

实验报告

11.21-8 ⑧

课程名称:

实验名称: 密立根油滴实验 实验日期: 2023 年 11 月 24 日 上午

班级:

教学班级: 鲁长宏老师班

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

用喷雾器将油雾滴喷入两块平行的电极板之间, 油滴在喷射时由于摩擦, 一般都是带电的。当两极板未加电压时, 悬停在空气中的油滴受到重力作用而降落, 开始时做加速运动, 但随即受到空气黏滞力的作用而减速。当油滴受到的空气黏滞力 F_r 和浮力 F_f 与重力 mg 平衡时, 则油滴将以速度 v_g 匀速下落。此时有 $mg - F_f - F_r = 0$ (26-1)。

由于表面张力的作用, 油滴呈球状。设油滴的半径为 a , 密度为 ρ , 则 $m = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho$ 。如果空气密度为 ρ' , 则空气对油滴的浮力为 $F_f = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho' g$ 。根据斯托克斯定律, 油滴所受黏滞力 $F_r = 6\pi\eta a v_g$, 其中 η 是空气的黏滞系数。则式(26-1)可以写成 $\frac{4}{3}\pi a^3 \rho g - \frac{4}{3}\pi a^3 \rho' g - 6\pi\eta a v_g = 0$ (26-2)。考虑到 $\rho' \ll \rho$, 由式(26-2)可得: $a \approx \sqrt{\frac{9\eta v_g}{2g\rho}}$ (26-3)。

密立根在并行此实验时, 在油滴运动空间的上下方各安装了一个大的平行电极板如图26-1所示。当两平行板间加有电压 U 时, 两极板之间的中心区域将产生均匀电场 $E = \frac{U}{d}$, d 为极板间距离。悬停在极板间带有电荷 q 的油滴此时将受到电场力 qE 的作用。如果电场力 $qE > mg$, 而且两力的方向相反, 油滴就会向上运动。此时黏滞力的大小方向也将随油滴运动速度的大小与方向的改变而改变。当油滴的速度增大到 v_e 时, 所受合力方向也将随平衡, 油滴将以速度 v_e 匀速上升, 此时油滴所受黏滞力为 $F_r = 6\pi\eta a v_e$, 故有 $mg + F_r - F_f - qE = 0$ 。

$$\text{即 } \frac{4}{3}\pi a^3 \rho g + 6\pi\eta a v_e - \frac{4}{3}\pi a^3 \rho' g - qE = 0$$

同理忽视空气阻力的影响, 可得油滴所带电量为 $q = 18\pi \frac{d}{U} \sqrt{\frac{\rho g}{2\rho' g}} (v_g + v_e)$

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 _____ 日

班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

式中 ρ 和 r 可查表获得。所以只要测出油滴在两极板之间匀速运动的 V_g 和 V_e , 便可由式(26-6) 求出油滴所带电量 q (单位是库伦)

密立根发现, 当油滴半径 a 与空气的平均自由程入量级接近时, 空气介质不能认为是连续的, 斯托克斯定律应当进行修正, 即: $F_r = \frac{6\pi\eta a V}{1 + \frac{b}{Pa}}$

三、实验内容与步骤

1. 测量练习

熟悉仪器面板上各键的功能、练习控制油滴运动、掌握油滴运动时间的测量方法、学会选择合适的油滴。

K_1 键控制上极板电压的极性, K_2 键控制上极板电压的大小。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。当把 K_2 键打向“提升”档时, 本机自动在该平衡电压的基础上增加 200~300V 的提升电压。而打向 0V 档时, 上极板上的电压为 0V。

在 K_2 键由“平衡”打向“0V”时, 油滴开始加速下落的同时本机开始自动计时。油滴下落到预定位置时, 迅速将该键由“0V”拨回“平衡”档, 油滴将停止运动, 与此同时计算机停止计时。此时监视屏右上角显示的时间就是油滴运动的对应时间。

