

班级 土木一班 学号 190410102 姓名 方尧 教师签字                     

实验日期 7.9 组号 C1 预习成绩              总成绩             

## 实验（六） 电子电荷的测定——密立根油滴法

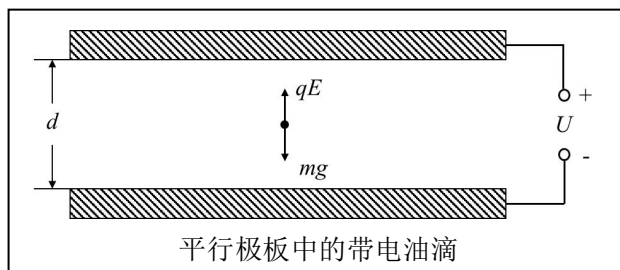
### 一. 实验目的

1. 观察带电油滴在重力场及电场中的运动规律；
2. 选取合适的油滴，测定它所带的电荷值  $q$ ；
3. 求出电子电荷值  $e$ ，并与公认值比较，作出适当的结论。

### 二. 实验原理

将油滴经喷雾器喷出时，细微的油滴由于摩擦会带电，其带电量  $q$  为元电荷（电子电荷量的绝对值，质子的电荷量） $e$  的整数倍，其数值通过观察和测定带电油滴在电场中的运动规律进行测定。

将质量为  $m$ 、带电量为  $q$  的油滴置于电压为  $U$ 、间距为  $d$  的平行极板之间，如图 1 所示，油滴将同时受到重力和电场力的作用。选择合适的电压极性和电压值，使油滴所受的电场力与重力平衡，即  $mg = \frac{qU_n}{d}$  则油滴



将悬浮在电场中并保持平衡。因此，测出油滴的质量  $m$ 、平衡电压  $U_n$  以及平行极板的间距

$d$ ，即可由  $q = \frac{mgd}{U_n}$  求得油滴所带电荷量  $q$ 。由于油滴所带电荷量  $q$  为元电荷  $e$  的整数倍，

即  $q = ne (n = \pm 1, \pm 2, \dots)$ ，因此对于同一个油滴，如果其带电荷量  $q_1, q_2, q_3, \dots$ ，

则通过实验测得的其平衡电压  $U_{n1}, U_{n2}, U_{n3}, \dots$ ，只能是一些不连续的特定值（离散的）。在实验中，我们测出各个电荷值  $q_1, q_2, q_3, \dots$ ，然后求出它们的最大公约数，此最大公约数即为元电荷  $e$ 。

实验中，油滴的质量  $m$  的数量级大约为  $10^{-15} \text{kg}$ ，直接测量极为困难，因此需要通过以下间接测量方法得到。油滴在表面张力的作用下一般呈球状，其质量可表示为  $m = \frac{4}{3}\pi\rho a^3$  式中， $\rho$  是油的密度， $a$  是油滴的半径，在已知  $\rho$  的前提下，测出  $a$ ，即可由上式得到油滴的质量  $m$ ，油滴半径  $a$  可通过以下方式测得。如果撤掉平行极板上的电压，使油滴受到的电场力为零，则油滴将会下落。油滴下落过程中会受到重力  $G = mg$  空气阻力  $F_1 = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho' g$  以及空气对其黏滞摩擦阻力  $F_2$  的作用，其中  $\rho'$  是空气的密度。由斯托克斯（Stokes）定律可

知  $F_2 = 6\pi a\eta v$ ，式中， $v$  是油滴下落的速度， $\eta$  是空气的黏度。知平衡时  $G = F_1 + F_2$  此时

做匀速下落，即  $\frac{4}{3}\pi\rho a^3 g = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho' g + 6\pi a\eta v_s$

由上式可以得到油滴半径为  $a = \sqrt{\frac{9\eta v_s}{2g(\rho - \rho')}}$  由于  $\rho \gg \rho'$ ，即空气对于油滴的浮力可忽略不计，因此上式可简化为  $a = \sqrt{\frac{9\eta v_s}{2g\rho}}$  另一方面，由于油滴尺寸非常细微，其直径与空气

分子之间的间隙相比，空气不能看作连续、均匀的介质，因此需要将斯托克斯定律进行修正，

空气对油滴的黏滞摩擦阻力修正为  $F_2 = \frac{6\pi a\eta v_s}{1 + \frac{b}{pa}}$ ，式中， $p$  为大气压强，单位为  $Pa$ ，修正

常数  $b = 8.22 \times 10^{-3} m \cdot Pa$ ，修正后的油滴半径表达式为  $a = \sqrt{\frac{9\eta v_s}{2g\rho \left(1 + \frac{b}{pa}\right)}}$ ，得到油滴质量

