

18 实验 MP-1 密立根油滴法测定电子电荷

姓名: 林继申 学号: 2250758 成绩: A+ 合作者:

指导教师: 实验编号: 周三第 7-8 节 C 组 6 号

一、实验目的

- 通过密立根油滴实验来验证电荷的“量子化”，即电量不是连续变化的，而是基本电荷(电子电量的绝对值)的整数倍。
- 测定电子电荷量 e 。
- 了解 CCD 传感器和光学系统成像原理与应用。

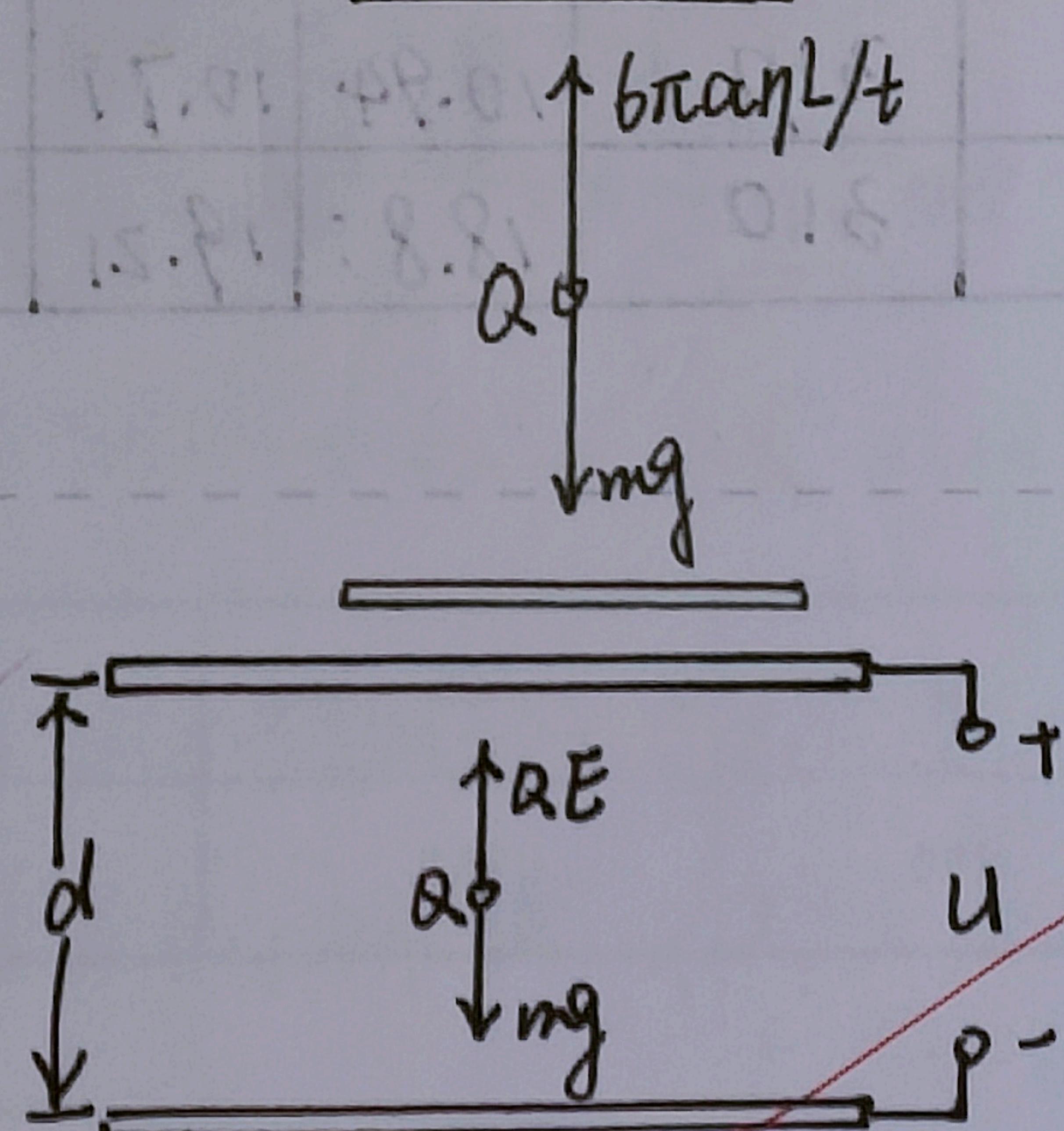
二、实验原理知识准备与预习自测

- 请简述实验原理，并画出原理图。

用喷雾器将油滴喷入两块相距 d 的平行板间。油滴因摩擦而带电，它在平行板中受两个力作用。
 mg 与 $QE = Q\frac{U}{d}$ 。调节 U 可使两力抵消而平衡。此时 $mg = QE$ 故有 $Q = \frac{mgd}{U}$ 。

- 实验中应如何选择油滴？

答：体积既不能太大（太大则须带大电荷才能平衡，不易测准）；也不能太小（太小则由于热扰动和布朗运动，运动脉落很大，不易测准）。应根据平衡电压的大小（约 200V）和油滴匀速下降的时间（约 15-35s）来判断油滴的大小和带电量的大小。



三、实验测量步骤预习

1. 仪器调节

- ① 油滴盒照明调节
- ② 油滴盒水平调节
- ③ 显微镜调焦
- ④ 喷雾，要求观察到清晰可见的油滴

2. 练习测量(包括电压调节、油滴控制与选择等)

① 控制油滴：平行极板加上平衡电压(约300V，“+”“-”均可)驱走不需要的油滴至剩下几滴；注视其中一颗，仔细调节平衡电压使其静止；去掉平衡电压使其匀速下降一段距离后再加上平衡电压和升降电压。② 油滴选择：体积既不能太大，也不能太小，可根据平行电压和油滴匀速下降时间判断油滴的大小与带电量多少。③ 测量速度：任意选择几个下降速度不同的油滴，用电子秒表测出它们下降一段距离所需时间，以掌握测量油滴速度的方法。

3. 实验测量——平衡法

① 测量平衡电压必须经过仔细的调节，而且应该将油滴悬于分格板上某条横线附近，以便准确判断出油滴是否静止。

② 在测量下降距离所需要的时间大时，为保证油滴下降速度均匀，应先让它下降一段距离后，再测时间。选定测量的一段距离，应该在平行板之间的中央部分，即视场中分格板的中央部分。若太靠近上电极板，小孔附近有气流，电场也不会均匀，会影响测量结果。靠近下极板，测量完时间，油滴容易丢失，影响重复测量。一般取 $l=0.200\text{ cm}$ 比较合适。
教师签名：12

