

➤ 实验目的

1. 测量电子的电量 e , 验证电荷的量子性。
2. 通过实验培养严谨的科学态度。

➤ 实验仪器

名 称	使用情况(良好、一般、故障)
密立根油滴仪	良好

注:实验目的、实验仪器名称要在课前预习时填写。

实验原理(请用自己的语言简明扼要地叙述,注意原理图需要画出、主要公式需要写明)

密立根油滴实验测定电子电荷的基本设计思想是使带电油滴在测量范围内处于受力平衡状态, 可以选用动态(非平衡)测量或者静态(平衡)测量法进行实验。

动态(非平衡)测量法测油滴电荷

用喷雾器将油滴喷入两块相距为 d , 水平放置的平行极板之间, 如图一所示, 油滴在喷射时由于摩擦, 一般都是带电的。设油滴的质量为 m , 所带的电荷量为 q , 两极板的电压为 V , 为了测出油滴所带的电荷量 q , 除了测量 V 和 d 之外, 还需要测定油滴的质量 m 。由于 m 很小, 需要通过如下的方法来测定。

平行极板未加电压时, 油滴受重力的作用而加速下降, 但空气黏性对油滴所产生的阻力与速度成正比, 油滴下降达到某一速度 v 后, 阻力与重力平衡(空气浮力忽略不计), 油滴将匀速下降, 由斯托克斯定律知, $F_r = 6\pi\eta r v = mg$, 其中 η 是空气的黏度, a 是油滴的半径(由于表面张力的原因, 油滴总是呈小球状)。设油滴的密度为 ρ , 则油滴的质量 $m = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho$ 。代入, 得 $a = \sqrt{\frac{9\eta v}{2\rho g}}$ 。

对于半径小到 10^{-6}m 的小球, 油滴半径接近于空气分子间孔隙的大小, 空气介质不能再认为是均匀的, 而斯托克斯定律只能对均匀介质才成立, 因而斯托克斯定律应修正为 $F_r = \frac{6\pi\eta r v}{1 + \frac{b}{pa}}$, 式中 $b = 4.629 \times 10^{-9}\text{cm} \cdot \text{Hg}$ 为修正常数, p 为大气压强, 单位为 Pa。修正后的油滴半径

$$a' = \sqrt{\frac{9\eta v}{2\rho g(1 + \frac{b}{pa})}}$$

上式根号中还包含油滴的半径 a , 处于修正项中, 不需要十分精确, 故仍可用此式计算。代入, 得

$$m = \frac{4}{3}\pi\rho\left(\frac{9\eta v}{2\rho g(1 + \frac{b}{pa})}\right)^{\frac{3}{2}}$$

当平行极板加电压 V 时, 油滴处于场强为 E 的静电场中, 设油滴所受电场力 qE 与重力 mg 相反, 如图二所示。油滴受到电场力的作用加速上升, 由于存在空气阻力的作用, 上升一段距离后, 电场力、空气阻力、重力达到平衡(不计空气浮力的作用), 则此后油滴将匀速上升。设此时油滴速度为 v_e 。

则有 $6\pi\eta r v_e = qE - mg = q\frac{V}{d} - mg$ 。

实验时, 取油滴匀速下降和匀速上升的距离相等, 均为 l , 油滴匀速下降和匀速上升的时间分别为 t_g, t_e , 则有

$$v_g = \frac{l}{t_g}, v_e = \frac{l}{t_e},$$

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

即为动态(非平衡)法测油滴电荷的公式。

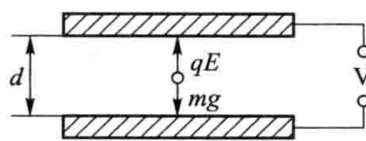
注:实验原理课前预习时填写,要画原理图(电路或光路图)上课前教师检查。

静态(平衡)法测油滴电荷

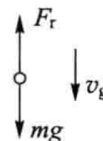
若调节平行极板间的电压, 使油滴在电场中静止, $v_e = 0$, 即 $t \rightarrow \infty$ 时, 可知

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

此式为静态(平衡)法测油滴电荷的公式。实验发现, 对于同一个油滴, 如果改变它所带的电荷量, 则能够使油滴达到平衡的电压必须为某些特定的值 V_n . 对于不同的油滴, 可以发现同样的规律, 而且 e 是共同的常量, 这就证明了电荷的不连续性, 并存在着最小的电荷单位, 即电子的电荷值 $-e$.



