

课程名称: _____ 实验名称: 密立根油滴实验 实验日期: 2023 年 10 月 15 日 下午
 班级: _____ 教学班级: _____ 学号: _____ 姓名: _____ 20号

一. 实验目的

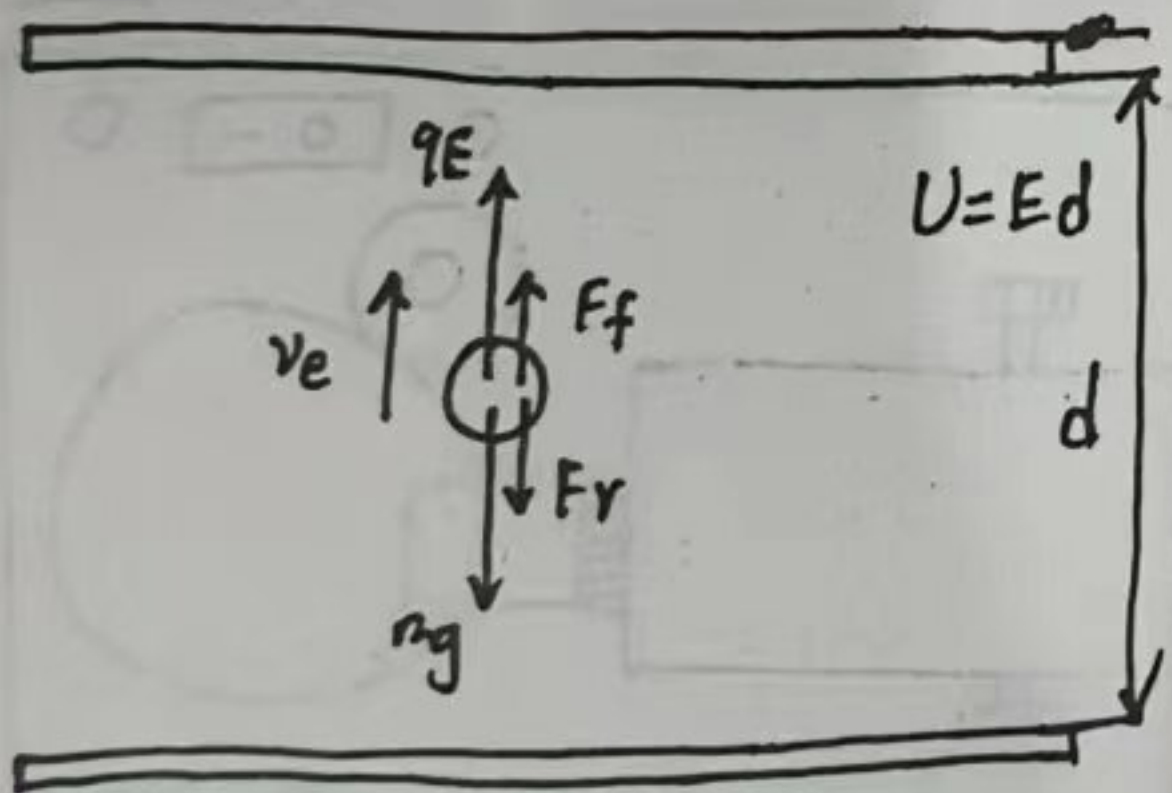
掌握测量电子电荷 e 值的方法, 并证明所有电荷都是基本电荷 e 的整数倍

二. 实验原理

用喷雾器将油雾喷入两块平行电极板之间, 由滴因摩擦带电, 当两电极板未加压时, 油滴受重力作用降落, 做加速运动, 但随即受到空气黏滞力作用减速, 当空气黏滞力 F_r 和浮力 F_f 与重力 mg 的合力平衡时, 油滴以 v_g 匀速下降

$$mg - F_f - F_r = 0$$

由于表面张力的作用油滴呈球状, 设半径为 a , 密度为 ρ , 则 $m = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho$, 空气密度为 ρ' , 则 $F_f = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho' g$, $F_r = 6\pi \eta a v_g$, η 为空气的黏滞系数, 则 $\frac{4}{3}\pi a^3 \rho g - \frac{4}{3}\pi a^3 \rho' g - 6\pi \eta a v_g = 0$, 因为 $\rho' \ll \rho$, 则 $a \approx \sqrt{\frac{9\eta v_g}{2g\rho}}$



