [ $\frac{V}{m}$ ]	$T$ [°C]	$\Delta V$ [V]
6.0	8,278	1.409	51712.85	21.5	395
5.5	9,025	1.585			
5.6	8,977	1.573			
5.5	9,058	1.593			
5.6	8,993	1.577			

Tab. 6: Goccia 2: preseza di campo elettrico, moto discendente

$t$ [s]	$v_-$ [ $10^{-5}$ m/s]	$Q$ [ $10^{-19}$ C]	$E$ [ $\frac{V}{m}$ ]	$T$ [°C]	$\Delta V$ [V]
9.7	5.149	1.749	-51712.85	21.5	-395
9.8	5.112	1.741			
10.6	4.699	1.643			
12.3	4.075	1.497			
10.1	4.975	1.708			

Tab. 7: Goccia 2: preseza di campo elettrico, moto ascendente

$t$ [s]	$v_0$ [ $10^{-6}$ m/s]	$r$ [ $10^{-7}$ m]	$\eta$ [ $10^{-5}$ N·s/m <sup>2</sup> ]	$r_m$ [ $10^{-6}$ m]	$T$ [°C]	$\Delta V$ [V]
37.4	1.337	3.234	1.831	3.099	21.5	0
44.3	1.128	2.942				
41.1	1.216	3.068				
38.8	1.289	3.169				
38.6	1.296	3.179				

Tab. 8: Goccia 3: assenza di campo elettrico

$t$ [s]	$v_+$ [ $10^{-4}$ m/s]	$Q$ [ $10^{-19}$ C]	$E$ [ $\frac{V}{m}$ ]	$T$ [°C]	$\Delta V$ [V]
1.3	4.000	6.276	51712.85	21.5	395
1.2	4.202	6.603			
1.9	2.577	3.972			
1.6	3.106	4.827			
1.5	3.378	5.269			

Tab. 9: Goccia 3: preseza di campo elettrico, moto discendente. Durante il suo moto ha interagito con un'altra goccia.

$t$ [s]	$v_-$ [ $10^{-4}m/s$ ]	$Q$ [ $10^{-19}C$ ]	$E$ [ $\frac{V}{m}$ ]	$T$ [°C]	$\Delta V$ [V]
1.1	4.545	7.565	-51712.85	21.5	-395
1.5	3.247	5.462			
1.7	2.907	4.911			
1.6	3.145	5.296			
1.6	3.145	5.296			

Tab. 10: Goccia 3: preseza di campo elettrico, moto ascendente

$t$ [s]	$v_0$ [ $10^{-6} m/s$ ]	$r$ [ $10^{-7} m$ ]	$\eta$ [ $10^{-5} N \cdot s/m^2$ ]	$r_m$ [ $10^{-6} m$ ]	$T$ [°C]	$\Delta V$ [V]
48.5	10.32	2.800	1.833	2.501	22.0	0
65.0	7.695	2.371				
69.5	7.196	2.281				
39.1	12.80	3.160				
46.4	1.079	2.871				

Tab. 11: Goccia 4: assenza di campo elettrico

$t$ [s]	$v_+$ [ $10^{-4}m/s$ ]	$Q$ [ $10^{-19}C$ ]	$E$ [ $\frac{V}{m}$ ]	$T$ [°C]	$\Delta V$ [V]
1.3	3.731	3.963	51843.77	22.0	396
1.1	4.717	5.038			
1.4	3.676	3.903			
1.3	3.759	3.993			
1.3	3.731	3.963			

Tab. 12: Goccia 4: preseza di campo elettrico, moto discendente. Durante il suo moto ha interagito con un'altra goccia.

$t$ [s]	$v_-$ [ $10^{-4}m/s$ ]	$Q$ [ $10^{-19}C$ ]	$E$ [ $\frac{V}{m}$ ]	$T$ [°C]	$\Delta V$ [V]
1.2	4.310	4.819	-51712,85	22.0	-395
1.3	3.906	4.377			
1.0	5.208	5.801			
1.4	3.650	4.097			
1.2	4.237	4.739			

Tab. 13: Goccia 4: preseza di campo elettrico, moto ascendente. Durante il suo moto ha interagito con un'altra goccia.