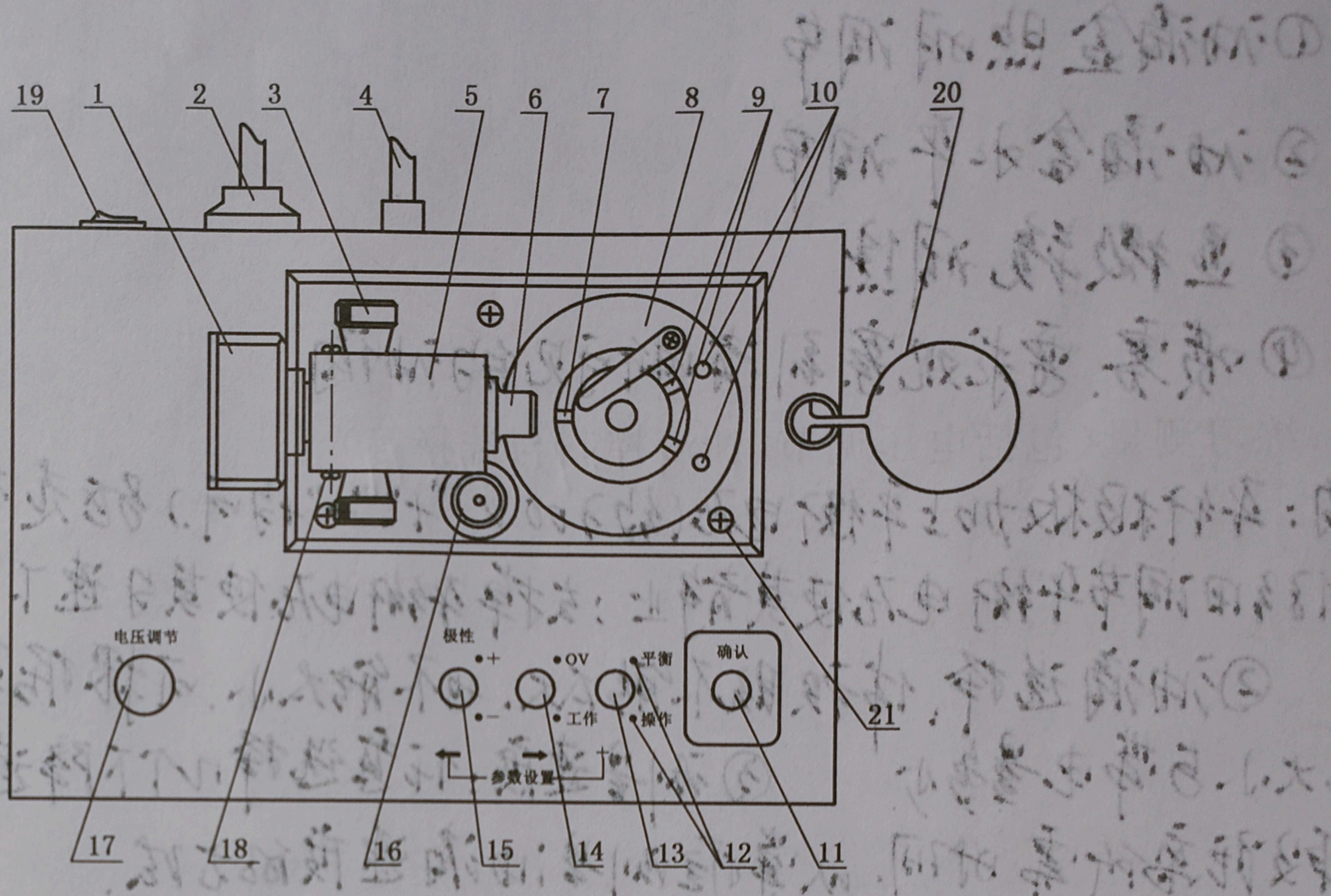
③ 由于有涨落，对于同一油滴必须进行10次测量，同时还应该对不同的

四、实验仪器油滴(不少于5个)进行反复的测量，这样才能验证不同油滴所携带的电荷是否都是基本电荷，即电子电荷的整数倍。

主要实验仪器名称	规格型号	仪器误差 $\Delta_{\text{仪}}$
CCD显微镜密立根油滴仪	ZKY-MLG-6	IV 0.01S

五、注意事项(在开始实验操作前请仔细阅读以下说明)