图一



图二

实验内容与步骤

仪器调平

调节调平螺钉, 使水准仪气泡位于中央, 此时, 平行极板处于水平状态, 电场方向和重力平行。
CCD显微镜筒前端和底座前端对齐, 喷油后稍稍前后微调 1 mm 左右看清油滴即可。

测量练习

选择平衡电压为 100 ~ 300 V, 均速下落 1.5 mm 的时间在 8 ~ 20 s 左右的油滴较适宜。
喷油后, 置平衡档, 调极板电压为 100 ~ 300 V, 注意几颗缓慢运动较为清晰明亮的油滴。试置测量档, 观察各颗油滴下落的大概速度, 从中选一颗作为测量对象。
判断油滴是否平衡需要将油滴移至某条刻度线上, 仔细调节平衡电压, 反复操作几次, 观察一段时间后, 如果油滴不再移动则认为处于平衡。
测准油滴上升或下落某段距离所需的时间时, 需注意油滴踏线表示计时的开始或结束, 观测时要使眼睛平视刻度线, 不能有夹角。

正式测量

将已调平衡的油滴移到第一条线左右, 调测量档, 油滴开始匀速下降; 当油滴恰好穿过第二条线时, 计时器开始计时; 油滴恰好穿过倒数第二条线时停止计时, 再迅速调平衡档。
这时显示屏上的数值即为油滴匀速下落 1.5 mm 对应的时间。
测量 10 次, 每次测量前都要检查和调整平衡电压, 以减少偶然误差和因油滴挥发引起平衡电压的变化。

注: 实验内容与实验步骤课后填写。

► 实验记录

测量次数	平衡电压/V	下落时间/s
1	123	12.16
2	124	11.97
3	126	11.96
4	124	12.27
5	120	11.98
6	128	12.24
7	125	12.17
8	124	12.05
9	126	12.16
10	125	12.24

注：自行设计规范的数据表格，表格中填写原始数据，注意单位和有效数字。

数据处理及误差分析

$$\begin{aligned}\bar{t} &= \frac{1}{10} \sum t \\ &= \frac{1}{10}(12.16 + 11.97 + 11.96 + 12.27 + 11.98 + 12.24 + 12.17 + 12.05 + 12.16 + 12.24) \\ &= 12.12 \text{ s},\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}U_{\bar{t}} &= \sqrt{U_{tA}^2 + U_{tB}^2} \\ &= \sqrt{\frac{t_p^2}{9 * 10} \sum (\bar{t} - t)^2 + 1^2} \\ &= \sqrt{\frac{1.06^2}{9 * 10} (0.04^2 + 0.15^2 + 0.16^2 + 0.15^2 + 0.14^2 + 0.12^2 + 0.05^2 + 0.07^2 + 0.04^2 + 0.12^2) + 0.01^2} \\ &= 0.04 \text{ s}.\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{V} &= \frac{1}{10} \sum V \\ &= \frac{1}{10}(123 + 124 + 126 + 124 + 120 + 128 + 125 + 124 + 126 + 125) \\ &= 125 \text{ V},\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}U_{\bar{V}} &= \sqrt{U_{VA}^2 + U_{VB}^2} \\ &= \sqrt{\frac{t_p^2}{9 * 10} \sum (\bar{V} - V)^2 + 0.01^2} \\ &= \sqrt{\frac{1.06^2}{9 * 10} (2^2 + 1^2 + 1^2 + 1^2 + 5^2 + 3^2 + 1^2 + 1^2) + 1^2} \\ &= 1 \text{ V}.\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{q} &= n\bar{e} \\ &= \frac{0.927 * 10^{-14}}{[\bar{t}(1 + 0.02\sqrt{\bar{t}})]^{\frac{3}{2}} \bar{V}} \\ &= \frac{0.927 * 10^{-14}}{[\bar{t}(1 + 0.02\sqrt{\bar{t}})]^{\frac{3}{2}} \bar{V}} \\ &= 1.59 * 10^{-18} \text{ C},\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n &= \frac{\bar{q}}{1.60 * 10^{-19}} \\ &= \frac{1.59 * 10^{-18}}{1.60 * 10^{-19}} \\ &= 10,\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{e} &= \frac{\bar{q}}{n} \\ &= \frac{1.59 * 10^{-18}}{10} \\ &= 1.59 * 10^{-19} \text{ C}.\end{aligned}$$

注:数据处理要写出公式及详细计算过程。

$$\begin{aligned}\frac{U_{\bar{e}}}{\bar{e}} &= \frac{U_{\bar{q}}}{\bar{q}}, \\ U_{\bar{e}} &= \bar{e} \sqrt{\left(\frac{3U_{\bar{t}}}{2\bar{t}}\right)^2 + \left(\frac{U_{\bar{V}}}{\bar{V}}\right)^2} \\ &= 1.59 * 10^{-19} * \sqrt{\left(\frac{3 * 0.04}{2 * 12.12}\right)^2 + \left(\frac{1}{125}\right)^2} \\ &= 2 * 10^{-21} \text{ C}, \\ e &= \bar{e} \pm U_{\bar{e}} \\ &= 1.59 * 10^{-19} \pm 2 * 10^{-21} \\ &= (159 \pm 2) * 10^{-21} \text{ C}.\end{aligned}$$

思考题及实验小结

若实验中发现油滴运动方向发生倾斜，其原因是什么？如何解决？

答：

CCD歪了，调正CCD；

防风罩不严，调整防风罩；

主机未调平，调平主机。

若油滴的平衡调节不好，对实验结果有何影响？为什么每测量一次，都要对油滴进行一次平衡调节？

答：

使读得的平衡电压 V 错误，从而使计算结果错误。

减少偶然误差和因油滴挥发引起平衡电压的变化。

实验小结

测量了电子的电量 e ，验证了电荷的量子性。

培养了严谨的科学态度。

注：请在完成实验后一周内交实验报告。