

密立根油滴实验



密立根 (R. A. Millikan 1868-1953)

(获诺贝尔物理奖实验)

背景介绍

- ❖ 由美国物理学家**密立根**(Millikan R. A.)完成的**测量微小油滴上所带电荷的实验:油滴实验**，是物理学发展史上具有**重要意义**的实验。这一实验**首次证明了电荷的不连续性**，即任何带电体所带的电量都是**基本电荷的整数倍**，并精确测定了基本电荷 $e = 1.60 \times 10^{-19}$ 库仑。
- ❖ 密立根油滴实验设计精巧，设备简单，而实验结论却有不容置疑的说服力，因此这一实验历来被看做是物理实验的一个**光辉典范**。密立根由于这一杰出工作和在光电效应方面的研究成果而荣获**1923年诺贝尔物理奖**。

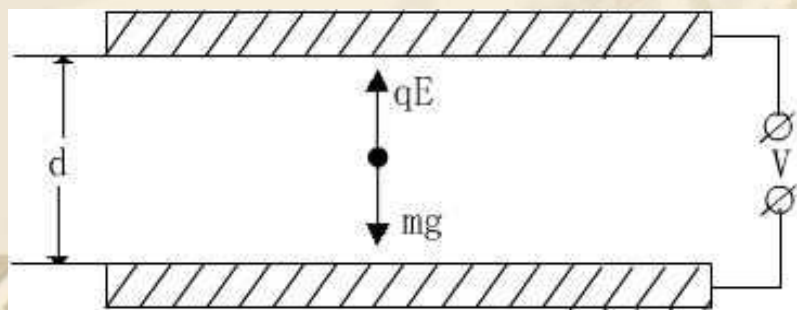
实验目的

1. 通过对带电油滴在重力场和静电场中运动的测量，验证电荷的不连续性，并测定基本电荷量 e ；
2. 通过对实验仪器的调整，油滴的选择、跟踪和测量，以及实验数据处理等，培养学生严谨的科学实验态度。
3. 学习并了解CCD图像传感器的原理与应用，学习电视显微测量方法。

实验原理

利用带电荷的微小油滴在均匀电场中运动的受力分析，可将油滴所带的微观电荷量 q 的测量转化为油滴宏观运动速度的测量。

- ❖ 用喷雾器将油喷入两块相距为 d 的水平放置的平行极板之间，油在喷射撕裂成油滴时，一般都带上电荷，假如油滴的质量为 m ，所带的电量为 q ，两极板间的电压为 U 。油滴在极板间同时受到重力和电场力两个力的作用。 E 为两极板间的电场强度。

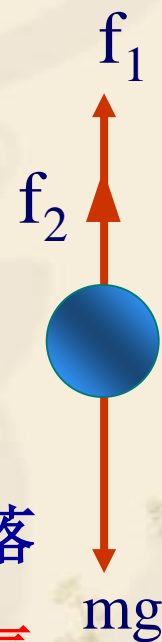


如果调节两极板间的电压 U 可使重力和电场力平衡，则有关系式：

$$mg = qE = q \frac{U}{d}$$

此时油滴会静止地悬浮在电场中，并保持平衡。

平行板不加电压时，油滴在空气中自由下落，下落过程中受三个力的作用：重力 mg ；空气浮力 f_1 ；空气对它的阻力 f_2 。



由于表面张力的作用,油滴一般呈小球状。设油滴的密度为 ρ ,半径为 a ,则油滴的质量 m 为:

$$m = \frac{4}{3} \pi a^3 \rho$$

重力及空气浮力可表示为:

$$mg = \frac{4}{3} \pi a^3 \rho g$$

$$f_1 = \frac{4}{3} \pi a^3 \rho' g$$

由斯托克斯定律知空气阻力可表示为

$$f_2 = 6\pi a \eta v$$

式中 η 是空气的粘滞系数。当油滴下落速度达到某一数值，油滴所受合外力等于零时，油滴匀速下降。此时有：

$$\frac{4}{3} \pi a^3 \rho g = \frac{4}{3} \pi a^3 g \rho' + 6\pi a \eta v$$

$$a = \sqrt{\frac{9}{2} \frac{\eta v}{g(\rho - \rho')}}}$$

当 $\rho \gg \rho'$ 时，空气浮力可以忽略。有

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

斯托克斯定律是以连续介质为前提的，对于半径小到 10^{-6}m 的微小油滴，半径与空气分子间的间隙大致相等，已不能将空气看作连续介质，因此空气的粘滞系数修改为：

$$\eta' = \frac{\eta}{1 + \frac{b}{pa}}$$

斯托克斯定律修改为

$$f_2 = \frac{6\pi a \eta v}{1 + \frac{b}{pa}}$$

最终可得：

$$q = \frac{18\pi}{\sqrt{2\rho g}} \cdot \frac{d}{U} \left[\frac{\eta L}{t_g \left(1 + \frac{b}{p}\right) \cdot \sqrt{\frac{2\rho g t_g}{9\eta L}}} \right]^{\frac{3}{2}}$$