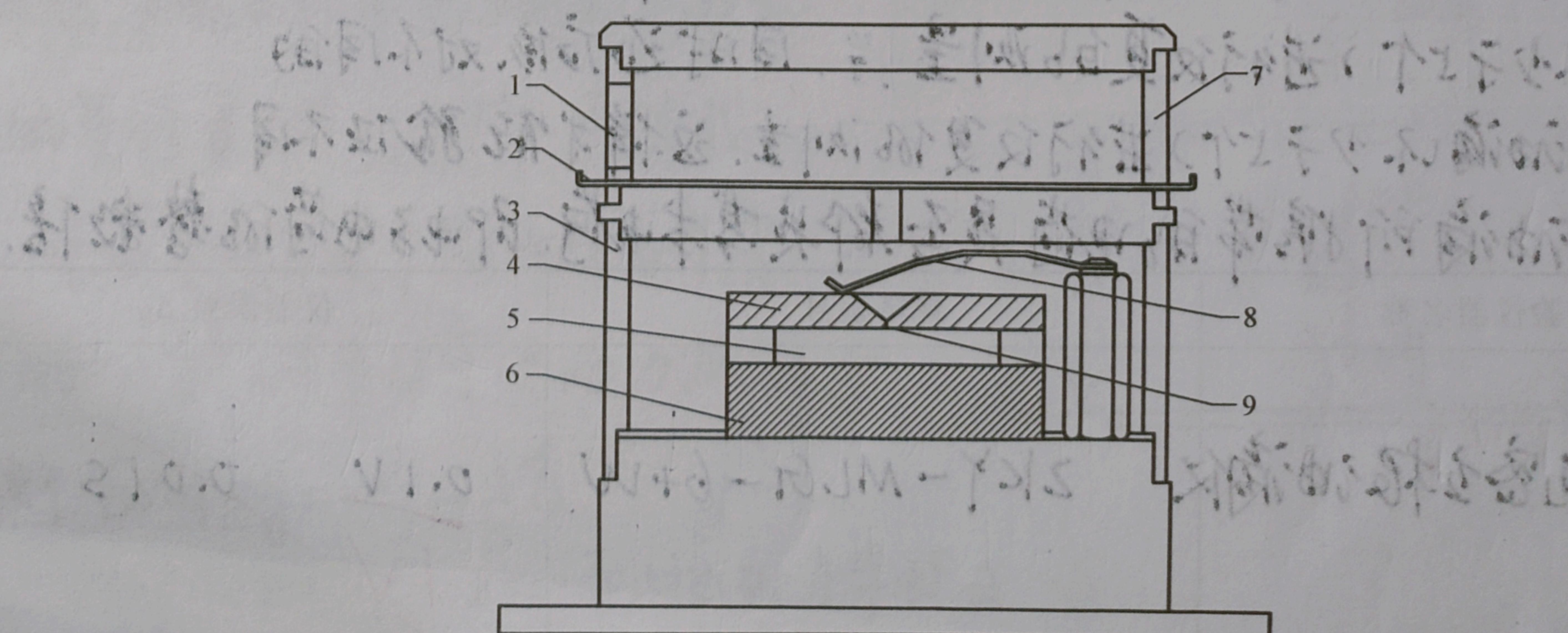
1. CCD 盒、紧固螺钉、摄像镜头的机械位置不能变更,否则会对像距及成像角度造成影响(图 18-1)。



1—CCD 盒； 2—电源插座； 3—调焦旋钮； 4—Q9 视频接口； 5—光学系统； 6—镜头；
7—观察孔； 8—上极板压簧； 9—进光孔； 10—光源； 11—确认键； 12—状态指示灯；
13—平衡、提升切换键； 14—0 V、工作切换键； 15—定时开始、结束切换键；
16—水准泡； 17—电压调节旋钮； 18—紧定螺钉； 19—电源开关；
20—油滴管收纳盒安放环； 21—调平螺钉(3 颗)

图 18-1 实验仪部件示意图

2. 仪器使用环境: 温度为(0°C ~ 40°C)的静态空气中。
3. 注意调整进油滴量开关(图 18-2), 用喷雾器喷油时, 一般喷一两次即可, 以防止油太多堵塞落油孔。应避免外界空气流动对油滴测量造成影响。



1—喷雾口； 2—进油量开关； 3—防风罩； 4—上极板； 5—油滴室；
6—下极板； 7—油雾杯； 8—上极板压簧； 9—落油孔

图 18-2 油滴盒装置示意图

4. 仪器内有高压，实验人员避免用手接触电极。
5. 实验前应对仪器油滴盒内部进行清洁，防止异物堵塞落油孔。
6. 注意仪器的防尘保护。

六、实验现象观察与记录

测量次数 <i>i</i>	电压U/V	t_1/s	t_2/s	t_3/s	t_4/s	T/s	油滴带电量 $q_i/10^{-19}C$	取整 n_i	$e_i/10^{-19}C$
1	130	14.20	14.24	13.96	14.14	14.14	13.13	8	1.64
2	154	31.06	31.68	30.39	31.48	31.15	3.20	2	1.60
3	156	31.79	33.02	31.09	32.05	31.99	3.04	2	1.51
4	165	21.70	22.86	22.07	22.82	22.36	5.05	3	1.68
5	166	30.08	30.57	30.43	30.15	30.30	3.10	2	1.55
6	190	12.08	11.64	13.02	12.23	12.24	11.24	7	1.61
7	246	23.08	22.24	22.81	22.39	22.63	3.32	2	1.66
8	252	35.29	36.90	34.78	35.71	35.67	1.58	1	1.58
9	296	10.34	10.11	10.10	10.32	10.22	9.55	6	1.59
10	330	19.15	19.21	18.90	18.81	19.01	3.26	2	1.63