的表达式  $m = \frac{4}{3}\pi\rho \left[ \frac{9\eta v_s}{2\rho g} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{b}{pa}\right)} \right]^{\frac{3}{2}}$ ，得到油滴所带电荷量表达式为

$q = \frac{18\pi}{\sqrt{2\rho g}} \cdot \frac{d}{U_n} \left( \frac{\eta v_s}{1 + \frac{b}{pa}} \right)^{\frac{3}{2}}$ ，上式中还需要测定油滴匀速下落的速度  $v_s$ ，可以通过观测油

滴匀速下落某段距离  $l$  所用的时间  $t$  来确定，即  $v_s = \frac{l}{t}$ ，可得油滴所带的电荷量的表达式为

$q = \frac{18\pi}{\sqrt{2\rho g}} \cdot \frac{d}{U_n} \left[ \frac{\eta l}{t \left(1 + \frac{b}{p \sqrt{\frac{2\rho g t}{9\eta l}}}\right)} \right]^{\frac{3}{2}}$ ，在已知油的密度  $\rho$ 、重力加速度  $g$ 、空气的粘滞系数

$\eta$ 、大气压强  $p$ 、修正常数  $b$ 、平行极板间距  $d$ 、油滴匀速下落的距离  $l$  的前提下，只需要测出平衡电压  $U_n$ ，然后撤掉电压，让油滴在空气中自由下落，油滴只需很短的时间即可达到匀速下落，测出其下落给定距离  $l$  所用的时间  $t$ ，即可计算得到电荷电量  $q$ 。

## 三. 数据处理

油滴密度:  $\rho=981 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ; 重力加速度:  $g=9.78 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ; 空气粘度系数:  $\eta=1.83 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ;

油滴匀速下降距离:  $l=1.60 \times 10^{-3} \text{ m}$ ; 修正常数:  $b=8.22 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{Pa}$ ;

大气压强(深圳):  $P=1.0098 \times 10^5 \text{ Pa}$ ; 平行极板距离:  $d=5.00 \times 10^{-3} \text{ m}$ ;

将数据以及预知常量带入公式  $q = \frac{18\pi}{\sqrt{2\rho g}} \cdot \frac{d}{U_n} \left[ \frac{\eta l}{t(1 + \frac{b}{p} \sqrt{\frac{2\rho g t}{9\eta l}})} \right]^{\frac{3}{2}}$  可得:

油滴		第一次	第二次	第三次	第四次	第五次
油滴 1	$Un/V$	141.00	141.00	141.00	141.00	141.00
	$t/s$	27.01	27.66	27.53	27.46	27.37
	$q/10^{-19}C$	4.370	4.209	4.241	4.258	4.280
油滴 2	$Un/V$	193.00	193.00	193.00	193.00	193.00
	$t/s$	17.71	17.78	17.57	17.76	17.77
	$q/10^{-19}C$	6.195	6.156	6.272	6.167	6.162
油滴 3	$Un/V$	253.00	253.00	253.00	253.00	253.00
	$t/s$	18.17	18.50	18.65	18.51	18.54
	$q/10^{-19}C$	4.540	4.414	4.358	4.410	4.399

对每一个油滴的电荷量求平均值  $q_i = \frac{1}{5} \cdot \sum_{j=1}^5 q_{ij}$  得到:

$$q_1 = 4.272 \times 10^{-19} C; q_2 = 6.190 \times 10^{-19} C; q_3 = 4.424 \times 10^{-19} C;$$

由  $n_i = \frac{q_i}{\bar{e}}$ ; ( $i=1,2,3$ ; 其中  $\bar{e} = e = 1.602 \times 10^{-19} C$ ) 得到:

$$n_1 = 2.67; n_2 = 3.86; n_3 = 2.76; \text{取 } n_1 = 3; n_2 = 4; n_3 = 3;$$

由  $e_i = \frac{q_i}{n_i}$  ( $i=1,2,3$ ) 得到:

$$e_1 = 1.4239 \times 10^{-19} C; e_2 = 1.5476 \times 10^{-19} C; e_3 = 1.4747 \times 10^{-19} C;$$

$$\text{测得的 } e_{\text{测}} = \frac{1}{3} \cdot \sum_{i=1}^3 e_i = 1.4802 \times 10^{-19} C$$

$$E = \frac{|e_{\text{测}} - \bar{e}|}{\bar{e}} = 7.49\%; U = E \cdot \bar{e} = 0.012 \times 10^{-19} C$$