2. 正式测量

利用“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/停止”按钮, 使计时器停止计时, 然后将 K_2 键拨向“0V”档, 油滴开始下降的同时, 计时器自动开始计时。油滴到达“终点”时, 迅速将 K_2 拨回“平衡”档, 油滴可立刻停止运动, 计时器也立刻停止计时。其所计时间为油滴匀速运动所用时间 t_g 。油滴运动距离 $L = 0.25 \times 6 = 1.5\text{mm}$ 。

由此可以确定油滴下落的速度 V_g 。将此结果代入式(28-11)即可求出该油滴所带电量 q 值。

指导教师签字: _____

实验报告

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: _____

四. 数据处理

1. 静态法

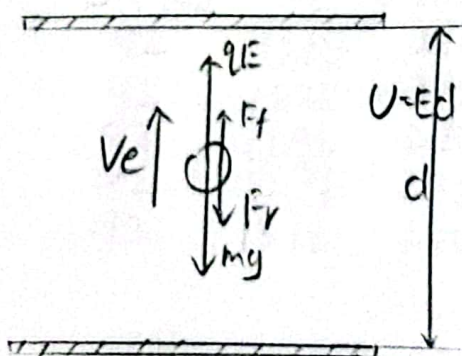
利用本实验的微机数据处理软件对静态法的测量结果进行自检。凡相对不确定度超过5%的测量数据需要重新分析,并重新测量。需选择5个独立的油滴完成实验,完成各个油滴的数据处理。

2. 动态法

选择2颗油滴,每颗油滴各测量7次,自行设计动态法测量的数据处理表格。动态法的数据处理需要有证明过程。为了简化起见,可将式(26-11)中的 k 值先确定下来,并计算 a 值。

注意:

- (1) 喷雾器内的油不可装太满,防止溢出
- (2) 每次实验完毕,应及时用纸巾擦净上极板及油雾室内的积油,并将喷雾器的气囊取下,防止溢油浸坏气囊。
- (3) 擦拭油雾杯前,应将 k_1 , k_2 电键放置在电压为0的位置关闭仪器的电源开关。



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 _____ 日
班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

原始数据

1. 油滴1

	$U_{平衡}$	t_g	$U_{提升}$	t_e
1	91	8.09	268	4.21
2	91	7.92	268	3.88
3	91	8.11	268	4.25
4	91	7.94	268	4.09
5	91	8.20	268	3.98

2. 油滴2

	$U_{平衡}$	t_g	$U_{提升}$	t_e
1	174	6.32	358	6.16
2	174	6.30	358	6.18
3	174	6.52	358	6.20
4	174	6.42	358	6.17
5	174	6.50	358	6.26

3. 油滴3

	$U_{平衡}$	t_g	$U_{提升}$	t_e
1	92	13.16	270	6.84
2	92	13.05	270	6.96
3	92	12.92	270	6.76
4	92	12.91	270	6.88
5	92	13.12	270	6.92

11.21

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 _____ 日

班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

数据处理

实验中对每颗油滴测出 $U_{平衡}$, t_g , $U_{提升}$, t_e , 记录数据, 并用 Excel 处理数据如下图所示:

(一) 第一颗油滴

平衡法

$U_{平衡}(V)$	$t_g(s)$	$V_g(m/s)$	$q(C)$	n	$e(C)$	误差	油滴半径/m	K值
91	8.09	1.85E-04	4.03E-18	25	1.613E-19	0.694%	1.260E-06	8.444E-15
91	7.92	1.89E-04	4.17E-18	26	1.603E-19	0.051%	1.274E-06	8.453E-15
91	8.11	1.85E-04	4.02E-18	25	1.607E-19	0.310%	1.259E-06	8.443E-15
91	7.99	1.88E-04	4.11E-18	26	1.581E-19	-1.300%	1.268E-06	8.449E-15
91	8.20	1.83E-04	3.95E-18	25	1.580E-19	-1.386%	1.252E-06	8.439E-15
平均值			4.06E-18	25	1.597E-19	-0.326%		

