

物 理 实 验 （二）

密立根油滴实验

时间：2023 年 11 月 27 日

创作人：陆知辰

学号：10225301478

目录

一、 实验摘要	2
1.1 实验概要	2
1.2 实验目的	2
二、 实验原理	2
2.1 动态（非平衡）法测油滴电荷	2
2.2 静态（平衡）法测油滴电荷	5
三、 实验装置器材介绍	5
四、 实验内容及实验步骤	8
4.1 讲仪器调整至待测状态	8
4.2 测量练习	8
4.2.1 选择油滴	8
4.2.2 平衡判断	8
4.2.3 记录时间	8
4.3 平衡法（静态法）测量	8
4.4 动态法测量	9
4.5 数据处理	9
4.5.1 数据处理用到的参量	9
4.5.2 数据处理方法介绍	9
4.5.2.1	
求最大公约数 94.5.2.2 倒过来验证法 94.5.2.3 作图法 9	

一、 实验摘要

1.1 实验概要

密立根油滴实验在近代物理学发展史上是一个十分重要的实验，它证明了任何带电体所带的电荷都是元电荷的整数倍，明确了电荷的不连续性，并精确地测定了元电荷的数值，为从实验上测定其他一些基本物理量提供了可能性。

1.2 实验目的

1. 了解密立根油滴实验的设计思想。
2. 掌握带电油滴在重力场和静电场中运动的测量方法。
3. 掌握测量元电荷的数据处理方法。

二、 实验原理

2.1 动态（非平衡）法测油滴电荷

一个质量为 m 、带电荷量为 q 的油滴处在两块平行极板之间，在平行极板未加电压时，油滴受重力作用而加速下降，由于空气阻力的作用，下降一段距离后，油滴将作匀速运动，速度为 v_g ，这时重力与阻力平衡（空气浮力忽略不计），如图 1 所展示的那样。

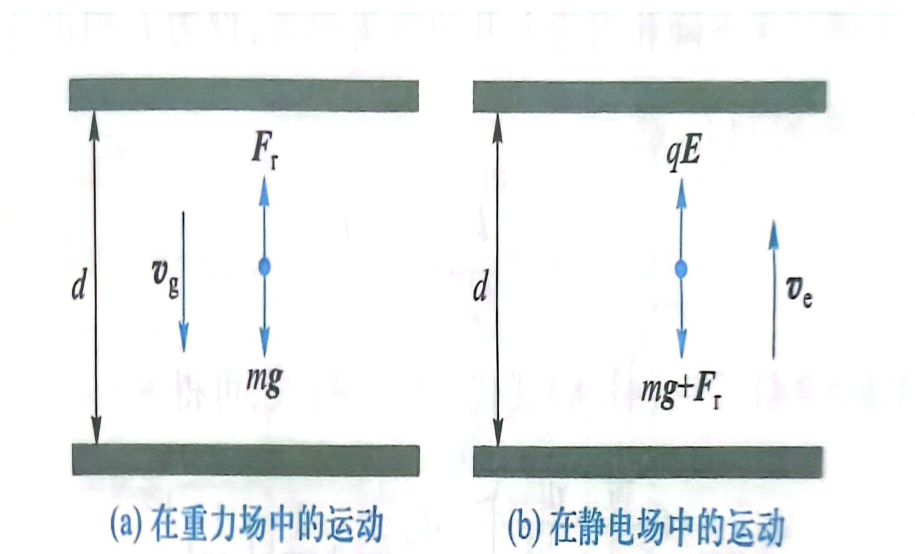


图 1: 电荷在极板间运动时受力情况

根据斯托克斯定律，黏性力为

$$F_r = 6\pi a\eta v_g \quad (1)$$

式中 η 是空气的黏度， a 是油滴的半径，这时有

$$6\pi a\eta v_g = mg \quad (2)$$

当在平行极板上加电压 U 时，油滴处在场强为 E 的静电场中，设电场力 qE 与重力方向相反，使油滴受电场力加速上升，由于空气阻力作用，上升一段距离后，油滴所受的空气阻力、重力与电场力达到平衡（空气浮力忽略不计），则油滴将匀速上升，此时速度为 v_e ，则有

