

班级 自动化7 学号 _____ 姓名 彭尚品 教师签字 _____

实验日期 2023/12/11 预习成绩 20 总成绩 _____

实验名称 电子电荷的测定——密立根油滴法

一. 实验预习

1. 本实验中静态法测量的油滴所带电荷量表达式为

$$q = \frac{18\pi}{\sqrt{2g\rho}} \cdot \frac{d}{U_n} \left(\frac{\eta l}{t \left(1 + \frac{b}{p} \sqrt{\frac{2g\rho t}{9\eta l}} \right)} \right)^{\frac{3}{2}}$$

在已知油的密度 ρ 、重力加速度 g 、空气的粘滞系数 η 、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 。在公式的计算中, 采用了哪些近似, 原因是什么?

答: ① 由于 $\rho \gg \rho'$, 故 $\rho - \rho' \approx \rho$, 空气对油滴的浮力忽略不计;
 ② 修正后的半径 $a = \sqrt{\frac{9\eta U_3}{2g\rho(1 + \frac{b}{p}\sqrt{\frac{2g\rho t}{9\eta l}})}}$ 称量 a 处于修正项中, 并不需要十分精确, 用 $a = \sqrt{\frac{9\eta U_3}{2g\rho}}$ 计算其数值。

2. 本实验中要选择带电荷量“合适的”的油滴进行实验, 请阐述何为“合适的”油滴。

答: 合适的油滴指大小合适。
 若油滴过小, 布朗运动影响明显, 平衡电压不易调整, 时间误差也会增加;
 若油滴过大, 下落太快, 时间相对误差增大, 且油滴带多个电子的几率增加。合适的油滴最好带10个以下的电子。

二. 实验现象及原始数据记录

表 1 静态法密立根油滴实验数据记录表 (油滴#1) (下落距离 $l=1.60\text{ mm}$)

平衡电压 U_n/V	170	170	170	170	170	170
下落时间 t/s	46.66	45.28	45.76	45.20	44.54	46.10

表 2 静态法密立根油滴实验数据记录表 (油滴#2) (下落距离 $l=1.60\text{ mm}$)

平衡电压 U_n/V	120	120	120	120	120	120
下落时间 t/s	24.03	22.98	23.34	23.33	24.14	23.52

表 3 静态法密立根油滴实验数据记录表 (油滴#3) (下落距离 $l=1.60\text{ mm}$)

平衡电压 U_n/V	58	58	58	58	58	58
下落时间 t/s	38.64	38.60	37.92	38.31	37.53	37.72

表 4 动态法密立根油滴实验数据记录表 (油滴#1) (下落、上升距离 $l=1.60\text{ mm}$)

上升电压 U/V	338	238	338	338	338	338
下落时间 t_1/s	26.27	27.14	26.57	26.53	26.38	27.01
上升时间 t_2/s	11.29	11.34	11.29	11.25	11.23	11.31

表 5 动态法密立根油滴实验数据记录表 (油滴#2) (下落、上升距离 $l=1.60\text{ mm}$)

上升电压 U/V	112	112	112	112	112	112
下落时间 t_1/s	34.34	33.59	33.71	34.31	33.91	34.12
上升时间 t_2/s	18.16	18.65	18.37	18.42	18.19	18.63

表 6 动态法密立根油滴实验数据记录表 (油滴#3) (下落、上升距离 $l=1.60\text{ mm}$)

上升电压 U/V	246	246	246	246	246	246
下落时间 t_1/s	36.49	36.38	36.08	36.13	36.25	36.59
上升时间 t_2/s	18.48	18.72	18.20	18.89	18.71	19.02

3.10

教师	姓名
签字	

2023.12.11.

三. 数据处理

(静态法、动态法分别至少测量 3 颗油滴, 记录每颗油滴的电荷量 q_i , 计算 $\frac{q_i}{e}$, 对商四舍五入取整后得到每颗油滴所带电子个数 n_i ; 再得到每次测量的基本电荷 e_i , 再求出 n 次测量的 \bar{e} , 与理论值比较求百分误差。要有详细的计算过程, 格式工整)

实验中所用的有关参考数据:

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: $\eta = 1.83 \times 10^{-5} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 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: $d = 5.00 \times 10^{-3} \text{ m}$

一、静态法

计算公式:

$$q = \frac{18\pi}{\sqrt{2g\rho}} \cdot \frac{d}{U_n} \left(\frac{\eta l}{t \left(1 + \frac{b}{p} \sqrt{\frac{2g\rho t}{9\eta l}} \right)} \right)^{\frac{3}{2}}$$