$t$ [s]	$v_0$ [ $10^{-6} m/s$ ]	$r$ [ $10^{-7} m$ ]	$\eta$ [ $10^{-5} N \cdot s/m^2$ ]	$r_m$ [ $10^{-6} m$ ]	$T$ [°C]	$\Delta V$ [V]
59.2	8.443	2.500	1.833	2.557	22.0	0
40.9	12.23	3.080				
59.8	8.361	2.486				
59.9	8.346	2.483				
55.3	9.037	2.598				

Tab. 14: Goccia 5: assenza di campo elettrico

$t$ [s]	$v_+$ [ $10^{-4}m/s$ ]	$Q$ [ $10^{-19}C$ ]	$E$ [ $\frac{V}{m}$ ]	$T$ [ $^{\circ}C$ ]	$\Delta V$ [V]
2.0	2.488	2,933	51843.77	22.0	396
1.9	2.591	3,059			
2.1	2.439	2,873			
1.7	3.012	3,575			
2.2	2.232	2,620			

Tab. 15: Goccia 5: preseza di campo elettrico, moto discendente. Durante il suo moto ha interagito con un'altra goccia.

$t$ [s]	$v_-$ [ $10^{-4}m/s$ ]	$Q$ [ $10^{-19}C$ ]	$E$ [ $\frac{V}{m}$ ]	$T$ [ $^{\circ}C$ ]	$\Delta V$ [V]
2.1	2.381	3.030	-51843.77	22.0	-396
2.0	2.451	3.115			
2.3	2.222	2.835			
1.8	2.747	3.478			
2.1	2.347	2.989			

Tab. 16: Goccia 5: preseza di campo elettrico, moto ascendente. Durante il suo moto ha interagito con un'altra goccia.

$t$ [s]	$v_0$ [ $10^{-6} m/s$ ]	$r$ [ $10^{-7} m$ ]	$\eta$ [ $10^{-5} N \cdot s/m^2$ ]	$r_m$ [ $10^{-6} m$ ]	$T$ [ $^{\circ}C$ ]	$\Delta V$ [V]
53.6	9.328	2.645	1.8334	2.721	22.0	0
52.4	9.542	2.680				
48.0	10.42	2.816				
49.2	10.16	2.777				
50.8	9.843	2.727				

Tab. 17: Goccia 6: assenza di campo elettrico

$t$ [s]	$v_+$ [ $10^{-4}m/s$ ]	$Q$ [ $10^{-19}C$ ]	$E$ [ $\frac{V}{m}$ ]	$T$ [ $^{\circ}C$ ]	$\Delta V$ [V]
2.3	2.146	2.848	51843.77	22.0	396
2.7	1.873	2.468			
2.5	1.969	2.601			
2.4	2.110	2.797			
2.4	2.049	2.713			

Tab. 18: Goccia 6: preseza di campo elettrico, moto discendente

$t$ [s]	$v_-$ [ $10^{-4}m/s$ ]	$Q$ [ $10^{-19}C$ ]	$E$ [ $\frac{V}{m}$ ]	$T$ [ $^{\circ}C$ ]	$\Delta V$ [V]
2.2	2.232	3.242	-51843.77	22.0	-396
2.4	2.092	3.047			
2.3	2.137	3.109			
2.5	2.024	2.953			
2.4	2.110	3.072			

Tab. 19: Goccia 6: preseza di campo elettrico, moto ascendente

$t$ [s]	$v_0$ [ $10^{-6}$ m/s]	$r$ [ $10^{-7}$ m]	$\eta$ [ $10^{-5}$ N·s/m <sup>2</sup> ]	$r_m$ [ $10^{-6}$ m]	$T$ [°C]	$\Delta V$ [V]
50.2	9,956	2,745	1.8334	2.378	22.0	0
61.0	8,202	2,459				
69.0	7,242	2,290				
71.8	6,963	2,238				
61.4	8,138	2,448				

Tab. 20: Goccia 7: assenza di campo elettrico

$t$ [s]	$v_+$ [ $10^{-4}$ m/s]	$Q$ [ $10^{-19}$ C]	$E$ [ $\frac{V}{m}$ ]	$T$ [°C]	$\Delta V$ [V]
1.2	4.202	4,653	51843.77	22.0	396
1.0	4.854	5,390			
0.9	5.682	6,325			
1.1	4.717	5,235			
1.0	4.808	5,338			

Tab. 21: Goccia 7: preseza di campo elettrico, moto discendente

$t$ [s]	$v_-$ [ $10^{-4}$ m/s]	$Q$ [ $10^{-19}$ C]	$E$ [ $\frac{V}{m}$ ]	$T$ [°C]	$\Delta V$ [V]
1.3	3,731	4.305	-51843.77	22.0	-396
1.4	3,623	4.183			
1.2	4,065	4.682			
0.9	5,435	6.229			
1.0	5,051	5.795			

Tab. 22: Goccia 7: preseza di campo elettrico, moto ascendente

$t$ [s]	$v_0$ [ $10^{-6}$ m/s]	$r$ [ $10^{-7}$ m]	$\eta$ [ $10^{-5}$ N·s/m <sup>2</sup> ]	$r_m$ [ $10^{-6}$ m]	$T$ [°C]	$\Delta V$ [V]
15.9	3,149	5,164	1.8334	5.044	22.0	0
15.4	3,243	5,246				
17.3	2,895	4,937				
16.0	3,133	5,150				
17.8	2,803	4,851				

