

实验报告

序号: 18 张明友
时间: 2024年10月18日
上午 10月30日 下午

课程名称: 物理实验B 实验名称: 密立根油滴实验 实验日期: 2024年10月30日 下午
班 级: 07112304 教学班级: 学 号: 112023329 姓 名: 陈墨鼎

实验: 密立根油滴实验

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, 悬浮在空气中的油滴受到空气阻力作用而降落, 开始时做加速运动, 但随即受到空气粘滞力的平衡作用而减速。当油滴受到空气粘滞力 F_r 和浮力 F_f 与重力 mg 的合力平衡时, 则油滴将以速度 v_g 匀速下降, 此时有

$$mg - F_f - F_r = 0 \quad (1)$$

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, 油滴所受粘滞力 $F_r = 6\pi\eta a v_g$, 其中 η 是空气的粘滞系数, 则式(1)可以写成

$$\frac{4}{3}\pi a^3 \rho - \frac{4}{3}\pi a^3 \rho' g - 6\pi\eta a v_g = 0 \quad (2)$$

考虑到 $\rho' \ll \rho$, 由式(2)可得

$$a \approx \sqrt{\frac{9\eta v_g}{2g\rho}} \quad (3)$$

密立根在进行此实验时在油滴运动空间的上、下各安装了一个大的平行电极板。当平行电极板间加有电压 V 时, 两板之间的中心区域将产生均匀的电场。

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: _____

电场 $E = U/d$, 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、方向也将随着油滴运动速度大小与方向的改变而变化。当油滴速度增大到 v_e 时, 所受合力又达平衡, 油滴就将以速度 v_e 匀速上升, 此时油滴所受黏滞力为 $F_r = 6\pi\eta av_e$, 故有下式

$$mg + F_r - F_f - qE = 0 \quad (4)$$

$$\text{即 } \frac{4}{3}\pi a^3 \rho g + 6\pi\eta av_e - \frac{4}{3}\pi a^3 \rho' g - qE = 0 \quad (5)$$

因忽略空气浮力影响, 可将油滴所带电荷为

$$q = 18\pi \frac{d}{U} \left(\frac{\eta^3}{3\rho g} \right)^{\frac{1}{2}} v_g^{\frac{1}{2}} (v_g + v_e) \quad (6)$$

式中 ρ 和 η 可查表获得。所以只要测出油滴在两极板之间匀速运动时的 v_g 和 v_e , 便可由式 (6) 求出油滴所带电荷 q 。

密里根发现, 当油滴半径 a 与空气的平均自由程入量级相近时, 空气介质的认为是连续的, 斯托克斯定律应当进行修正, 即:

$$F_r = \frac{6\pi\eta av}{1 + \frac{b}{pa}} \quad (7)$$

$$a = \sqrt{\frac{9\eta v_g}{2\rho g(1 + \frac{b}{pa})}} \quad (8)$$

实验时取油滴匀速下降和匀速上升的路径相同, 均为 L , 测出油滴下降与上升时间分别为 t_g 和 t_e , 则

$$v_g = \frac{L}{t_g} \quad v_e = \frac{L}{t_e} \quad (9)$$

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(6)可表述为:

$$q = K \left(\frac{1}{t_g} + \frac{1}{t_e} \right) \left(\frac{1}{t_g} \right)^{\frac{1}{2}} / U \quad (10)$$

式中

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

式(10)即为动态(非平衡)法测定油滴带电荷的原理公式。

式(10)中若令油滴利用平衡(平衡)法完成油滴带电荷的测量。其条件是:调节平行板板间的电压,使油滴处于静止状态,即 $V_e = 0$, $t_e \rightarrow \infty$, 则由式(10)可得

$$q = K \left(\frac{1}{t_g} \right)^{\frac{3}{2}} / U \quad (11)$$

对同一油滴采用不同的方法测量,所得的结果应是一致的。

在实验中选择不同的油滴进行测量,其带电量可以表示为 q_1, q_2, \dots, q_i , 经过分析可发现,这些量都是基本电荷 e 的整数倍,即

$$q_i = n_i \times e \quad n_i = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (12)$$