当两平行板间加有电压 U 时, 两极之间将产生电场 $E = \frac{U}{d}$, 带有电荷 q 的油滴受到电场力 qE 作用。当 $qE > mg$, 当两力方向相反时, 油滴向上运动。当油滴速度增大到 v_e 时, 油滴匀速上升, $F_r = 6\pi \eta a v_e$, 则 $mg + F_r - F_f - qE = 0$
 即, $\frac{4}{3}\pi a^3 \rho g + 6\pi \eta a v_e - \frac{4}{3}\pi a^3 \rho' g - qE = 0$, 可得油滴带电量 $q = 18\pi \frac{d}{U} \left(\frac{\eta^3}{2\rho g}\right)^{\frac{1}{2}} v_g^{\frac{1}{2}} (v_g + v_e)$

当 a 与平均自由程入量级接近时, 斯托克斯定律应进行修正: $F_r = \frac{6\pi \eta a v}{1 + \frac{b}{pa}}$

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

指导教师签字: _____

联系方式: _____

实验时取匀速下降和上升距离相同, 设为 L , 测出下降与上升时间 t_g, t_e .

$$v_g = \frac{L}{t_g}, \quad v_e = \frac{L}{t_e}$$

$$\text{则 } q = \frac{k(\frac{1}{t_g} + \frac{1}{t_e})(\frac{1}{t_g})^{\frac{1}{2}}}{U}$$

$$k = \frac{18\pi}{\sqrt{2\rho g}} \left(\frac{\eta L}{1 + \frac{b}{\rho a}} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot d$$

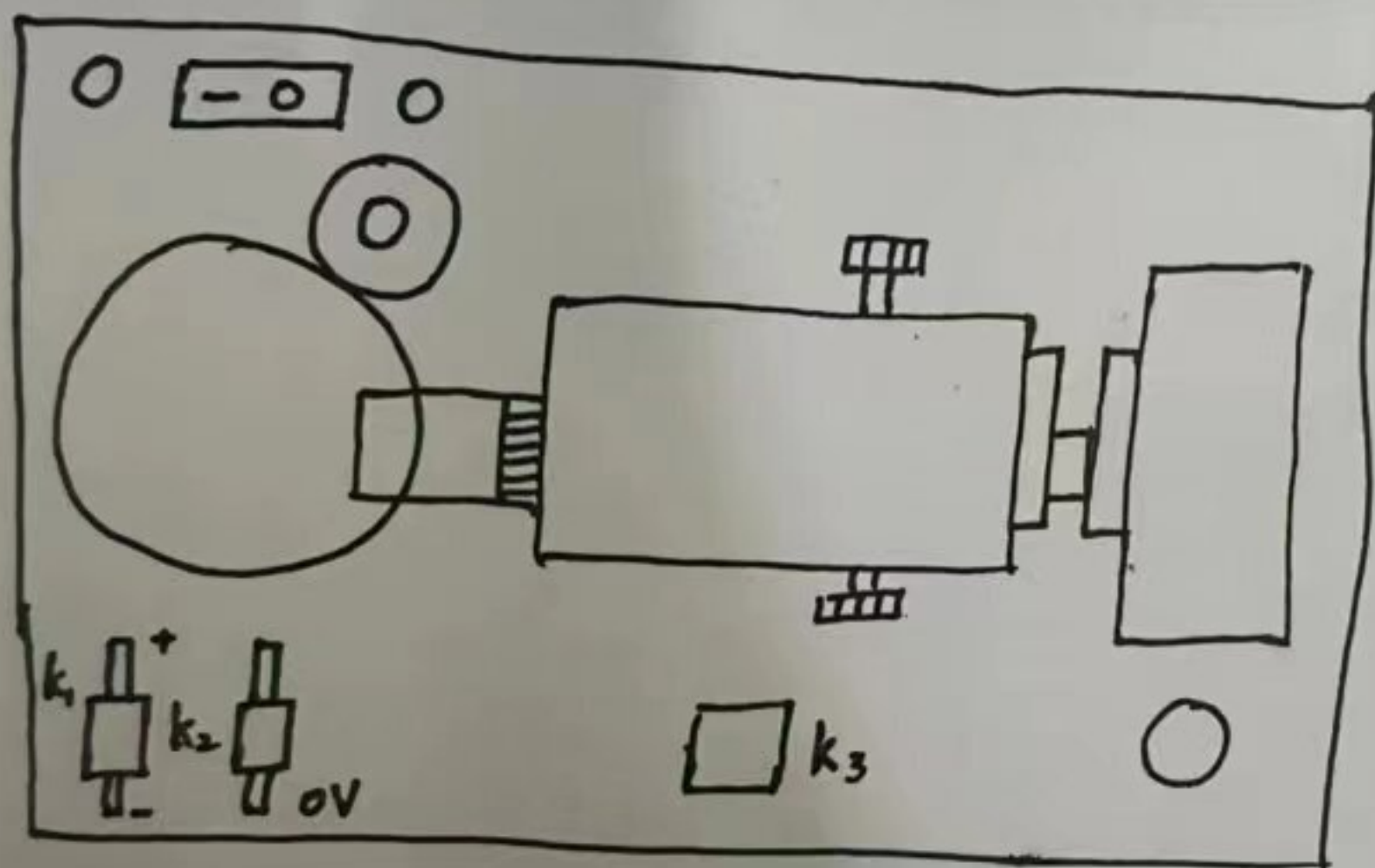
静态法原理: 调节平行极板电压, 使油滴静止, $v_e = 0, t_e \rightarrow \infty$.