计算代码:

```
# 对 ts 中的每一个元素, 计算 q 放在一个数组里
for t in ts:
    q = (18*np.pi*d)*(eta*l/(t*(1+(b/p)*np.sqrt(2*g*rho*t/(9*eta*l))))))
    q = q**(3/2)/(np.sqrt(2*g*rho)*Un)
    qs.append(q)
    n = round(q/e, 0)
    ns.append(n)
    ei = q/n
    es.append(ei)

# 常量
rho = 981
g = 9.78
eta = 1.83e-5
l = 1.6e-3
b = 8.22e-3
p = 1.0098e5
d = 5e-3
e = 1.602e-19

print(qs)
# 求基本电荷 es 的均值
meane = np.mean(es)
print('基本电荷的均值\t'+str(meane))
# 求 meane 和 e 的百分误差
error = abs((meane-e)/e)
print('百分比误差\t'+str(error))
```

计算结果:

第一颗油滴:

带电量测量量: [1.55692e-19, 1.60552e-19, 1.57871e-19, 1.6100e-19, 1.64831e-19, 1.56016e-19]

所带电荷数: N=1

基本电荷的均值: 1.5932836536009362e-19

百分比误差: 0.5441%

第二颗油滴:

带电量测量量: [6.20580e-19, 6.65739e-19, 6.47489e-19, 6.50109e-19, 6.16138e-19, 6.41872e-19]

所带电荷数: N=4

基本电荷的均值: 1.600803998321907e-19

百分比误差: 0.07465%

第三颗油滴:

带电量测量量: [6.05854e-19, 6.06852e-19, 6.24243e-19, 6.14172e-19, 6.34584e-19, 6.2951e-19]

所带电荷数: N=4

基本电荷的均值: 1.5480079917349568e-19

百分比误差: 3.3703%

二、动态法

计算公式:

$$q = \frac{18\pi}{\sqrt{2\rho g}} \cdot \frac{d}{U} \cdot \left(1 + \frac{t_1}{t_2}\right) \left[\frac{\eta l}{t_1 \left(1 + \frac{b}{p} \sqrt{\frac{2\rho g t_1}{9\eta l}}\right)} \right]^{\frac{3}{2}}$$

计算代码:

```
# 对 t1s 和 t2s 中对应索引的元素为一组, 计算 q
for i in range(len(t1s)):
    t1 = t1s[i]
    t2 = t2s[i]
    q = (18*np.pi*d)*(1+t1/t2)*(eta*l/(t1*(1+(b/p)*np.sqrt(2*g*rho*t1/(9*eta*l))))
        )**(3/2)/(np.sqrt(2*g*rho)*U)
    qs.append(q)
    n = round(q/e, 0)
    ns.append(n)
    ei = q/n
    es.append(ei)
```

计算结果:

第一颗油滴:

带电量测量量: [6.3702e-19, 6.1721e-19, 6.3072e-19, 6.3312e-19, 6.3707e-19, 6.2096e-19]

所带电荷数: N=4

基本电荷的均值: 1.5733877259606316e-19

百分比误差 : 1.7860%

第二颗油滴:

带电量测量量: [1.0938e-18, 1.0976e-18, 1.1046e-18, 1.0846e-18, 1.1056e-18, 1.0823e-18]

所带电荷数: N=7

基本电荷的均值: 1.5640200919201325e-19

百分比误差: 2.3708%

第三颗油滴:

带电量测量量: [4.6536e-19, 4.6269e-19, 4.7503e-19, 4.6290e-19, 4.6439e-19, 4.5543e-19]

所带电荷数: N=3

基本电荷的均值: 1.5476847869428885e-19

百分比误差: 3.3905%

结论：测量的百分比误差都在 5% 以内，验证了公认的元电荷数值的准确性。

四. 实验结论及现象分析

（分析讨论本实验中出现的实验现象和电子电荷测量误差产生的原因，如何减少该误差？）

答：误差产生的原因：

- 1、环境干扰，如空气的流动对油滴运动的影响，以及温度和湿度的变化也会影响；
- 2、设备精度的限制导致的测量误差；
- 3、实验员的操作导致误差；
- 4、油滴为空心或不为球体，以及油滴在运动中电荷量与质量的变化。

减小误差的方式：

- 1、使用高精度的测量设备，确保所加的电压的准确和稳定。
- 2、在实验室内维持稳定的环境条件如温度和湿度，同时盖上盖子，减少空气的流动对实验结果的影响。
- 3、通过练习和提高实验技巧，确保油滴的喷射和观察过程尽可能一致和准确。
- 4、选择大小适中、稳定的油滴进行观察，避免因油滴过大或过小而导致的误差。
- 5、对多个油滴进行测量，并计算平均值，以减少个别油滴异常对结果的影响。

五. 讨论题

1. 当跟踪观察某一油滴时，原来清晰的像变模糊了，可能是什么原因造成的？

答：可能是因为油滴除了竖直方向的移动，还有水平方向的运动，移动到了观察的焦点之外，也有可能是因为油滴表面可能聚集了灰尘或其他微粒，影响了其透明度。

2. 由于油的挥发，油滴的质量会不断下降。当长时间跟踪测量同一个油滴时，由于油滴的挥发，会使哪些测量量发生变化。

答：油滴的质量减小，会导致油滴的半径变小，会影响油滴下落和上升的速度，从而影响测量的时间。