这就证明了存在着最小的电荷单位——电子电荷 e 。

联系方式: _____

指导教师签字: _____

平衡法测量结果

油滴 1

U 平衡(V)	tg(s)	Vg(m/s)	q(C)	n	e(C)	误差	油滴半径 /m	K 值
140	10.73	1.40E-04	1.69E-18	11	1.54E-19	-3.94%	1.09E-06	8.33E-15
141	10.62	1.41E-04	1.71E-18	11	1.55E-19	-3.09%	1.10E-06	8.33E-15
142	10.75	1.40E-04	1.66E-18	10	1.66E-19	3.88%	1.09E-06	8.33E-15
142	10.91	1.37E-04	1.63E-18	10	1.63E-19	1.52%	1.09E-06	8.32E-15
143	10.92	1.37E-04	1.61E-18	10	1.61E-19	0.67%	1.08E-06	8.32E-15
平均值			1.66E-18	10	1.60E-19	-0.19%		

油滴 2

U 平衡(V)	tg(s)	Vg(m/s)	q(C)	n	e(C)	误差	油滴半径 /m	K 值
176	9.5	1.58E-04	1.63E-18	10	1.63E-19	1.51%	1.16E-06	8.38E-15
176	9.49	1.58E-04	1.63E-18	10	1.63E-19	1.68%	1.16E-06	8.38E-15
176	9.49	1.58E-04	1.63E-18	10	1.63E-19	1.68%	1.16E-06	8.38E-15
177	9.59	1.56E-04	1.59E-18	10	1.59E-19	-0.52%	1.16E-06	8.38E-15
177	9.56	1.57E-04	1.60E-18	10	1.60E-19	-0.04%	1.16E-06	8.38E-15
平均值			1.62E-18	10	1.62E-19	0.86%		

油滴 3

U 平衡(V)	tg(s)	Vg(m/s)	q(C)	n	e(C)	误差	油滴半径 /m	K 值
166	6.51	2.30E-04	3.09E-18	19	1.63E-19	1.56%	1.40E-06	8.52E-15
167	6.43	2.33E-04	3.13E-18	20	1.57E-19	-2.25%	1.41E-06	8.53E-15
166	6.45	2.33E-04	3.14E-18	20	1.57E-19	-2.13%	1.41E-06	8.53E-15
166	6.52	2.30E-04	3.08E-18	19	1.62E-19	1.32%	1.40E-06	8.52E-15
167	6.55	2.29E-04	3.04E-18	19	1.60E-19	0.01%	1.40E-06	8.52E-15
平均值			3.10E-18	19	1.60E-19	-0.30%		

动态法测量结果

油滴 1

U 提升 (V)	tg(s)	te(s)	Vg(m/s)	Ve(m/s)	q(C)	n	e(C)	误差	油滴半径 /m	K 值
260	10.83	13.41	1.39E-04	1.12E-04	1.62E-18	10	1.62E-19	1.38%	1.09E-06	8.33E-15
260	10.82	13.45	1.39E-04	1.12E-04	1.62E-18	10	1.62E-19	1.34%	1.09E-06	8.33E-15
262	10.85	13.37	1.38E-04	1.12E-04	1.61E-18	10	1.61E-19	0.53%	1.09E-06	8.32E-15
261	10.91	13.4	1.37E-04	1.12E-04	1.61E-18	10	1.61E-19	0.20%	1.09E-06	8.32E-15
262	10.92	13.35	1.37E-04	1.12E-04	1.60E-18	10	1.60E-19	-0.11%	1.08E-06	8.32E-15
平均值					1.61E-18	10	1.61E-19	0.67%		