$$\text{则 } q = k(\frac{1}{t_g})^{\frac{1}{2}}/U$$

在实验中用不同油滴测量, 其带电量表示为 q_1, q_2, \dots, q_i , 经分析可发现, 这些量都是基本电荷量 e 的整数倍, 即 $q_i = n_i e, n_i = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$. 这就证明了存在着最小的电荷单位——电子电荷 e .

三. 实验内容与步骤

1. 测量练习.



k_1 键控制上极板的电压极性, k_2 键控制上极板电压大小. 当 k_2 键处于中间位置, 即“平衡”档时, 可用平衡电压调节电位器控制平衡电压的高低. 当电键打向“提升”档时, 本机自动在该平衡电压的基础上增加 $200 \sim 300 \text{ V}$ 的提升电压. 而打向“ 0 V ”档时, 上极板电压为 0 V .

喷油后, 将 k_2 键置于“平衡档”, 调节平衡电压为 $200 \sim 300 \text{ V}$, 注意几颗缓慢运动, 较为清晰明亮的油滴. 试将 k_2 键置于“ 0 V ”档, 观察各颗油滴下落大概速度, 选一颗为测量对象.

指导教师签字: _____

联系方式: _____

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日
班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

2. 正式测量

采用“平衡”法测量, 可将已调平衡的油滴用 k_2 键移到“起点”线上。按“计时/停”按钮, 然后将 k_2 键拨向“0V”档。油滴到达“终点”时, 迅速将 k_2 键拨向“平衡”, 计时器所计时间为油滴匀速运动所用时间 t_g , 油滴运动距离 $L = 0.25 \times 6 = 1.5 \text{ m}$ 。由此可确定 V_g , 将结果代入公式, 可求出 q 。

“动态”法要求分别测出油滴上升时间 t_e 和下落时间 t_g , 将结果代入公式, 即可确定 q 值。

本实验要求: 对选定油滴反复测量 7 次, 选择 5 颗油滴 (平衡法)、2 颗油滴 (动态法) 分别进行测量。求出每颗油滴的带电量 q 及电子电荷 e 的值, 并将结果与公认值进行比较, 求出测量结果的不确定度值。

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日
 班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

平衡法

	$V_{平衡}(V)$	$t_g(s)$	$V_{提升}(V)$	$t_e(s)$
1	246 246 246 246			
2	148 246	8.91	434	10.99
3	246	8.32	434	11.26
4	246	8.64	434	11.36
5	246	8.66	434	11.10
		8.49	434	11.38

	$V_{平衡}(V)$	$t_g(s)$	$V_{提升}(V)$	$t_e(s)$
1	130 130	11.35	317	7.77
2	130	11.60	317	7.80
3	130	11.29	317	7.65
4	130	11.71	317	7.86
5	130	11.70	317	7.60

	$V_{平衡}(V)$	$t_g(s)$	$V_{提升}(V)$	$t_e(s)$
1	142	14.59	330	11.52
2	142	14.64	330	12.20
3	142	14.35	330	12.11
4	142	14.55	330	11.96
5	142	14.45	330	12.03

联系方式: _____

指导教师签字: _____

平衡法:

$U_{平衡}(V)$	$t_0(s)$	$V_0(m/s)$	$q(C)$	n	$e(C)$	误差	油滴半径/m	K值
246	8.91	1.68E-04	1.28E-18	8	1.606E-19	0.258%	1.201E-06	8.407E-15
246	8.32	1.80E-04	1.43E-18	9	1.587E-19	-0.920%	1.243E-06	8.434E-15
246	8.64	1.74E-04	1.35E-18	8	1.684E-19	5.146%	1.219E-06	8.419E-15
246	8.66	1.73E-04	1.34E-18	8	1.678E-19	4.771%	1.218E-06	8.418E-15
246	8.49	1.77E-04	1.38E-18	9	1.538E-19	-3.970%	1.230E-06	8.426E-15
平均值			1.36E-18	8	1.619E-19	1.057%		

$U_{平衡}(V)$	$t_0(s)$	$V_0(m/s)$	$q(C)$	n	$e(C)$	误差	油滴半径/m	K值
130	11.35	1.32E-04	1.67E-18	10	1.671E-19	4.289%	1.064E-06	8.305E-15
130	11.6	1.29E-04	1.62E-18	10	1.615E-19	0.819%	1.052E-06	8.295E-15
130	11.29	1.33E-04	1.68E-18	11	1.531E-19	-4.408%	1.067E-06	8.307E-15
130	11.71	1.28E-04	1.59E-18	10	1.592E-19	-0.649%	1.047E-06	8.291E-15
130	11.7	1.28E-04	1.59E-18	10	1.594E-19	-0.517%	1.048E-06	8.292E-15
平均值			1.63E-18	10	1.601E-19	-0.093%		

$U_{平衡}(V)$	$t_0(s)$	$V_0(m/s)$	$q(C)$	n	$e(C)$	误差	油滴半径/m	K值
142	14.59	1.03E-04	1.03E-18	6	1.725E-19	7.648%	9.384E-07	8.188E-15
142	14.64	1.02E-04	1.03E-18	6	1.715E-19	7.075%	9.368E-07	8.187E-15
142	14.35	1.05E-04	1.06E-18	7	1.517E-19	-5.312%	9.462E-07	8.196E-15
142	14.55	1.03E-04	1.04E-18	6	1.732E-19	8.110%	9.397E-07	8.190E-15
142	14.45	1.04E-04	1.05E-18	7	1.501E-19	-6.332%	9.429E-07	8.193E-15
平均值			1.04E-18	6	1.638E-19	2.238%		

动态法

$U_{提升}(V)$	$t_0(s)$	$t_d(s)$	$V_0(m/s)$	$V_d(m/s)$	$q(C)$	n	$e(C)$	误差	油滴半径/m	K值
434	8.91	10.99	1.68E-04	1.36E-04	1.32E-18	8	1.648E-19	2.901%	1.2E-06	8.407E-15
434	8.32	11.26	1.80E-04	1.33E-04	1.41E-18	9	1.564E-19	-2.342%	1.24E-06	8.434E-15
434	8.64	11.36	1.74E-04	1.32E-04	1.34E-18	8	1.681E-19	4.928%	1.22E-06	8.419E-15
434	8.66	11.1	1.73E-04	1.35E-04	1.35E-18	8	1.694E-19	5.718%	1.22E-06	8.418E-15
434	8.49	11.38	1.77E-04	1.32E-04	1.37E-18	9	1.523E-19	-4.960%	1.23E-06	8.426E-15
平均值					1.36E-18	8	1.622E-19	1.249%		

$U_{\text{提升}}(\text{V})$	$t_g(\text{s})$	$t_e(\text{s})$	$V_g(\text{m/s})$	$V_e(\text{m/s})$	$q(\text{C})$	n	$e(\text{C})$	误差	油滴半径/m	K值
317	11.35	7.77	1.32E-04	1.93E-04	1.69E-18	11	1.533E-19	-4.325%	1.06E-06	8.305E-15
317	11.6	7.8	1.29E-04	1.92E-04	1.65E-18	10	1.647E-19	2.833%	1.05E-06	8.295E-15
317	11.29	7.65	1.33E-04	1.96E-04	1.71E-18	11	1.555E-19	-2.943%	1.07E-06	8.307E-15
317	11.71	7.86	1.28E-04	1.91E-04	1.63E-18	10	1.625E-19	1.444%	1.05E-06	8.291E-15
317	11.7	7.6	1.28E-04	1.97E-04	1.66E-18	10	1.660E-19	3.604%	1.05E-06	8.292E-15
平均值					1.67E-18	10	1.604E-19	0.122%		