动态法

$U_{提升}(V)$	$t_g(s)$	$t_e(s)$	$V_g(m/s)$	$V_e(m/s)$	$q(C)$	n	$e(C)$	误差	油滴半径/m	K值
268	8.09	4.21	1.85E-04	3.56E-04	4.00E-18	25	1.600E-19	-0.108%	1.26E-06	8.444E-15
268	7.92	3.88	1.89E-04	3.87E-04	4.30E-18	27	1.594E-19	-0.508%	1.27E-06	8.453E-15
268	8.11	4.25	1.85E-04	3.53E-04	3.97E-18	25	1.587E-19	-0.944%	1.26E-06	8.443E-15
268	7.99	4.09	1.88E-04	3.67E-04	4.12E-18	26	1.586E-19	-1.016%	1.27E-06	8.449E-15
268	8.20	3.98	1.83E-04	3.77E-04	4.10E-18	26	1.578E-19	-1.469%	1.25E-06	8.439E-15
平均值					4.10E-18	26	1.589E-19	-0.809%		

测量结果对比说明: 两种方法测得的 q 分别为 $4.06 \times 10^{-18} C$ 和 $4.10 \times 10^{-18} C$, 相差较小, 测量结果一致; 两种方法测得的 e 分别为 $1.597 \times 10^{-19} C$ 和 $1.589 \times 10^{-19} C$, 相差较小, 测量结果一致, 相互印证。

(二) 第二颗油滴

平衡法

$U_{平衡}(V)$	$t_g(s)$	$V_g(m/s)$	$q(C)$	n	$e(C)$	误差	油滴半径/m	K值
174	6.32	2.37E-04	3.09E-18	19	1.625E-19	1.419%	1.426E-06	8.534E-15
174	6.3	2.38E-04	3.10E-18	19	1.633E-19	1.916%	1.428E-06	8.535E-15
174	6.52	2.30E-04	2.94E-18	18	1.635E-19	2.037%	1.404E-06	8.523E-15
174	6.42	2.34E-04	3.01E-18	19	1.586E-19	-1.004%	1.415E-06	8.529E-15
174	6.50	2.31E-04	2.96E-18	18	1.642E-19	2.521%	1.406E-06	8.524E-15
平均值			3.02E-18	19	1.624E-19	1.378%		

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 _____ 日

班 级: _____ 教学班: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

动态法

$U_{\text{max}}(\text{V})$	$t_0(\text{s})$	$t_1(\text{s})$	$V_0(\text{m}^3/\text{s})$	$V_1(\text{m}^3/\text{s})$	$q(\text{C})$	n	$e(\text{C})$	误差	油滴半径/m	K值
350	6.32	6.16	$2.37\text{E-}04$	$2.44\text{E-}04$	$3.04\text{E-}10$	19	$1.600\text{E-}19$	-0.133%	$1.43\text{E-}06$	$8.534\text{E-}15$
350	6.3	6.10	$2.38\text{E-}04$	$2.43\text{E-}04$	$3.04\text{E-}10$	19	$1.602\text{E-}19$	0.031%	$1.43\text{E-}06$	$8.535\text{E-}15$
350	6.52	6.2	$2.30\text{E-}04$	$2.42\text{E-}04$	$2.93\text{E-}10$	18	$1.630\text{E-}19$	1.746%	$1.4\text{E-}06$	$8.523\text{E-}15$
350	6.42	6.17	$2.34\text{E-}04$	$2.43\text{E-}04$	$2.99\text{E-}10$	19	$1.573\text{E-}19$	-1.820%	$1.41\text{E-}06$	$8.529\text{E-}15$
350	6.50	6.26	$2.31\text{E-}04$	$2.40\text{E-}04$	$2.93\text{E-}10$	18	$1.627\text{E-}19$	1.567%	$1.41\text{E-}06$	$8.524\text{E-}15$
平均值					$2.99\text{E-}10$	19	$1.606\text{E-}19$	0.270%		

