

学号: 12313124

姓名: 奚达洋

日期: 2023.10.31

星期 二

□上午
□下午

密立根油滴实验

1. 实验目的

① 验证电荷的不连续性, 并测定元电荷的值。

② 学习和理解密立根利用宏观量测量微观量的巧妙设想。

2. 实验仪器

密立根油滴实验装置、油滴喷雾器

3. 实验原理

① 理解实验的设计思想。油滴电荷为微观量, 将其转换为宏观量测量。

实验研究对象是带电的油滴, 基本思想是使油滴处于受力平衡状态。油滴通过喷雾器喷射进入两块相距为 d 的平行极板之间。油在喷射撕裂成油滴时, 一般都是带电的。如果调节两极板之间的电压 U , 可使油滴悬浮在空中。设油滴的质量为 m , 所带的电量为 q , 两极板间的电压为 U , 则油滴在平行极板之间所受重力 mg , 静电力 $qE = q\frac{U}{d}$ 。油滴悬浮时, 重力和电场力平衡 $qE = mg \Rightarrow q = \frac{mg}{E} = \frac{mgd}{U}$ 。为了测量 q , 除了通过仪器可直接测出的 U, d 外, 还需要测量 m 。这种测量电量的方法是静态平衡法。

② 理解终极速度。油滴质量如何测量。

因 m 很小, 难直接测量。油滴可视为球状, 设密度为 ρ , 油滴的质量可表示为 $m = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi r^3$ 。而油滴的半径 r 可通过其在重力场中的终极速度求出。

当平行极板不加电压时, 油滴受重力作用加速下降。由于空气阻力作用, 下降一段距离达到某一速度 v_g 后, 阻力 f_r 与重力 mg 平衡, 忽略空气浮力, 油滴将匀速下降。 v_g 称为终极速度。根据斯托克斯定律, 阻力 $f_r = 6\pi r\eta v$, 重力与阻力平衡时 $mg = 6\pi r\eta v_g$ 。其中 η 是空气的粘滞系数, r 是油滴的半径。

由 $m = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi r^3$ 和 $mg = 6\pi r\eta v_g$ 得 $r = \sqrt{\frac{9\eta v_g}{2\rho g}}$ 。当两极板间电压 $U = 0$ 时, 设油滴匀速下降的距离为 l , 时间为 t_g , 则 $v_g = \frac{l}{t_g}$, 则 $r = \sqrt{\frac{9\eta l}{2\rho g t_g}}$ 。由于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, 已经不能将空气看作连续介质, 空气的粘滞系数应作如下修正 $\eta' = \frac{\eta}{1 + \frac{b}{Pr}}$, 其中 b 是修正常数, P 是气压。

最后得到理论公式

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



物理实验报告纸



SUSTech

明德求是
日新自强

学号: _____ 姓名: _____ 日期: _____ 星期: _____ ☐ 上午 ☐ 下午

上式就是用平衡法测定油滴所带电荷的计算公式。该式中还包含油滴的半径 r ，但因为它处于修正项中，不需要十分精确，故它仍可以用(14)式计算。已知参数：

$b = 0.00823 \text{ N/m}$, $\rho = 981 \text{ kg/m}^3$, $g = 9.79 \text{ m/s}^2$, $\eta = 1.83 \times 10^{-5} \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$, $p = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$, $d = 5.00 \text{ mm}$, $l = 1.6 \text{ mm}$ 。待测参数为平衡电压 U 及下落时间 t_g 。

4. 实验内容

① 仪器调整

调节仪器面板上的三只平衡旋钮，将平衡电极板调到水平。打开仪器和显示器开关，按“确认”键，选“平衡法”，进入测量界面。

② 测量前的练习

1° 熟悉操作按键

2° 练习控制油滴平衡。

③ 正式测量

测量时，选取目视直径在 1 mm 左右的油滴，平衡电压为 $200 \text{ V} - 300 \text{ V}$ ，匀速下落 1.6 mm 的时间在 20 s 左右。此时，油滴电量 q 和不确定度均较小。要求测5个不同的油滴，对同颗油滴应测3次 t_g 。