$U_{\text{提升}}(\text{V})$	$t_g(\text{s})$	$t_e(\text{s})$	$V_g(\text{m/s})$	$V_e(\text{m/s})$	$q(\text{C})$	n	$e(\text{C})$	误差	油滴半径/m	K值
330	14.59	11.52	1.03E-04	1.30E-04	1.01E-18	6	1.682E-19	4.987%	9.38E-07	8.188E-15
330	14.64	12.2	1.02E-04	1.23E-04	9.74E-19	6	1.624E-19	1.365%	9.37E-07	8.187E-15
330	14.35	12.11	1.05E-04	1.24E-04	9.98E-19	6	1.664E-19	3.863%	9.46E-07	8.196E-15
330	14.55	11.96	1.03E-04	1.25E-04	9.91E-19	6	1.652E-19	3.115%	9.4E-07	8.190E-15
330	14.45	12.03	1.04E-04	1.25E-04	9.95E-19	6	1.658E-19	3.506%	9.43E-07	8.193E-15
平均值					9.94E-19	6	1.656E-19	3.367%		

同一个油滴,对比两种方法的测量结果
平衡法测出的平均误差要小于动态法,
平衡法更加精确.

动态法计算

$$Q = k \left(\frac{1}{t_g} + \frac{1}{t_e} \right) \left(\frac{1}{t_g} \right)^{\frac{1}{2}} / U$$

$$k = \frac{18\pi}{\sqrt{2\rho g}} \left(\frac{nL}{1 + \frac{b}{Pa}} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot d$$

$$\cancel{P = 1.013 \times 10^5 Pa} \quad P = 981 \text{ kg/m}^3 \quad Vg = \frac{L}{t_g}$$

$$g = 9.801 \text{ kg/s}^2$$

$$\eta = 1.83 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$b = 8.22 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$P = 1.013 \times 10^5 Pa$$

$$a = \sqrt{\frac{9\eta Vg}{2\rho g}}$$

$$n = \frac{Q}{e}$$

$$e = \frac{Q}{n}$$

$$U_e = \left| \frac{e - e(c)}{e} \right| \times 100\%$$

序号1: $a = \sqrt{\frac{9 \times 1.83 \times 10^{-5} \times 1.5 \times 10^{-3}}{2 \times 981 \times 9.801 \times 8.91}} = 1.2 \times 10^{-6} \text{ m}$

$$k = \frac{18\pi}{\sqrt{2 \times 981 \times 9.801}} \left(\frac{1.83 \times 10^{-5} \times 1.5 \times 10^{-3}}{1 + \frac{8.22 \times 10^{-3}}{1.013 \times 10^5 \times 1.2 \times 10^{-6}}} \right)^{\frac{3}{2}} \times 5 \times 10^{-3} = 8.407 \times 10^{-15}$$

$$Q = 8.407 \times 10^{-15} \left(\frac{1}{8.91} + \frac{1}{10.99} \right) \left(\frac{1}{8.91} \right)^{\frac{1}{2}} / 434 = 1.32 \times 10^{-18} \text{ C}$$

$$n = \frac{1.32 \times 10^{-18}}{1.602 \times 10^{-19}} = 8$$

$$e = \frac{Q}{n} = 1.648 \times 10^{-19}$$

$$U_e = \left| \frac{1.602 - 1.648}{1.602} \right| \times 100\% = 2.90\%$$

V _{提升} (V)	t _g (s)	t _e (s)
434	8.91	10.99
434	8.32	11.26
434	8.64	11.36
434	8.66	11.10
434	8.49	11.38

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日
 级: _____ 教学班级: _____ 学号: _____ 姓名: _____

序号2:

$$a = \sqrt{\frac{9 \times 1.83 \times 10^{-5} \times 1.5 \times 10^{-3}}{2 \times 981 \times 9.801 \times 8.32}} = 1.24 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$k = \frac{18\pi}{\sqrt{2 \times 981 \times 9.801}} \left(\frac{1.83 \times 10^{-5} \times 1.5 \times 10^{-3}}{1 + \frac{8.22 \times 10^{-3}}{1.013 \times 10^5 \times 1.24 \times 10^{-6}}} \right)^{\frac{3}{2}} \times 5 \times 10^{-3} = 8.434 \times 10^{-15}$$

$$q = 8.434 \times 10^{-15} \left(\frac{1}{8.32} + \frac{1}{11.26} \right) \left(\frac{1}{8.32} \right)^{\frac{1}{2}} / 434 = 1.41 \times 10^{-18} \text{ C}$$

$$n = \frac{1.41 \times 10^{-18}}{1.602 \times 10^{-19}} = 9 \quad e(c) = \frac{1.41 \times 10^{-18}}{9} = 1.564 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$U_e = \left| \frac{1.564 - 1.602}{1.602} \right| \times 100\% = 2.342\%$$

