

# 物理实验报告

陈建烨 12411913 2025.3.18 P4124

## 一. 实验名称：密立根油滴实验

## 二. 实验目的

1. 验证电荷量的离散性，测定基本电荷量。
2. 了解密立根油滴实验的基本原理和实验方法。
3. 学习使用宏观量测量微观量的方法。

## 三. 实验原理

将带电的油滴通过喷雾方式喷入相距为 $d$ 的平行极板之间，调节电压 $U$ 使油滴悬浮在空中，此时油滴满足 $\frac{qU}{d} = mg$ ，所以 $q = \frac{mgd}{U}$ 。这种方法为静态平衡法。

由于 $m$ 很小，很难直接测量，我们可以近似将油滴视作球状，所以 $m = \rho \frac{4}{3} \pi r^3$ 。

油滴的半径可以由在空中有阻力情况下的匀速运动来测量。由于存在阻力，且阻力 $F_f \approx 6\pi r \eta v$ ，当速度最大时满足 $mg = 6\pi r \eta v$ 。

而 $v$ 可以由 $U = 0$ 时记录下落时间 $t$ 来计算， $v = \frac{l}{t}$ 。

整理后可得 $r = \sqrt{\frac{9\eta l}{2\rho g t}}$ 。

但是斯托克斯定律是以连续介质为前提的。对于半径为微米量级的油滴，空气已不能看作连续介质，空气的粘滞系数应作修正： $\eta' = \frac{\eta}{1 + \frac{b}{pr}}$

最后整理后可得

$$q = \frac{18\pi d}{\sqrt{2\rho g U}} \left[ \frac{\eta l}{(1 + \frac{b}{pr}) t} \right]^{\frac{3}{2}}$$

其中电容器极板距离 $d = 5.00\text{mm}$ ，油的密度 $\rho = 981\text{kg/m}^3$ ，重力加速度 $g = 9.79\text{m/s}^2$ ，空气粘滞系数 $\eta = 1.83 \times 10^{-5}\text{kg/m} \cdot \text{s}$ ，粘滞系数修正常数 $b = 0.00823\text{N/m}$ ，大气压强 $p = 1.013 \times 10^5\text{Pa}$ ，油滴下落距离 $l = 1.6\text{mm}$ ，其余的 $U$ ， $t$ 为待测量， $r$ 用 $r = \sqrt{\frac{9\eta l}{2\rho g t}}$ 近似。带入数据简化后

$$q = \frac{1.022 \times 10^{-14}}{U[(1 + 0.02193\sqrt{t})t]^{\frac{3}{2}}}$$

## 四.实验仪器

油滴实验装置

## 五.实验内容

### 1.仪器调整

调节面板上的平衡旋钮，使电极板水平。打开仪器和显示器开关，选“平衡法”，进入测量界面。

### 2.练习

- (1)熟悉按键操作，了解各个按键的功能。能熟练调节电压，切换下落，平衡和升高状态，会记录时间。
- (2)练习喷油和控制油滴平衡。通过调节电压使油滴悬浮在分划板上某处。

### 3.测量

选择合适的油滴（目视直径约 $0.1mm$ ），缓慢调节电压，使油滴悬浮在分划板上某处。记录下电压 $U$ 。将油滴提升到顶部网格线，记录从 $0mm$ 网格线下落到 $1.6mm$ 网格线的时间 $t$ 。重复多次，取平均值。时间测量3次，测5个不同的油滴。

### 4.计算

根据公式计算出每个油滴的电荷量 $q_i$ 。计算油滴元电荷个数 $n_i = \left[ \frac{q_i}{e} \right]$ （其中 $[]$ 为四舍五入），可以计算出元电荷 $e_i = \frac{q_i}{n_i} = \frac{q_i}{\left[ \frac{q_i}{e} \right]}$ 。计算出元电荷的平均值 $\bar{e}$ ，与理论值 $e = 1.6 \times 10^{-19}C$ 进行比较。计算出相对误差 $E = \frac{|\bar{e}-e|}{e} \times 100\%$ 。

## 六.实验数据

油滴编号	$U/V$	$t_1/s$	$t_2/s$	$t_3/s$	$\bar{t}/s$
1	129	4.00	4.28	4.12	4.13
2	98	13.4	13.58	13.31	13.43
3	152	14.68	14.61	14.46	14.58
4	147	14.86	15.44	15.25	15.18
5	83	31.51	32.45	31.34	31.77