测量结果对比说明: 两种方法测得的 q 分别为 $3.02 \times 10^{-18} \text{C}$ 和 $2.99 \times 10^{-18} \text{C}$, 相差较小, 可以为测量结果一致, 相互印证; 两种方法测得的 e 分别为 $1.624 \times 10^{-19} \text{C}$ 和 $1.606 \times 10^{-19} \text{C}$, 相差较小, 可以为测量结果一致, 相互印证。

(三) 第三颗油滴

平衡法

$U_{\text{平衡}}(\text{V})$	$t_0(\text{s})$	$V_0(\text{m}^3/\text{s})$	$q(\text{C})$	n	$e(\text{C})$	误差	油滴半径/m	K值
92	13.16	$1.14\text{E-}04$	$1.88\text{E-}18$	12	$1.563\text{E-}19$	-2.436%	$9.881\text{E-}07$	$8.238\text{E-}15$
92	13.05	$1.15\text{E-}04$	$1.90\text{E-}18$	12	$1.584\text{E-}19$	-1.153%	$9.922\text{E-}07$	$8.242\text{E-}15$
92	12.92	$1.16\text{E-}04$	$1.93\text{E-}18$	12	$1.608\text{E-}19$	0.400%	$9.972\text{E-}07$	$8.246\text{E-}15$
92	12.91	$1.16\text{E-}04$	$1.93\text{E-}18$	12	$1.610\text{E-}19$	0.521%	$9.976\text{E-}07$	$8.247\text{E-}15$
92	13.12	$1.14\text{E-}04$	$1.88\text{E-}18$	12	$1.570\text{E-}19$	-1.973%	$9.896\text{E-}07$	$8.239\text{E-}15$
平均值			$1.90\text{E-}18$	12	$1.587\text{E-}19$	-0.928%		

动态法

$U_{\text{max}}(\text{V})$	$t_0(\text{s})$	$t_1(\text{s})$	$V_0(\text{m}^3/\text{s})$	$V_1(\text{m}^3/\text{s})$	$q(\text{C})$	n	$e(\text{C})$	误差	油滴半径/m	K值
270	13.16	6.84	$1.14\text{E-}04$	$2.19\text{E-}04$	$1.87\text{E-}18$	12	$1.557\text{E-}19$	-2.795%	$9.88\text{E-}07$	$8.238\text{E-}15$
270	13.05	6.96	$1.15\text{E-}04$	$2.16\text{E-}04$	$1.86\text{E-}18$	12	$1.551\text{E-}19$	-3.166%	$9.92\text{E-}07$	$8.242\text{E-}15$
270	12.92	6.76	$1.16\text{E-}04$	$2.22\text{E-}04$	$1.91\text{E-}18$	12	$1.596\text{E-}19$	-0.406%	$9.97\text{E-}07$	$8.246\text{E-}15$
270	12.91	6.88	$1.16\text{E-}04$	$2.18\text{E-}04$	$1.89\text{E-}18$	12	$1.578\text{E-}19$	-1.477%	$9.98\text{E-}07$	$8.247\text{E-}15$
270	13.12	6.92	$1.14\text{E-}04$	$2.17\text{E-}04$	$1.86\text{E-}18$	12	$1.550\text{E-}19$	-3.270%	$9.9\text{E-}07$	$8.239\text{E-}15$
平均值					$1.88\text{E-}18$	12	$1.566\text{E-}19$	-2.223%		

测量结果对比说明:

两种方法测得的 q 分别为 $1.90 \times 10^{-18} \text{C}$ 和 $1.88 \times 10^{-18} \text{C}$, 相差较小; 可以认为测量结果一致, 相互印证。

两种方法测得的 e 分别为 $1.587 \times 10^{-19} \text{C}$ 和 $1.566 \times 10^{-19} \text{C}$, 相差较小; 可以认为测量结果一致, 相互印证。