教师签名:

周

原始数据必须用圆珠笔或钢笔书写;经教师签名才有效。

七、实验数据处理

油滴带电量公式为

$$q = 9\sqrt{2}\pi \frac{d}{U} \left[\frac{1}{\rho g} \right]^{\frac{1}{2}} \left[\frac{\eta s}{\left(1 + \frac{b}{Pr_0} \right) t_f} \right]^{\frac{3}{2}}$$

其中, r_0 为油滴半径

$$r_0 = \left[\frac{9\eta s}{2g\rho t_f} \right]^{\frac{1}{2}}$$

d 为极板间距

$$d = 5.00 \times 10^{-3} \text{ m}$$

η 为空气黏滞系数

$$\eta = 1.83 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

s 为下落距离

依设置, 默认为 1.60 mm

ρ 为油的密度

$$\rho = 981 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} (20^\circ\text{C})$$

g 为重力加速度

$$g = 9.794 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} (\text{上海地区})$$

b 为修正常数

$$b = 0.00823 \text{ Pa} \cdot \text{m} (6.17 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{cmHg})$$

p 为标准大气压强

$$p = 101325 \text{ Pa} (76.0 \text{ cmHg})$$

U 为平衡电压

t_f 为油滴的下落时间

注: ① 由于油的密度远远大于空气的密度, 因此空气密度可以忽略不计。

② 标准状况指大气压强 $p=101325 \text{ Pa}$, 温度 $T=20^\circ\text{C}$, 相对湿度 $\phi=50\%$ 的空气状态。实际大气压强可由气压表读出。

③ 油的密度随温度变化关系如下:

$T / ^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40
$\rho / (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	991	986	981	976	971

实验数据表

测量次数 i	电压 U/V	t_1 /s	t_2 /s	t_3 /s	t_4 /s	\bar{t} /s	油滴带电量 $q_i/10^{-19} C$	取整 n_i	$e_i/10^{-19} C$
1	130	14.20	14.24	13.96	14.14	14.14	13.13	8	1.64
2	154	31.06	31.68	30.39	31.48	31.15	3.20	2	1.60
3	156	31.79	33.02	31.09	32.05	31.99	3.04	2	1.51
4	165	21.70	22.86	22.07	22.82	22.36	5.05	3	1.68
5	166	30.08	30.57	30.43	30.15	30.30	3.10	2	1.55
6	190	12.08	11.64	13.02	12.73	12.24	11.24	7	1.61
7	246	23.08	22.24	22.81	22.39	22.63	3.32	2	1.66
8	253	35.29	36.90	34.78	35.71	35.67	1.58	1	1.58
9	296	10.34	10.11	10.10	10.32	10.22	9.55	6	1.59
10	330	19.15	19.21	18.90	18.81	19.01	3.26	2	1.63

(1) 方法一

计算出各油滴的电荷, $q_i = n_i e$, 求其最大公约数, 即为基本电荷 e 值(需要足够的数据统计量), 并与公认值比较计算百分差。请写出计算过程。

$$\bar{e} = \frac{\sum_{i=1}^{10} n_i q_i}{\sum_{i=1}^{10} n_i^2} = 1.62 \times 10^{-19} C$$

$$\delta_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (q_i - \bar{e})^2}{n-1}} = 0.05 \times 10^{-19} C$$

$$e_0 = 1.60 \times 10^{-19} C$$

$$E = \frac{|\bar{e} - e_0|}{e_0} \times 100\% = 1.2\%$$

$$e = \bar{e} \pm \delta_e = (1.62 \pm 0.05) \times 10^{-19} C$$

即基本电荷 e 值为 $(1.62 \pm 0.05) \times 10^{-19} C$

与公认值比较计算百分差为 1.2%

(2) 方法二

作 $q_i - n_i$ 图, e 为直线的斜率, 通过拟合直线即可求得 e 值, 并与公认值比较计算百分差。

$$q_i / 10^{-19} C$$

① 相关系数

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{10} (n_i - \bar{n})(q_i - \bar{q})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{10} (n_i - \bar{n})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{10} (q_i - \bar{q})^2}}$$
$$= 1.00$$