## 七.数据处理

$$\begin{aligned}q_1 &= \frac{1.022 \times 10^{-14}}{U_1[(1+0.02193\sqrt{\bar{t}_1})\bar{t}_1]^{\frac{3}{2}}} = \frac{1.022 \times 10^{-14}}{129 \times [(1+0.02193\sqrt{4.13})4.13]^{\frac{3}{2}}} = 8.83 \times 10^{-18} \\q_2 &= \frac{1.022 \times 10^{-14}}{U_2[(1+0.02193\sqrt{\bar{t}_2})\bar{t}_2]^{\frac{3}{2}}} = \frac{1.022 \times 10^{-14}}{98.00 \times [(1+0.02193\sqrt{13.43})13.43]^{\frac{3}{2}}} = 1.89 \times 10^{-18} \\q_3 &= \frac{1.022 \times 10^{-14}}{U_3[(1+0.02193\sqrt{\bar{t}_3})\bar{t}_3]^{\frac{3}{2}}} = \frac{1.022 \times 10^{-14}}{152.00 \times [(1+0.02193\sqrt{14.58})14.58]^{\frac{3}{2}}} = 1.07 \times 10^{-18} \\q_4 &= \frac{1.022 \times 10^{-14}}{U_4[(1+0.02193\sqrt{\bar{t}_4})\bar{t}_4]^{\frac{3}{2}}} = \frac{1.022 \times 10^{-14}}{147.00 \times [(1+0.02193\sqrt{15.18})15.18]^{\frac{3}{2}}} = 1.04 \times 10^{-18} \\q_5 &= \frac{1.022 \times 10^{-14}}{U_5[(1+0.02193\sqrt{\bar{t}_5})\bar{t}_5]^{\frac{3}{2}}} = \frac{1.022 \times 10^{-14}}{83.00 \times [(1+0.02193\sqrt{31.77})31.77]^{\frac{3}{2}}} = 5.77 \times 10^{-19}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n_1 &= \left[ \frac{q_1}{e} \right] = \left[ \frac{8.83 \times 10^{-18}}{1.60 \times 10^{-19}} \right] \approx 55 \\n_2 &= \left[ \frac{q_2}{e} \right] = \left[ \frac{1.89 \times 10^{-18}}{1.60 \times 10^{-19}} \right] \approx 12 \\n_3 &= \left[ \frac{q_3}{e} \right] = \left[ \frac{1.07 \times 10^{-18}}{1.60 \times 10^{-19}} \right] \approx 7 \\n_4 &= \left[ \frac{q_4}{e} \right] = \left[ \frac{1.04 \times 10^{-18}}{1.60 \times 10^{-19}} \right] \approx 6 \\n_5 &= \left[ \frac{q_5}{e} \right] = \left[ \frac{5.77 \times 10^{-19}}{1.60 \times 10^{-19}} \right] \approx 4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}e_1 &= \frac{q_1}{n_1} = \frac{8.83 \times 10^{-18}}{55} = 1.61 \times 10^{-19} \\e_2 &= \frac{q_2}{n_2} = \frac{1.89 \times 10^{-18}}{12} = 1.57 \times 10^{-19} \\e_3 &= \frac{q_3}{n_3} = \frac{1.07 \times 10^{-18}}{7} = 1.53 \times 10^{-19} \\e_4 &= \frac{q_4}{n_4} = \frac{1.04 \times 10^{-18}}{6} = 1.73 \times 10^{-19} \\e_5 &= \frac{q_5}{n_5} = \frac{5.77 \times 10^{-19}}{4} = 1.44 \times 10^{-19}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{e} &= \frac{e_1 + e_2 + e_3 + e_4 + e_5}{5} = \frac{1.61 \times 10^{-19} + 1.57 \times 10^{-19} + 1.53 \times 10^{-19} + 1.73 \times 10^{-19} + 1.44 \times 10^{-19}}{5} = 1.58 \times 10^{-19} \\E &= \frac{|\bar{e} - e|}{e} \times 100\% = \frac{|1.58 \times 10^{-19} - 1.60 \times 10^{-19}|}{1.60 \times 10^{-19}} \times 100\% = 1.60\%\end{aligned}$$

## 八.误差分析

- 1.电压和时间测量误差
- 2.油滴本身浮力。
- 3.计算化简过程中的近似，常数的取值。
- 4.油滴本身的布朗运动。下落过程中形状不规则变化。

## 九.实验结论

通过本次实验，验证了电荷量的离散性，测得元电荷 $e_i$ 与理论值 $e = 1.6 \times 10^{-19} C$ 相近。相对误差 $E = 1.60\%$ 在合理范围内。