油滴 2

U 提升 (V)	tg(s)	te(s)	Vg(m/s)	Ve(m/s)	q(C)	n	e(C)	误差	油滴半径 /m	K 值
296	9.5	14.1	1.58E-04	1.06E-04	1.62E-18	10	1.62E-19	1.03%	1.16E-06	8.38E-15
296	9.49	14.07	1.58E-04	1.07E-04	1.62E-18	10	1.62E-19	1.24%	1.16E-06	8.38E-15
296	9.49	14.16	1.58E-04	1.06E-04	1.62E-18	10	1.62E-19	0.98%	1.16E-06	8.38E-15
297	9.59	13.82	1.56E-04	1.09E-04	1.61E-18	10	1.61E-19	0.42%	1.16E-06	8.38E-15
297	9.56	13.91	1.57E-04	1.08E-04	1.61E-18	10	1.61E-19	0.51%	1.16E-06	8.38E-15
平均值					1.62E-18	10	1.62E-19	0.83%		

油滴 3

U 提升 (V)	tg(s)	te(s)	Vg(m/s)	Ve(m/s)	q(C)	n	e(C)	误差	油滴半径 /m	K 值
286	6.51	9.2	2.30E-04	1.63E-04	3.06E-18	19	1.61E-19	0.66%	1.40E-06	8.52E-15
287	6.43	9.31	2.33E-04	1.61E-04	3.08E-18	19	1.62E-19	1.23%	1.41E-06	8.53E-15
286	6.45	9.29	2.33E-04	1.61E-04	3.08E-18	19	1.62E-19	1.31%	1.41E-06	8.53E-15
286	6.52	9.24	2.30E-04	1.62E-04	3.05E-18	19	1.61E-19	0.31%	1.40E-06	8.52E-15
287	6.55	9.18	2.29E-04	1.63E-04	3.04E-18	19	1.60E-19	-0.29%	1.40E-06	8.52E-15
平均值					3.06E-18	19	1.61E-19	0.65%		

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: _____

动态法计算过程示例

以油滴1的第1组数据为例 记下落距离为 l , $l=1.5\text{mm}$
极板间距 $d=5\text{mm}$

$$U_{\text{提升}} = 260\text{V} \quad t_g = 10.8\text{s} \quad t_e = 13.4\text{s}$$

油滴下落时, 对油滴受力分析: $mg - F_f - F_r = 0$.

设油滴半径为 a , 密度为 ρ , 空气密度为 ρ' ,

$$\text{则 } F_f = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho' g, \quad F_r = 6\pi \eta a v_g. \quad \text{由 } \rho' \ll \rho,$$

$$\text{得 } a \approx \sqrt{\frac{9\eta v_g}{2g\rho}} \quad v_g = \frac{l}{t_g} = 1.39 \times 10^{-4} \text{m/s}$$

$$\text{又 } \rho = 981 \text{kg/m}^3 \quad \eta = 1.83 \times 10^{-5} \text{Pa}\cdot\text{s} \quad g = 9.801 \text{m/s}^2$$

$$\text{得 } a = 1.09 \times 10^{-6} \text{m}$$

油滴上升时,

$$mg + F_r - F_f - qE = 0.$$

同样忽略空气浮力等项, 可得

$$q = 18\pi \frac{d}{U_{\text{提升}}} \left(\frac{\eta^3}{2\rho g} \right)^{\frac{1}{2}} v_g^{\frac{1}{2}} (v_g + v_e)$$

$$v_e = \frac{l}{t_e} = 1.2 \times 10^{-4} \text{m/s} \quad \text{代入上式得}$$

$$q \approx 1.62 \times 10^{-18} \text{C}$$

据已知 m_e 的数值 ($e = 1.602 \times 10^{-19} \text{C}$)

$$\text{得电荷数 } n = \left[\frac{q}{e} \right] = 10$$

联系方式: _____

$$\text{测得 } e' = \frac{q}{n} = 1.62 \times 10^{-19} \text{C}$$

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: _____

$$\text{相对误差 } \varepsilon = \left| \frac{e' - e}{e} \right| = 1.38\%$$

$$K = \frac{18\pi}{\sqrt{\rho g}} \left(\frac{\eta L}{1 + \frac{b}{pa}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot d = 8.33 \times 10^{-15}$$

其余4个数据, 可同理计算.