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 _____ 日

班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

(4) 选一颗油滴写出动态法的主要计算过程

由上述Excel数据处理结果可知, 第二颗油滴动态法测量结果最为准确, 相对误差仅为0.278%, 下面选择第二颗油滴的动态法数据进行手动计算。

① 计算 $U_{\text{提升}}$, t_g , t_e 的平均值, 计算 V_g , V_e

$$\bar{U}_{\text{提升}} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 U_i = \frac{1}{5} (358 + 358 + 358 + 358 + 358) = 358 \text{ V}$$

$$\bar{t}_g = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 t_{gi} = \frac{1}{5} (6.32 + 6.30 + 6.52 + 6.42 + 6.50) = 6.412 \text{ s}$$

$$\bar{t}_e = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 t_{ei} = \frac{1}{5} (6.16 + 6.18 + 6.20 + 6.17 + 6.26) = 6.194 \text{ s}$$

$$V_g = \frac{L}{\bar{t}_g} = \frac{1.5 \times 10^{-3}}{6.412} = 2.24 \times 10^{-4} \text{ m/s} \quad V_e = \frac{L}{\bar{t}_e} = \frac{1.5 \times 10^{-3}}{6.194} = 2.42 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

② 计算油滴半径 a

$$a = \sqrt{\frac{9\eta V_g}{2g\rho}} = \sqrt{\frac{9 \times 1.83 \times 10^{-5} \times 2.24 \times 10^{-4}}{2 \times 9.801 \times 981}} = 1.378 \times 10^{-6} \text{ m}$$

③ 计算 k

$$k = \frac{18\pi}{\sqrt{2g\rho}} \left(\frac{\eta L}{1 + \frac{b}{Pa}} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot d = \frac{18 \times 3.14159}{\sqrt{2 \times 9.801 \times 981}} \times \left(\frac{1.83 \times 10^{-5} \times 1.5 \times 10^{-3}}{1 + \frac{8.22 \times 10^{-3}}{1.013 \times 10^5 \times 1.378 \times 10^{-6}}} \right)^{\frac{3}{2}} \times 5 \times 10^{-3} = 3.164 \times 10^{-15}$$

④ 计算 q

$$q = \frac{k \left(\frac{1}{\bar{t}_g} + \frac{1}{\bar{t}_e} \right) \left(\frac{1}{\bar{t}_g} \right)^{\frac{1}{2}}}{U} = \frac{3.164 \times 10^{-15} \left(\frac{1}{6.412} + \frac{1}{6.194} \right) \sqrt{\frac{1}{6.412}}}{358} = 2.99 \times 10^{-18} \text{ C}$$

⑤ 计算 e

$$n = \frac{q}{e_0} = \frac{2.99 \times 10^{-18}}{1.602 \times 10^{-19}} = 19 \text{ (个)}$$

$$e = \frac{q}{n} = \frac{2.99 \times 10^{-18}}{19} = 1.606 \times 10^{-19} \text{ C}$$

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 _____ 日

班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

⑥ 计算相对误差

$$E = \frac{|e - e_0|}{e_0} \times 100\% = 0.278\%$$

人工计算出的 q, e, E 等均与用 Excel 得出的一致。

思考题

1. 在实验中油滴运动轨迹不垂直地面的原因是什么?

答: 油滴在运动过程中, 不仅在竖直方向受力。由于每个油滴周围存在其他小油滴, 均带有一定电荷。这样被测油滴就会受到来自其他油滴的库仑力产生水平分量, 导致油滴在运动时水平方向受力不平衡, 产生微小偏移, 故不垂直于地面。

2. 公式 $q = \frac{k(\frac{1}{d} + \frac{1}{d_0})(\frac{1}{U})^{\frac{1}{2}}}{(26-10)}$ 和公式 $q = \frac{k(\frac{1}{U})^{\frac{3}{2}}}{(26-11)}$ 中的 U 的定义有何区别和联系?

答: 二者都是两极板之间所加的电压, 性质相同

区别: ① 公式 (26-10) 的 U 是提升电压, 在该电压作用下油滴将会上升, 且一般大于 (26-11) 中的电压。

② 公式 (26-11) 的 U 是平衡电压, 在该电压作用下, 油滴受力平衡, 保持静止, 且小于 (26-10) 中的电压 U 。

联系方式: _____

指导教师签字: _____