$$6\pi a\eta v_e = qE - mg \quad (3)$$

根据 $E = \frac{U}{d}$ 结合上文的结论可以得到

$$q = mg\left(\frac{d}{U}\right)\left(\frac{v_g + v_e}{v_g}\right) \quad (4)$$

为测定油滴所带电荷量 q 、除应测出 U 、 d 和速度 v_e 和 v_g 。外，还须知油滴质量 m 。由于空气中悬浮和表面张力作用，可将油滴看作圆球，其质量为

$$m = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho \quad (5)$$

其中 ρ 为油滴的密度。最终可以得到油滴的半径为

$$a = \left(\frac{9\eta v_g}{2\rho g} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

考虑到油滴非常小，空气已不能看作连续介质，空气的粘度 η 应该修正为：

$$\eta' = \frac{\eta}{1 + \frac{b}{pa}} \quad (7)$$

式中 b 为修正常数， p 为空气压强， a 为未经修正过的油滴半径，由于它在修正项中，所以不必计算得很精确。实验时取油滴匀速下降和匀速上升的距离相等，设为 l ，测出油滴匀速下降的时间 t_g ，匀速上升的时间 t_e 。则

$$v_g = \frac{l}{t_g} \quad v_e = \frac{l}{t_e} \quad (8)$$

最终可以得到

$$q = \frac{18\pi}{\sqrt{2\rho g}} \left(\frac{\eta l}{1 + \frac{b}{pa}} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{d}{U} \left(\frac{1}{t_e} + \frac{1}{t_g} \right) \left(\frac{1}{t_g} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

令

$$K = \frac{18\pi d}{\sqrt{2\rho g}} \left(\frac{\eta l}{1 + \frac{b}{pa}} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (10)$$

可以得到

$$q = K \left(\frac{1}{t_e} + \frac{1}{t_g} \right) \left(\frac{1}{t_g} \right)^{\frac{1}{2}} / U \quad (11)$$

此公式即为动态（非平衡）法测油滴电荷的公式

2.2 静态（平衡）法测油滴电荷

调节平行板之间的电压，使油滴不动， $v_e = 0$ ，即 $t \rightarrow \infty$ ，有

$$q = K \left(\frac{1}{t_g} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{1}{U} \quad (12)$$

或者

$$q = \frac{18\pi}{\sqrt{2\rho g}} \left(\frac{\eta l}{t_g \left(1 + \frac{b}{pa} \right)} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{d}{U} \quad (13)$$

上式即为静态发测油滴电荷的公式。

为了求电子电荷量，对实验测得的各个电荷 q 求出的最大公约数，就是元电荷 e 的值，也就是电子电荷量的绝对值。

三、 实验装置器材介绍

密立根油滴仪（包含油滴盒、油滴照明装置、调平系统、测量显微系统、供电电源、电子停表及喷雾器等），显示器，油滴管等。

油滴盒的结构如图 2 所示. 它由两块经过精磨的金属平板，中间垫以胶木圆环，构成的平行板电容器组成. 在上板中心处有油雾孔，使微小油滴可以进入电容器中间的电场空间，胶木圆环上有进光孔和观察孔。进入电场空间内的油滴由照明装置照明，油滴盒可通过调平螺丝调整水平，用水准仪检查水平情况，油滴盒防风罩前装有测量显微镜，用来观察油滴，在目镜头中装有分划板。