② 最小二乘法进行
线性拟合求斜率

$$k = \frac{\sum_{i=1}^{10} (n_i - \bar{n})(q_i - \bar{q})}{\sum_{i=1}^{10} (n_i - \bar{n})^2}$$

无单位

$$= \frac{\sum_{i=1}^{10} n_i q_i - 10 \bar{n} \bar{q}}{\sum_{i=1}^{10} n_i^2 - 10 \bar{n}^2}$$

$$= 1.63 \times 10^{-19} C$$

$$\text{即 } e = 1.63 \times 10^{-19} C$$

③ 百分差

$$E_0 = \frac{|e - e_0|}{e_0} \times 100\% = 1.9\%$$

八、实验分析与讨论

MP-1

一、对实验方法和实验仪器的讨论

1. 选择油滴时选择大小合适, 平衡电压下油滴可向上运动, 匀速运动且下落时间

10~30s 内的油滴最为合适 (欲选择合适的油滴应考虑哪些因素?)

2. 因油滴进入匀速运动状态需加速时间且该时间很短, 油滴开始下落位置略

3. 油滴所带电量为元电荷的整数倍, 可通过计算最大公约数及拟合曲线的方法

4. 喷油前应确保上极板中的小孔是通的, 可吹气或用头发丝将其导通.