此式是本实验计算**油滴电荷**的基本公式。式中**b**为修正常数， $b=6.17 \times 10^{-6}$ 米·厘米汞高，**p**为大气压强，单位为厘米汞高。其中**t_g**为油滴下降**L**距离所测量的**时间**。

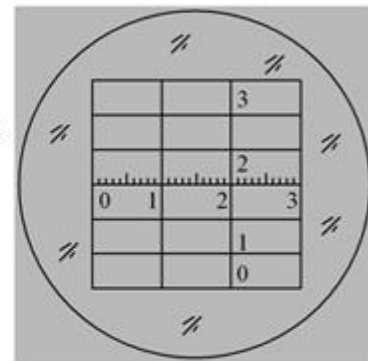
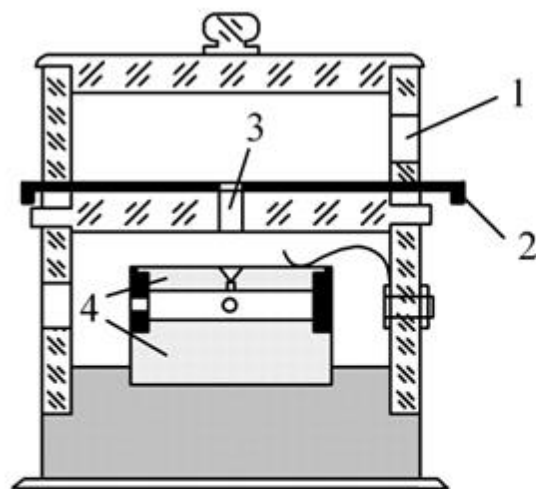
实验仪器

MOD-5型油滴仪包括：油滴盒，测量显微镜，数字电压表，工作电压调节旋钮，工作电压反向开关，升降电压调节旋钮，升降电压反向开关，CCD和监视器等。



结构示意图

油滴盒结构如图所示。油滴盒是由两块经过精磨的平行极板，上极板中央有一个直径**0.4毫米**的小孔，油滴从油雾室经油雾孔落入小孔，进入上下极板之间。油滴盒防风罩前装有**测量显微镜**，用以观察平行极板间的油滴。**测量显微镜目镜头中装有分划板**，其垂直总刻度相当于视场中的**3毫米**，用以测量油滴运动的距离。



油滴盒

分划板

- 1. 喷雾口 2. 油雾口开关
- 3. 油雾孔 4. 上下极板

实验内容及操作步骤

- ❖ 用静态（平衡）法测定电子的电荷
- ❖ 要求：
 1. 仪器调整
 2. 练习控制油滴
 3. 练习选择油滴
 4. 测量（对同一油滴进行**5—8**次测量）

仪器调整

- ❖ 将仪器放平稳，调整左右两只调平螺栓，使水准泡指示水平，这时平行极板处于水平状态。预热**10**分钟，利用预热时间从测量显微镜中观察，如果分划板位置不正，则转动目镜头，将分化板放正，目镜头要插到底。调节目镜，使分划板刻线清晰。
- ❖ 用喷雾器将油从油雾室旁的喷雾口喷入（喷一次即可），推上油雾孔挡板，以免空气流动而使油滴乱漂移，微调测量显微镜的调焦手轮，这时视场中即出现大量清晰的油滴。对与**CCD**一体化的屏显油滴仪，则从监视器荧光屏上观察油滴的运动。如油滴斜向运动，则可转动显微镜上的圆形**CCD**，使油滴垂直方向运动。



练习测量

- ❖ **练习控制油滴：** 如果用平衡法实验喷入油滴后，在平行极板上加工作（平衡）电压**250伏特**左右，工作电压选择开关置“**平衡**”档，**驱走不需要的油滴**，直到**剩下几颗缓慢运动**的油滴为止。注视其中的某一颗，仔细调节平衡电压，使这颗油滴静止不动。然后去掉平衡电压，让它自由下降，下降一段距离后再加上“**提升**”电压，使油滴上升。如此反复多次地进行练习，以掌握控制油滴的方法。

- ❖ **练习测量油滴运动的时间：**任意选择几颗运动速度快慢不同的油滴，用**计时器**测出它们下降一段距离所用的时间。如此反复多练几次，以掌握测量油滴运动时间的方法。
- ❖ **练习选择油滴：**要做好本实验，很重要的一点是选择**合适的油滴**。选的油滴**体积不能太大**，太大的油滴虽然比较亮，但一般带的电量比较多，**下降速度也比较快**，**时间不容易测准**。也不能选**太小的油滴**，太小则布朗运动明显。通常选择平衡电压在**200伏特**以上，在**15—30秒**内匀速下落**2毫米**的油滴，其大小和带电量比较合适。