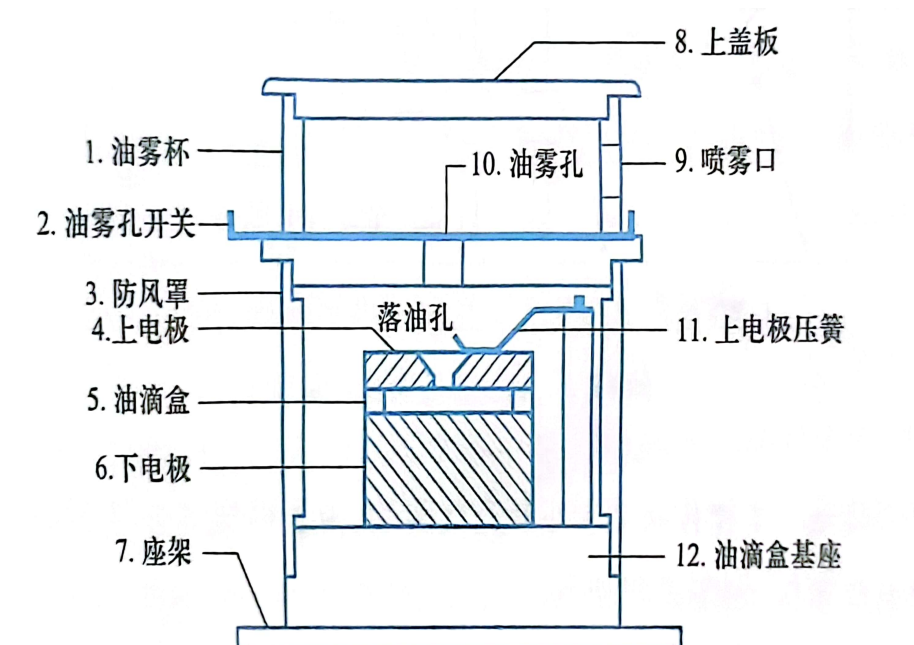


图 2: 密立根实验仪器结构示意图

密立根油滴仪所具有的各个部分的功能如下：

电源开关：打开/关闭电源，控制平衡电压、提升电压和计时器，当电源关闭时，开关的指示灯为暗，打开电源，电源指示灯变亮。

水平调节仪：调节密立根油滴仪和桌面的水平情况，对水平调节仪的底座旋钮进行调节，使水平调节仪的水平气泡处在中央位置，如果水平气泡不在中央位置，则会影响油滴下落的观察和上升时间的计量。

油滴管：喷出雾状油滴。

显微镜：调节显示器上油滴的清晰程度。

平衡电压挡：控制电压的正负极以及数值。

提升电压挡：在平衡电压数值的绝对值之上加上一定电压。

计时器：记录油滴的上升和下落的时间。

平衡电压旋钮：微调电压的数值。

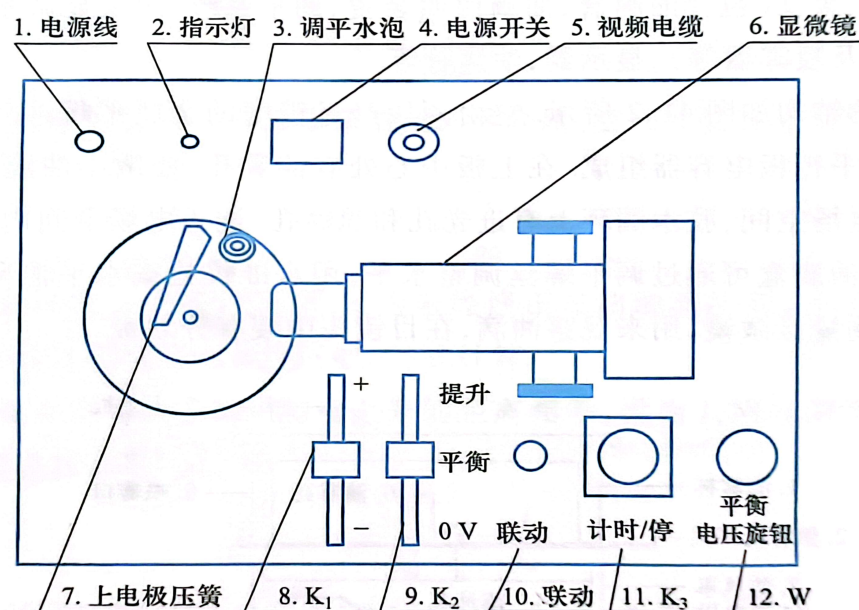


图 3: 密立根实验仪器操作盘

其控制面板如图 3 所示. 电容器极板上所加电压由直流平衡电压和直流升降电压两部分组成. 其中平衡电压大小连续可调, 并可从显示屏上直接读数, 其极性由换向开关控制, 以满足对不同极性电压的需要, 升降电压的大小可连续调节, 并可通过换向开关叠加在平衡电压上, 以控制油滴在电容器内上下位置。