5. 喷油后在显示器上看不见油滴, 可以调整调焦旋钮来改变焦距, 使油滴

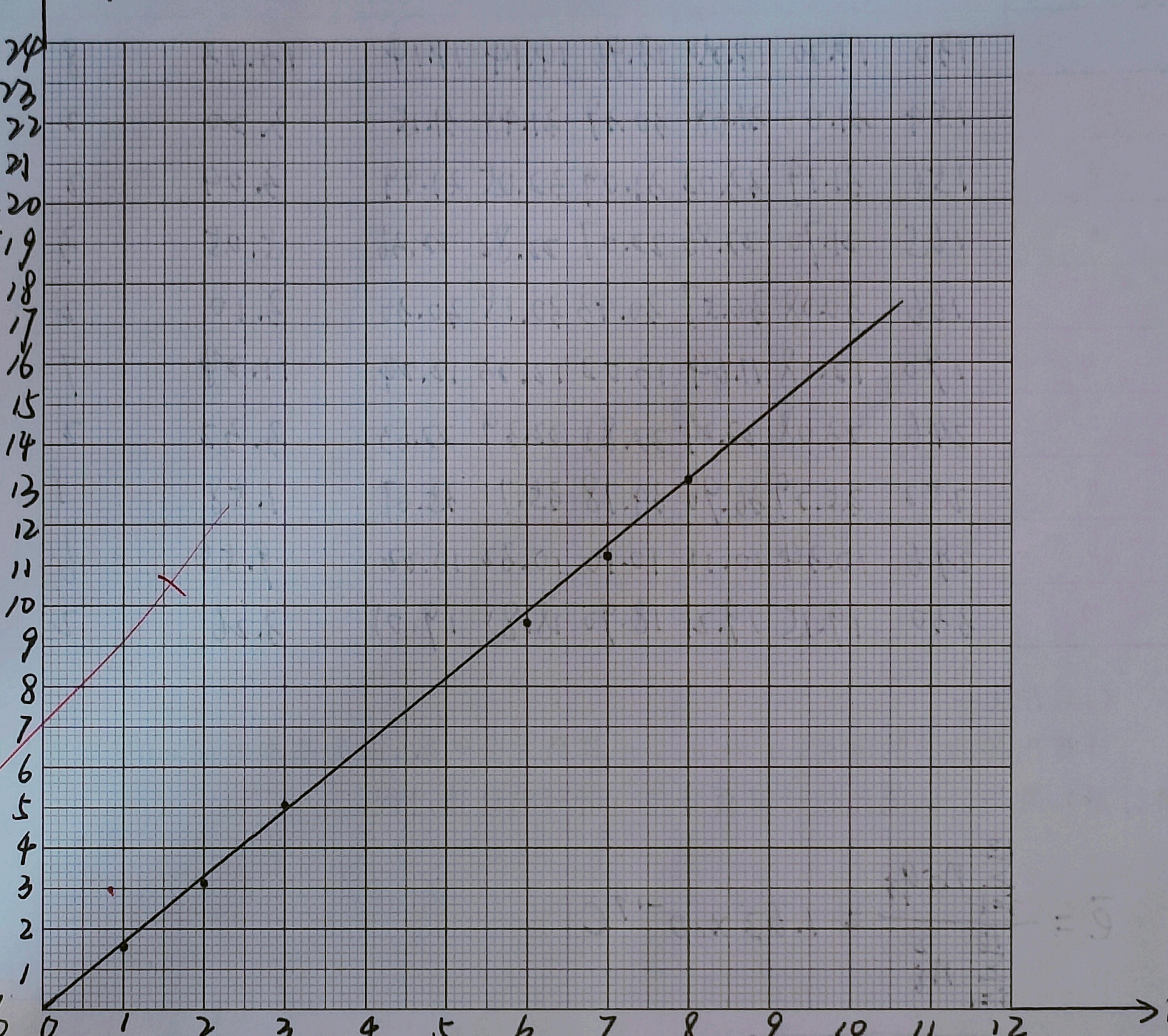
6. 对选定油滴进行限除测量时, 若油滴的像变得模糊, 应随时进行显

二、有关于本实验的误差

1. 油滴在平衡电压下仍在小范围运动, 不是完全静止, 会有系统误差.

2. 仪器并非完全水平会影响油滴运动, 带来误差.

3. 计时起点及终点的判断会产生误差.



4. 对

131 个

5. 在

否则

九、思考题

1. 在空气粘滞阻力与地球引力的合力作用下,油滴由静止开始下落,其速度与时间的函数关系为

$$v = \frac{mg}{6\pi r\eta} (1 - e^{-\frac{6\pi r\eta}{m}t})$$

试估算油滴由静止加速到匀速速率的 95% 时,需多少时间? 请写出计算过程。

其中, $r = 8.0 \times 10^{-7} \text{ m}$, $m = 2.0 \times 10^{-15} \text{ kg}$

答: $t \rightarrow \infty$. $(1 - e^{-\frac{6\pi r\eta}{m}t}) \rightarrow 1$. $V = \frac{mg}{6\pi r\eta}$ 为匀速速率. $\therefore V = 0.95 V_{\text{匀}} = 0.95 \cdot \frac{mg}{6\pi r\eta}$