④ 计算元电荷

1° 根据 $r = \sqrt{\frac{9\eta}{2\rho g}} \cdot \frac{l}{t_g}$ 和 $q = \frac{18\pi\epsilon_0}{\sqrt{2\rho g}} \left(\frac{\eta l}{t_g(1 + \frac{b}{pr})} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{d}{U}$ 计算油滴所带电荷，也

可参考简化公式。

2° 计算油滴所带元电荷个数 n_i 。得到每个油滴电量 q_i 后，用 e 的公认值 $1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ 去除，四舍五入取整得到每个油滴带基本电荷数 n_i 。油滴的元电荷 $e_i = q_i / n_i$ ，对 e_i 取平均，求得元电荷值。计算元电荷测量值与公认值的相对误差。



扫描全能王 创建

物理实验报告纸



SUSTech

明德求是
日新自强

学号: 12313124 姓名: 奚达洋 日期: 2023.10.31 星期 二 ☒ 上午 ☐ 下午

5. 数据记录

表1 不同油滴的数据表

油滴编号	U/V	t_{g1}/s	t_{g2}/s	t_{g3}/s	平均 t_g/s
1	191 191	11.21	10.80	11.21	11.07
2	265	11.41	11.31	11.30	11.34
3	195	22.31	21.48	21.99	21.93
4	185	16.27	16.28	16.84	16.46
5	399	28.06	28.20	27.98	28.08

X.Q. Zeng
31 OCT 2023

6. 数据处理

① 计算时间平均值. 计算各油滴的电量 q . 参考以下简化公式.

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

$$A = 9\pi\epsilon_0 d \sqrt{\frac{2\eta^3}{\rho g}} = 1.022 \times 10^{-14} \quad B = \frac{b}{P} \sqrt{\frac{2\rho g}{9\eta}} = 0.02193$$

$$q_1 = \frac{1.022 \times 10^{-14}}{[(1+0.02193\sqrt{11.07})11.07]^{\frac{3}{2}}} \times \frac{1}{191} = 1.31 \times 10^{-18} \text{ C}$$

$$q_2 = \frac{1.022 \times 10^{-14}}{[(1+0.02193\sqrt{11.34})11.34]^{\frac{3}{2}}} \times \frac{1}{265} = 9.08 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$q_3 = \frac{1.022 \times 10^{-14}}{[(1+0.02193\sqrt{21.93})21.93]^{\frac{3}{2}}} \times \frac{1}{195} = 4.40 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$q_4 = \frac{1.022 \times 10^{-14}}{[(1+0.02193\sqrt{16.46})16.46]^{\frac{3}{2}}} \times \frac{1}{185} = 7.28 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$q_5 = \frac{1.022 \times 10^{-14}}{[(1+0.02193\sqrt{28.08})28.08]^{\frac{3}{2}}} \times \frac{1}{399} = 1.46 \times 10^{-19} \text{ C}$$