正式测量—静态（平衡）测量法

1. 用平衡法测量油滴匀速下降一段距离 l 时要测量的有两个量。一是平衡电压 U ，另一个是油滴匀速下降一段距离 l 所需要的时间 t_g 。平衡电压必须经过仔细的调节，并将油滴置于分化板上某条横线附近，以便准确判断出这颗油滴是否平衡了。
2. 测量油滴下降 l 所需要的时间 t_g 时，为了在按动计时器时有所思想准备，应先让它下降一段距离后再测量时间。选定测量的一段距离 l ，应该在平衡极板之间的中央部分，即视场中分划的中央部分。若太靠近上极板，电场不均匀，会影响测量结果。太靠近下电极板，测量完时间后，油滴容易丢失，影响测量。一般取 $l=2mm$ 比较合适。

正式测量—静态（平衡）测量法

3. 对同一颗油滴进行**5—8**次测量，而且每次测量都要重新调整平衡电压。如果油滴逐渐变得模糊，要微调测量显微镜跟踪油滴，勿使油滴丢失。
4. 测完一颗油滴后，将平衡电压调为零，并打在“下落”档，重新喷油，选择油滴测量。本实验中要对**4-6**颗油滴进行测量。

注意事项

1. 在喷油后，若视场中**没有发现油滴**，可能有以下几个**原因**：**传感线接触不良**；**油滴孔被堵**。处理方法：**检查线路**；**打开有机玻璃油雾室**，利用**脱脂棉**擦拭小孔。
2. 调整仪器时，如要**打开有机玻璃油雾室**，应先将**工作电压**选择开关放在“**下落**”位置。
3. 喷油时，**切忌频繁喷油**，否则会堵塞油滴盒上盖的小孔。
4. 测量时，要随时调整工作电压，**若发现工作电压有明显改变**，**应放弃测量**，重新选择油滴。

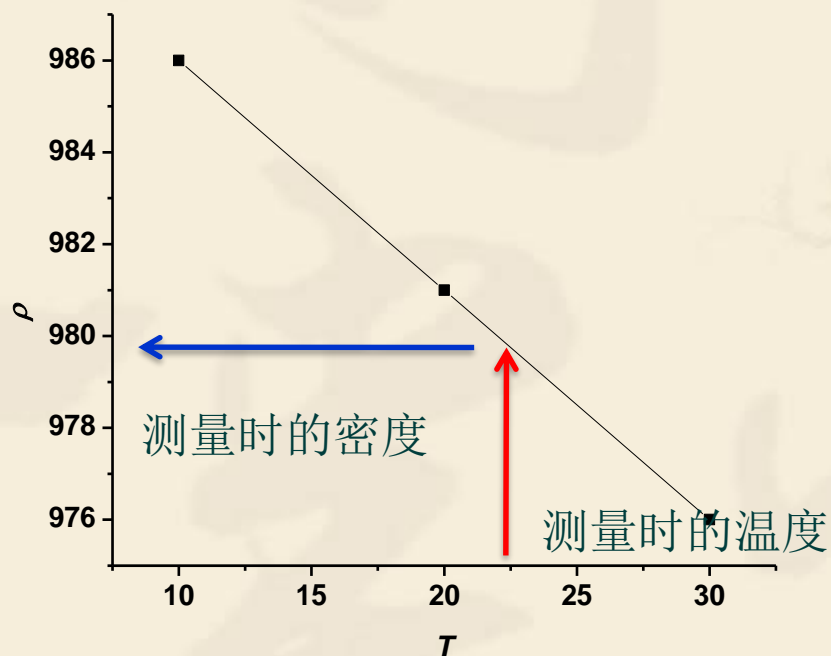
5. 完成本实验的**关键在于控制油滴和选择合适的油滴**。测量数据之前应熟练掌握控制油滴的技巧，并选择合适的油滴。否则就会造成实验失败。
6. 实验中**选择的油滴不能太大**，太大的油滴虽然较亮，但带电量比较多，下降速度较快，时间不容易测准确。**太小的油滴布朗运动明显**。通常选择平衡电压**200伏左右**的油滴，这时其大小和带电量比较适当。

需要测量的物理量

- ❖ 大气压强用标准值
- ❖ 油滴密度根据温度求出

要测物理量:

平衡电压 U
上升电压 U_E
下降时间 t_g
上升时间 t_E



思考与讨论

1. 如何判断油滴盒内两平行极板是否水平？如果不水平对实验有何影响？
2. 为什么向油雾室喷油时，一定要使电容器的两平行极板短路？这时平行电压的换向开关置于何处？
3. 应选什么样的油滴进行测量？选太小的油滴对测量有什么影响？选太大或带电太多的油滴又存在什么问题？
4. 观察中发现油滴形象变模糊，是什么问题？为什么会发生？如何处理？
5. 利用某一颗油滴的实验数据，计算出作用在该油滴上的浮力，将其大小与重力、粘滞力、电场力相比较。

作业布置

- ❖ 根据实验要求完成相应的实验报告撰写。