即为所求. 即 $(1 - e^{-\frac{6\pi r\eta}{m}t}) = 0.95 \Rightarrow (1 - e^{-\frac{6\pi \times 8 \times 10^{-7} \times 1.83 \times 10^{-5}}{2 \times 10^{-15}}t}) = 0.95 \Rightarrow$
 $-137.979 \times 10^{-7} t = \ln 0.05 \Rightarrow t = 2.17 \times 10^{-5} \text{ s}$

2. 在静态平衡法油滴电量的公式推导过程中,本实验作了哪些简化处理? 试说明为什么要作这些简化处理?

答: 作了“油滴为球形”与“油滴不会蒸发”的简化,因为该简化结果对实验数据影响较小,便于数据处理利于计算.

3. 在实验中是否可以用水滴代替油滴? 为什么?

答: 不可以。因为水的蒸发速率远大于油的蒸发速率,水滴蒸发以后难以测准水滴所带电荷。

4. 请分析油滴大小、带电量与平衡电压和下落时间的关系。

当带电量一定时,油滴的大小越大,它的重力越大,需与其平衡的电场力越大,即平衡电压越大,其下落时间越短。

.(从实验中测得的是油滴所带电量,为什么能算出电子电量?)

如所加的平衡电压没有使油滴完全静止会对结果有什么影响

教师签名:

上升说明电压太高,下降说明电压太低,会造成实验误差

.(对油滴进行测量时,如何避免测量过程中丢失油滴? 油滴为什么会变糊?)

因为油滴运动时离显微镜的距离可能会改变,不等于显微镜的焦距造成油滴的像模糊。

四次测量,以减小人工计时

提高¹³²实验精确度

调节平衡电压时应注意不要使单摆运动

幅度过大或过小,以免失焦。