$$e = \bar{e} \pm U = (1.602 \pm 0.012) \times 10^{-19} C$$

$$E = \frac{U}{\bar{e}} = 7.49\%$$

$$P = 68.3\%$$

#### 四. 实验结论及现象分析

$$e_{\text{测}} = 1.4802 \times 10^{-19} C$$

$$e = \bar{e} \pm U = (1.602 \pm 0.012) \times 10^{-19} C$$

$$E = \frac{U}{\bar{e}} = 7.49\%$$

$$P = 68.3\%$$

#### 五. 讨论问题

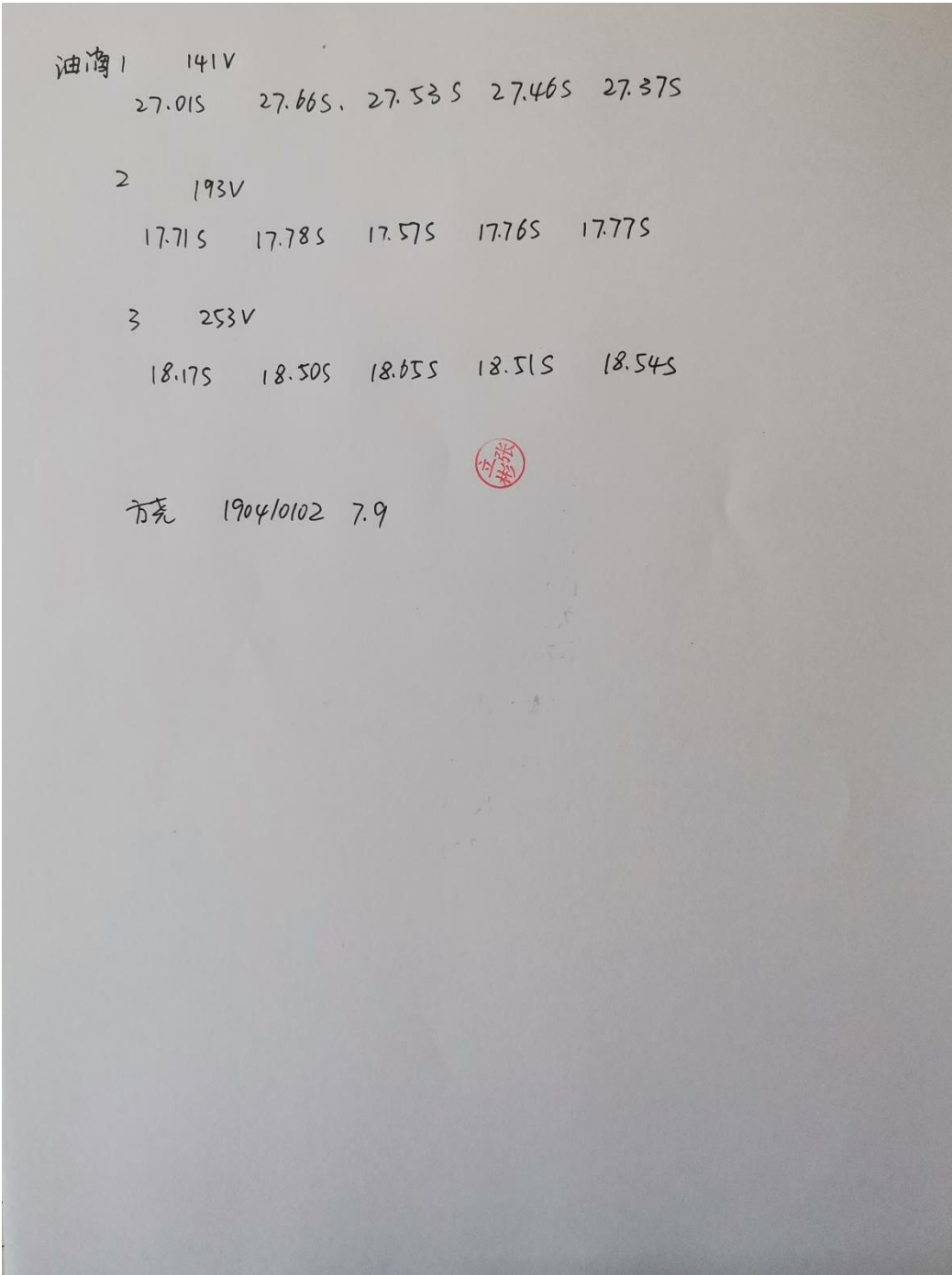
问题一：

可能是因为油滴具有平行对焦线的运动速度，故随着运动，油滴偏离焦平面，故视野中的油滴原本清晰的像变得模糊。

问题二：

使得质量减小，平衡时重力减小，所需平衡的电场力减小，故  $U_n$  发生变化，会变小。

实验现象观察与原始数据记录



学生	姓名	学号	日期
签字	方尧	190410102	7.9

教师	姓名
签字	