序号3:

$$a = \sqrt{\frac{9 \times 1.83 \times 10^{-5} \times 1.5 \times 10^{-3}}{2 \times 981 \times 9.801 \times 8.64}} = 1.22 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$k = \frac{18\pi}{\sqrt{2 \times 981 \times 9.801}} \left(\frac{1.83 \times 10^{-5} \times 1.5 \times 10^{-3}}{1 + \frac{8.22 \times 10^{-3}}{1.013 \times 10^5 \times 1.22 \times 10^{-6}}} \right) \times 5 \times 10^{-3} = 8.419 \times 10^{-15}$$

$$n = \frac{1.34 \times 10^{-18}}{1.602 \times 10^{-19}} = 8 \quad e(c) = \frac{1.34 \times 10^{-18}}{8} = 1.681 \times 10^{-19}$$

$$U_e = \left| \frac{1.681 - 1.602}{1.602} \right| \times 100\% = 4.928\%$$

$$q = 8.419 \times 10^{-15} \left(\frac{1}{8.64} + \frac{1}{11.36} \right) \left(\frac{1}{8.64} \right)^{\frac{1}{2}} / 434 = 1.34 \times 10^{-18} \text{ C}$$

联系方式: _____

指导教师签字: _____

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日
 班级: _____ 教学班级: _____ 学号: _____ 姓名: _____

序号4:

$$a = \sqrt{\frac{9 \times 1.83 \times 10^{-5} \times 1.5 \times 10^{-3}}{2 \times 981 \times 9.801 \times 8.66}} = \frac{1.22 \times 10^{-6} \text{ m}}{\cancel{8.418 \times 10^{-15}}}$$

$$k = \frac{18\pi}{\sqrt{2 \times 981 \times 9.801}} \left(\frac{1.83 \times 10^{-5} \times 1.5 \times 10^{-3}}{1 + \frac{8.22 \times 10^{-3}}{1.013 \times 10^5 \times 1.22 \times 10^{-6}}} \right) = 8.418 \times 10^{-15}$$

$$q = 8.418 \times 10^{-15} \left(\frac{1}{8.66} + \frac{1}{11.10} \right) \left(\frac{1}{8.66} \right)^{\frac{1}{2}} / 343 = 1.35 \times 10^{-18} \text{ C}$$

$$n = \frac{1.35 \times 10^{-18}}{1.602 \times 10^{-19}} = 8$$

$$e(c) = \frac{1.35 \times 10^{-18}}{8} = 1.69 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$U_e = \left| \frac{1.694 - 1.602}{1.602} \right| \times 100\% = 5.718\%$$

序号5:

$$a = \sqrt{\frac{9 \times 1.83 \times 10^{-5} \times 1.5 \times 10^{-3}}{2 \times 981 \times 9.801 \times 8.49}} = 1.23 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$k = \frac{18\pi}{\sqrt{2 \times 9.81 \times 9.801}} \left(\frac{1.83 \times 10^{-5} \times 1.5 \times 10^{-3}}{1 + \frac{8.22 \times 10^{-3}}{1.013 \times 10^5 \times 1.23 \times 10^{-6}}} \right) = 8.426 \times 10^{-15}$$

$$\cancel{n = 8.426 \times 10^{-15}}$$

$$q = 8.426 \times 10^{-15} \left(\frac{1}{8.49} + \frac{1}{11.38} \right) \left(\frac{1}{8.49} \right)^{\frac{1}{2}} / 343 = 1.37 \times 10^{-18} \text{ C}$$

$$n = \frac{1.37 \times 10^{-18}}{1.602 \times 10^{-19}} = 9$$

$$e(c) = \frac{1.37 \times 10^{-18}}{9} = 1.523 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$U_e = \left| \frac{1.523 - 1.602}{1.602} \right| \times 100\% = 4.960\%$$

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____
班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

思考题:

1. 因为各油滴带电的电量和符号都是不一样的, 在油滴下落过程中, 会受到周围电荷的库仑力
空气流动形成的风使滴滴移动
喷油后未关闭小孔, 内部观测区有杂质进入, 使油滴偏移。
2. 26-10 中的 U 是提升电压, 26-11 中的 U 是平衡电压,
两者均与油滴的重力和电荷量联系在一起

联系方式: _____

指导教师签字: _____