最终由油滴1 ~~计算~~ 得到

$$q = 1.61 \times 10^{-18} \text{ C} \quad \eta = 10$$

$$e = 1.61 \times 10^{-19} \text{ C}, \quad \varepsilon = 0.67\%$$

同一个油滴两种方法测量结果的对比

可列出以下表格进行对比

		\bar{q}/C	\bar{n}	\bar{e}/C	$\bar{\varepsilon}$
油滴1	平衡法	1.66×10^{-18}	10	1.60×10^{-19}	-0.19%
	动态法	1.61×10^{-18}	10	1.61×10^{-19}	0.67%
油滴2	平衡法	1.62×10^{-18}	10	1.62×10^{-19}	0.86%
	动态法	1.62×10^{-18}	10	1.62×10^{-19}	0.83%
油滴3	平衡法	3.10×10^{-18}	19	1.60×10^{-19}	-0.30%
	动态法	3.06×10^{-18}	19	1.61×10^{-19}	0.65%

可见 ~~两种~~ 同一个油滴采用不同方法去测量, 所得的结果, 在考虑一定随机因素的情况下基本一致.

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: _____

思考题

1. 在实验过程中油滴运动轨迹不垂直地面的原因是什么?

1. 空气分子的碰撞: 空气分子做布朗运动, 随机撞击油滴, 导致其运动轨迹出现微小偏离

2. 电场不完全均匀

3. 油滴可能带有不垂直地面的初速度

4. 实验环境中的微小振动

2. 公式(26-10)和公式(26-11)中的电压 U 的定义有何联系和区别?

26-10中的 U 为实验中记录的 $U_{\text{提升}}$,

26-11中的 U 为实验中记录的 $U_{\text{平衡}}$

两者实质上都是由平行电极板产生的, ~~但是~~但是在实验仪器中, $U_{\text{提升}}$ 由 $U_{\text{平衡}}$ 经过某种关系而得出, 具体因仪器而异;
①二者在作用上也有一定区别, $U_{\text{提升}}$ 是为了使油滴上升, 而 $U_{\text{平衡}}$ 是为了让油滴维持静止不动的. 但本质上看, 施加 $U_{\text{提升}}$ 和 $U_{\text{平衡}}$ 均让油滴获得 Ve , 运动 te 到达指定位置. 前 $U_{\text{提升}}$ 不过 $U_{\text{平衡}}$ 时拉 $Ve=0$, $te \rightarrow \infty$ 而已.

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

序号: 18	张明友
时间: 2024年 10月 18日	
上午	下午 <input checked="" type="checkbox"/> 晚上

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: _____

油滴1

	$U_{平衡}$	t_g	$U_{提升}$	t_e
1	140 140	10.83	260	13.41
2	141	10.82	260	13.45
3	142	10.85	262	13.37
4	142	10.91	261	13.40
5	143	10.92	262	13.35

油滴2

	$U_{平衡}$	t_g	$U_{提升}$	t_e
1	176	9.50	296	14.10
2	176	9.49	296	14.07
3	176	9.49	296	14.16
4	177	9.59	297	13.82
5	177	9.56	297	13.91

油滴3

	$U_{平衡}$	t_g	$U_{提升}$	t_e
1	167 166	6.51	286	9.20
2	167	6.43	287	9.31
3	166	6.45	286	9.29
4	166	6.52	286	9.24
5	167	6.55	287	9.18

联系方式: _____

指导教师签字: _____