油滴实验是一个操作技巧要求较高的实验, 为了得到满意的实验结果, 必须仔细认真调整油滴仪. 调节过程如下:

- (1) 首先要调节调平螺丝, 将平行电极板调到水平, 使平衡电场方向与重力方向平行以免引起实验误差。
- (2) 调节显微镜焦点, 使油滴清晰显示在显示器上。
- (3) 喷雾器是用来快速向油滴仪内喷油雾的, 在喷射过程中, 由于摩擦作用可使油滴带电。

当油雾从喷雾口喷入油滴室内后, 视场中将出现大量清晰的油滴, 犹如夜空繁星. 试加上平衡电压, 改变其大小和极性, 驱散不需要的油滴, 练习控制其中一颗油滴的运动, 并记录油滴经过两条横丝间距所用的时间。

四、 实验内容及实验步骤

4.1 讲仪器调整至待测状态

调节仪器底座上的三只调平手轮，将水泡调平，调节显微镜筒前端使其和底座前端对齐，喷油后再稍稍前后微调即可。在使用中，前后调焦范围不要过大，取前后调焦 1mm 内的油滴较好。

打开监视器和油滴仪的电源，进入测量状态后，显示出标准分划板刻度线及电压值 U 、下落时间 t 。

4.2 测量练习

4.2.1 选择油滴

选择一颗合适的油滴十分重要，大而亮的油滴必然质量大，所带电荷也多，而匀速下降时间却很短，这增大了测量误差，给数据处理带来困难。我们通常选择平衡电压为 200 300 V，匀速下落 1.5 mm（6 格）所用时间在 8 20s 的油滴较适宜。

4.2.2 平衡判断

判断油滴是否平衡要有足够的耐性。

4.2.3 记录时间

测准油滴上升或下降某段距离所需的时间，一是要统一油滴到达刻度线什么位置才认为油滴已踏线；二是眼睛要平视刻度线，不要有夹角。

4.3 平衡法（静态法）测量

可将已调平衡的油滴用平衡电压开关控制移到“起跑”线上（一般取第 2 格上线），按计时开关，让计时器停止计时（值不必要为 0），然后将平衡电压开关 K ，拨向“0V”，油滴开始匀速下降的同时，计时器开始计时。到“终点”（一般取第 7 格下线）时迅速将平衡电压开关 K_2 拨向“平衡”，油滴立即静止，计时也立即停止，此时电压值和下落时间值显示在屏幕上，进行相应的数据处理即可。

4.4 动态法测量

分别测出加电压时油滴上升的速度和不加电压时油滴下落的速度，代入相应公式，求出 e 值，此时最好将平衡电压开关与计时开关联动断开，油滴的运动距离一般取 1.5mm。选择 10~20 颗油滴，对某颗油滴重复测量 5~10 次，求得电子电荷量的平均值。在每次测量时都要检查和调整平衡电压，以减小偶然误差，避免因油滴挥发而使平衡电压发生变化。

4.5 数据处理

4.5.1 数据处理用到的参量

参量	量值
油的密度	$\rho = 981 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} (20^\circ \text{C})$
油滴匀速下降距离	$l = 1.5 \times 10^{-3} \text{ m}$
修正常数	$b = 6.17 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{cmHg}$
大气压强	$p = 76.0 \text{ cmHg}$ (实际大气压可由气压表读出)
平行极板间距离	$d = 5.00 \times 10^{-3} \text{ m}$

表 1: 数据处理可能用到的参量数据表

4.5.2 数据处理方法介绍

4.5.2.1 求最大公约数

4.5.2.2 倒过来验证法

4.5.2.3 作图法