

# 物理实验预习报告

实验名称：密立根油滴实验

指导教师：应旭初

班级：机械 2402

姓名：叶畅飞

学号：3240103132

实验日期：2025 年 9 月 30 日 星期二 下午

浙江大学物理实验教学中心

# 一、预习报告（10 分）

## 1. 实验综述（5 分）

### 【实验原理】

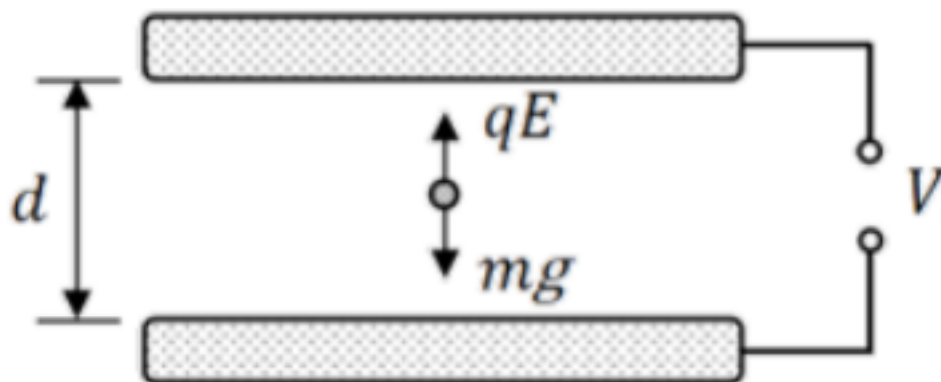


图 1 密立根油滴实验示意图

### 1. 基本实验原理

密立根油滴实验有三种实验测量方法:即静态平衡法、油滴反转运动法、动态测量法。本实验采用了静态平衡法,其基本原理如下:利用密立根油滴仪的喷雾器将油滴喷入两块相距为  $d$  的水平放置的平行带电平板之间,如图 1 所示。油滴在喷雾时由于摩擦,一般都是带电的。设油滴的质量为  $m$ ,带电荷量为  $q$ ,两块平行带电平板之间的电压为  $U$ ,此时油滴在平板之间将同时受到两个力的作用,一个是重力  $mg$ ,一个是静电力  $qE$ 。调节板间的电压  $U$ ,可使作用在油滴上的两个力达到动态平衡,则有:

$$mg = qE = q \frac{U}{d} \quad (1)$$

从上式可见,为了测出油滴所带的电量  $q$ ,除了测出  $U$  和  $d$  之外,还需测定油滴的质量  $m$ 。由于  $m$  很小(约  $10^{-15}kg$ ),需要用特殊的方法来测定。

### 2. 油滴质量 $m$ 的测定

油滴在表面张力的作用下,一般总是呈小球状。设油的密度为  $\rho$ ,某油滴的半径为  $r$ ,则该油滴的质量  $m$  可用下式表示:

$$m = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho \quad (2)$$

在图 1 中,平行板不加电压时,油滴受重力而加速下降,但由于空气对油滴的黏滞阻力  $F$  与油滴的速度  $v$  成正比,油滴下降一段距离达某一速度后阻力  $F$  与重力  $mg$  平衡(空气浮力忽略不计),油滴将匀速下降。由斯托克斯定律知:

$$F = 6\pi\eta r v = mg \quad (3)$$

由(2)式和(3)式得油滴半径的大小为:

$$r = \sqrt{\frac{9\eta v}{2\rho g}} \quad (4)$$

对于半径小到 $10^{-6}m$ 的小球, 空气的黏滞系数应作修正, 此时的斯托克斯定律应修正为:

$$F = 6\pi\eta r \frac{v}{1 + \frac{b}{pr}} \quad (5)$$

式中 $b$ 为修正常数,  $b = 6.17 \times 10^{-6}m \cdot cmHg$ ,  $p$  为大气压强, 单位为 $cmHg$ 。根据修正后的黏滞阻力公式, 得油滴半径为:

$$r = \sqrt{\frac{9\eta v}{2\rho g} \frac{1}{1 + \frac{b}{pr}}} \quad (6)$$

上式根号中还包含油滴的半径 $r$ , 由于它处在修正项中, 故不需十分精确, 因此 $r$ 用(4)式代入计算即可。

在(6)式中还有油滴匀速下降的速度 $v$ 是未知数, 它可用下面方法测出, 即在平行板未加电压时, 测出油滴下降 $l$ 长度时所用的时间 $t$ , 即:

$$v = \frac{l}{t} \quad (7)$$

将(7)式代入(6)式, 再代入(3)式, 就算得油滴质量了。

### 3. 油滴所带电荷量及基本电荷量

整理上一步式子后得:

$$q = \frac{18\pi}{\sqrt{2\rho g}} \left( \frac{\eta l}{t(1 + \frac{b}{pr})} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{d}{U} \quad (8)$$

实验发现, 对于某一颗油滴, 如果我们改变它所带的电荷量 $q$ , 则能够使油滴达到平衡的电压必须是某些特定值 $U_m$ , 研究这些电压变化的规律可发现, 它们都满足下列方程:

$$q = mg \frac{d}{U_m} = ne \quad (9)$$

式中  $n = \pm 1, \pm 2, \dots$ , 而 $e$ 则是一个不变的值。对于不同的油滴, 可以发现同样的规律, 而且 $e$ 值却是共同的常量。由此可见, 所有带电油滴所带电荷量 $q$ 都是最小电荷量 $e$ 的整数倍, 这就证明了电荷的不连续性, 且最小电荷量 $e$ 就是电子的电荷值:

$$e = \frac{q}{n} \quad (10)$$

### 4. “逐次相减法” 求基本电荷量

从原则上说, 对实验所测得的各个油滴的电荷值求最大公约数, 即可求得基本电荷。但由于实验有误差, 求最大公约数有一定困难。故用“逐次相减法”求最大公约数。

考虑到实验误差,可将基本电荷先估计为 $1.55 \times 10^{-19}C$ ,从而确定各个油滴的基本电荷数 $n = \frac{q_i}{1.55} \times 10^{-19}C$ 。如果一次相减还看不出基本电荷的范围,可再进行一次“逐次相减法”,若有负值,则取其绝对值进行分析。然后再用 $e_i = \frac{q_i}{n}$ 公式求得用当前油滴测得的基本电荷量,求 10 个油滴的基本电荷量,取平均值就可得到 $e$ 。

### 实验方法:

1. 调节仪器,使测量室水平,重力场与电场平衡。
2. 练习油滴的选择与控制
  - (1)选择中等大小的油滴。油滴太大,则降落速度太快;油滴太小,则自由降落速度涨落很大,均不易测准时间。
  - (2)练习控制油滴。
3. 数据测量与获取
  - (1)将 K2 开关拨到“平衡”档,调节“平衡电压”旋钮使带电油滴在屏上某点静止。记录屏幕显示的平衡电压大小。
  - (2)将 K2 开关拨到“提升”档,将带电油滴移至观察屏最上方水平线位置。
  - (3)将 K2 开关拨到“0V”档,选择带电油滴自由下降的一段进行计时,记录计时器读数与下降距离。
  - (4)多次测量,填表。
4. “逐次相减法”求基本电荷量

利用上面测量得到的油滴电荷量计算基本电荷量,并验证不同油滴所带电荷量都是某一公约数的倍数。

## 2. 实验重点 (3 分)

1. 了解密立根油滴仪的工作特性
2. 测定电子基本电荷量
3. 掌握密立根油滴实验数据处理方法

## 3. 实验难点 (2 分)

- 选择合适大小的油滴
- 平衡电压的精确调节
- 环境因素对实验的影响