Tab. 23: Goccia 8: assenza di campo elettrico

$t$ [s]	$v_+$ [ $10^{-4}$ m/s]	$Q$ [ $10^{-19}$ C]	$E$ [ $\frac{V}{m}$ ]	$T$ [°C]	$\Delta V$ [V]
1.9	2.591	6.558	51843.77	22.0	396
1.9	2.660	6.755			
1.7	2.941	7.563			
1.7	2.976	7.664			
1.5	3.401	8.883			

Tab. 24: Goccia 8: preseza di campo elettrico, moto discendente

$t$ [s]	$v_-$ [ $10^{-4}m/s$ ]	$Q$ [ $10^{-19}C$ ]	$E$ [ $\frac{V}{m}$ ]	$T$ [ $^{\circ}C$ ]	$\Delta V$ [V]
2.0	2,500	8,044	-51843.77	22.0	-396
2.3	2,193	7,164			
2.1	2,381	7,703			
2.5	2,000	6,610			
2.2	2,252	7,334			

Tab. 25: Goccia 8: preseza di campo elettrico, moto ascendente

$t$ [s]	$v_0$ [ $10^{-6} m/s$ ]	$r$ [ $10^{-7} m$ ]	$\eta$ [ $10^{-5} N \cdot s/m^2$ ]	$r_m$ [ $10^{-6} m$ ]	$T$ [ $^{\circ}C$ ]	$\Delta V$ [V]
32.7	1.529	3.487	1.8334	3.374	22.0	0
37.3	1.340	3.241				
31.1	1.606	3.582				
37.8	1.325	3.220				
32.1	1.556	3.521				

Tab. 26: Goccia 9: assenza di campo elettrico

$t$ [s]	$v_+$ [ $10^{-5}m/s$ ]	$Q$ [ $10^{-19}C$ ]	$E$ [ $\frac{V}{m}$ ]	$T$ [ $^{\circ}C$ ]	$\Delta V$ [V]
5.0	10.06	1.525	51843.77	22.0	396
5.2	9.597	1.443			
5.1	9.804	1.480			
5.2	9.542	1.433			
5.1	9.785	1.476			

Tab. 27: Goccia 9: preseza di campo elettrico, moto discendente

$t$ [s]	$v_-$ [ $10^{-5}m/s$ ]	$Q$ [ $10^{-19}C$ ]	$E$ [ $\frac{V}{m}$ ]	$T$ [ $^{\circ}C$ ]	$\Delta V$ [V]
8.2	6,098	1.344	-51843.77	22.0	-396
7.8	6,443	1.405			
7.6	6,614	1.436			
7.5	6,676	1.447			
7.5	6,684	1.448			

Tab. 28: Goccia 9: preseza di campo elettrico, moto ascendente

$t$ [s]	$v_0$ [ $10^{-6} m/s$ ]	$r$ [ $10^{-7} m$ ]	$\eta$ [ $10^{-5} N \cdot s/m^2$ ]	$r_m$ [ $10^{-6} m$ ]	$T$ [ $^{\circ}C$ ]	$\Delta V$ [V]
22.5	2,226	4,283	1.8334	4.143	22.0	0
23.2	2,152	4,205				
23.5	2,127	4,178				
25.2	1,985	4,024				
24.6	2,037	4,081				

Tab. 29: Goccia 10: assenza di campo elettrico

$t$ [s]	$v_+$ [ $10^{-4}m/s$ ]	$Q$ [ $10^{-19}C$ ]	$E$ [ $\frac{V}{m}$ ]	$T$ [ $^{\circ}C$ ]	$\Delta V$ [V]
1.4	3,676	7,964	51843.77	22.0	396
1.3	3,876	8,423			
1.4	3,497	7,551			
1.4	3,521	7,607			
1.4	3,472	7,495			

Tab. 30: Goccia 10: preseza di campo elettrico, moto discendente

$t$ [s]	$v_-$ [ $10^{-4}m/s$ ]	$Q$ [ $10^{-19}C$ ]	$E$ [ $\frac{V}{m}$ ]	$T$ [ $^{\circ}C$ ]	$\Delta V$ [V]
1.8	2,732	6,762	-51843.77	22.0	-396
1.6	3,145	7,710			
1.6	3,205	7,849			
1.5	3,401	8,300			
1.6	3,067	7,532			

Tab. 31: Goccia 10: preseza di campo elettrico, moto ascendente