扫描全能王 创建

物理实验报告纸



SUSTech

明德求是
日新自强

学号: _____ 姓名: _____ 日期: _____ 星期: _____ ☐ 上午 ☐ 下午

② 计算元电荷、元电荷平均值及与公认值的相对误差

$$n_1 = \frac{q_1}{e_{\text{公}}} = \frac{1.31 \times 10^{-18}}{1.60 \times 10^{-19}} \approx 8(\uparrow), \quad e_1 = \frac{q_1}{n_1} = \frac{1.31 \times 10^{-18}}{8} = 1.64 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$n_2 = \frac{q_2}{e_{\text{公}}} = \frac{9.08 \times 10^{-19}}{1.60 \times 10^{-19}} \approx 6(\uparrow), \quad e_2 = \frac{q_2}{n_2} = \frac{9.08 \times 10^{-19}}{6} = 1.51 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$n_3 = \frac{q_3}{e_{\text{公}}} = \frac{4.40 \times 10^{-19}}{1.60 \times 10^{-19}} \approx 3(\uparrow), \quad e_3 = \frac{q_3}{n_3} = \frac{4.40 \times 10^{-19}}{3} = 1.47 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$n_4 = \frac{q_4}{e_{\text{公}}} = \frac{7.28 \times 10^{-19}}{1.60 \times 10^{-19}} \approx 5(\uparrow), \quad e_4 = \frac{q_4}{n_4} = \frac{7.28 \times 10^{-19}}{5} = 1.46 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$n_5 = \frac{q_5}{e_{\text{公}}} = \frac{1.46 \times 10^{-19}}{1.60 \times 10^{-19}} \approx 1(\uparrow), \quad e_5 = \frac{q_5}{n_5} = \frac{1.46 \times 10^{-19}}{1} = 1.46 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$\bar{e} = \frac{e_1 + e_2 + e_3 + e_4 + e_5}{5} = \frac{1.64 \times 10^{-19} + 1.51 \times 10^{-19} + 1.47 \times 10^{-19} + 1.46 \times 10^{-19} + 1.46 \times 10^{-19}}{5} = 1.51 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$\frac{\Delta e}{e} = \frac{|\bar{e} - e_{\text{公}}|}{e_{\text{公}}} = \frac{|1.51 \times 10^{-19} - 1.60 \times 10^{-19}|}{1.60 \times 10^{-19}} = 5.625\%$$

③ 估算元电荷的相对不确定度

取第1个油滴的数据, 利用下面公式估算元电荷相对不确定度(仅考虑B类)。其中, 仪器显示电压的不确定度为1V, 而人操作计时的反应时间为0.2s, 即 $\Delta U = 1\text{V}$, $\Delta t_g = 0.2\text{s}$ 。

$$\frac{\Delta e}{e} = \frac{\Delta q}{q} \approx \frac{\Delta U}{U} + \frac{3}{2} \cdot \frac{\Delta t_g}{t_g} = \frac{1}{191} + \frac{3}{2} \times \frac{0.2}{11.07} = 0.03234 = 3.234\%$$

7. 实验结论

本实验利用静态法测得油滴所带电荷, 进而测得元电荷量约为 $(1.51 \pm 0.03) \times 10^{-19} \text{ C}$, 与公认值的相对误差为 5.625%。而估算的不确定度为 3.234%, 小于相对误差, 因此该结果存在一定不合理性。

可能的误差来源: ① 测量者测量油滴下落时间产生的测量误差。② 由于油滴微粒极小, 在空气分子的碰撞下做显著布朗运动, 从而使得观测者在选取油滴时难以判断油滴重力是否与所受电场力平衡, 从而造成误差。③ 油滴所带电荷的计算公式中, 存在许多参数被给出已知量, 而实际难以保证这些参数已知量的精度足够高, 造成误差。

8. 思考题

动态法原理: 测得规定距离 l 内油滴匀速下降用时 t_g 和油滴在上升电压 U 的作用下, 匀速上升距离 l 所用时间 t_e , 利用公式 $q = \frac{18\pi b}{\sqrt{2\rho g}} \left(\frac{nl}{4\pi r} \right)^{\frac{2}{3}} \frac{d}{U} \left(\frac{1}{t_e} + \frac{1}{t_g} \right) \left(\frac{1}{t_g} \right)^{\frac{1}{2}}$ 即可求出油滴所带电荷量 q 。



扫描全能王 创建

物理实验报告纸



SUSTech

明德求是
日新自强

学号: _____ 姓名: _____ 日期: _____ 星期: _____ ☐ 上午 ☐ 下午

实验方法的比较 动态法

静态法

物理过程

键下降、匀速上升

静止、匀速下降

测量量

键下降时间 t_d 、
匀速上升时间 t_e 、
上升电压 U 。

平衡电压 U 、
匀速下降时间 t 。

受外界扰动情况

不易受扰动

易受扰动使 U 测量不准确

原理及公式复杂性

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

繁琐、计算量大

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

简单、计算量小

实验操作节奏

较快、油滴容易丢失

缓慢、油滴不易丢失

理论不确定度

较小

较大



扫描全能王 创建