

浙 江 大 学

物 理 实 验 报 告

83

实验名称：密立根油滴实验

指导教师：刘才明

信 箱 号：18



【实验目的】

1. 测定电子的基本电荷量 e 的大小
2. 验证电荷的不连续性

【实验原理】（电学、光学画出原理图）

1. 静态平衡法

利用密立根油滴仪的喷雾器将油滴喷入两块相距为 d 的水平放置的平行带电平板之间，如右图1所示。油滴在喷雾时由于摩擦，一般都是带电的。设油滴的质量为 m ，带电荷量为 q ，两块平行带电平板之间的电压为 U 。调节板间的电压 U ，可使作用在油滴上的两个力达到动态平衡。即：

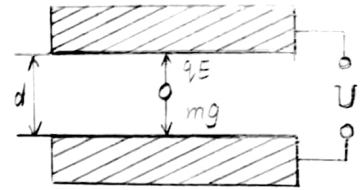


图 1

$$mg = qE = q \frac{U}{d} \quad \text{①}$$

2. 油滴质量 m 的测定

油滴在表面张力的作用下，一般总是呈小球状。设油的密度为 ρ ，某油滴的半径为 r ，则该油滴的质量 m 可表示为：

$$m = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho \quad \text{②}$$

平行板不加电压时，油滴受重力而加速下降，但由于空气对油滴的黏滞阻力 F 与油滴的速度 v 成正比，油滴下降一段距离达某一速度后阻力 F 与重力 mg 平衡，油滴将匀速下降。由斯托克斯定律得：

$$F = 6\pi r \eta v = mg \quad \text{③}$$

由②与③式得：

$$r = \sqrt{\frac{9\eta v}{2\rho g}} \quad \text{④}$$

对于半径小到 $10^{-6}m$ 的小球，斯托克斯定律应修正为：

$$F = \frac{6\pi r \eta v}{1 + \frac{b}{Pr}} \quad \text{⑤}$$

上式中， b 为修正系数， $b = 6.17 \times 10^{-6} m \cdot cmHg$ ， P 为大气压强，单位为 $cmHg$ 。

由③与⑤式得：

$$r = \sqrt{\frac{9\eta v}{2\rho g} \cdot \frac{1}{1 + \frac{b}{Pr}}} \quad \text{⑥}$$

在平行板未加电压时，测出油滴下降 L 长度时所用的时间 t ，即

$$v = \frac{L}{t} \quad \text{⑦}$$

将④与⑦代入⑥，即可得油滴质量。

3. 油滴所带电荷量及基本电量

由①②⑥⑦得

$$q = \frac{18\pi}{\sqrt{2\rho g}} \left[\frac{\eta L}{t(1 + \frac{b}{Pr})} \right]^{3/2} \frac{d}{U} \quad \text{⑧}$$

对于某一颗油滴，改变它所带的电荷量 q ，则能够使油滴达到平衡的电压必须是某些特定值 U_n ，

满足方程：

$$q = mg \frac{d}{U_n} = ne \quad \text{⑨}$$

上式中 $n = \pm 1, \pm 2, \dots$ ，而 e 则是一个不变的值

由此可见，所有带电油滴所带电荷量 q 都是最小电荷量 e 的整数倍，这就证明了电荷的不连续性。

且最小电荷 e 就是电子电荷量

$$e = q/n \quad \text{⑩}$$



【实验内容】（重点说明）

1. 调节仪器

- (1) 熟悉仪器的功能及各旋钮的使用和操作
- (2) 调节测量室固定板上的三个螺钉,使测量室处于水平状态,以保证电场与重力场平行

2. 练习油滴的选择和控制

- (1) 选择油滴。用喷雾器从喷雾孔喷入油滴,将油滴喷入两极板之间,调节显微镜,从显示屏上可以看见为数极多的小油滴在重力场的作用下运动,选择中等大小的带电油滴。
- (2) 练习控制油滴。将K2开关拨到“平衡”挡,调节“平衡电压”旋钮,使带电油滴在电场中运动,直到能控制带电油滴在视场中能上下往复运动为止。

3. 数据测量与获取

- (1) 将K2开关拨到“平衡”挡,调节“平衡电压”旋钮,观察显示屏,使带电油滴在屏上某点处于静止平衡状态,记录下屏幕右上角显示的平衡电压数值大小。
- (2) 将K2开关拨到“提升”挡,将带电油滴移至观察屏最上端水平线位置。
- (3) 将K2开关拨到“0V”挡,带电油滴在由上而下运动,选择一段进行计时(处于匀速运动时),记录下屏幕右上角显示的计时器读数 t 以及带电油滴在计时期间下降的空间距离 L 。
- (4) 多次测量同一油滴匀速下降的距离及其所用时间;也可用不同的多颗油滴再进行相同测量,记录数据。

4. 基本电荷量计算

利用上面的测量得到的油滴的电荷量计算基本电荷量,并验证不同油滴所带电荷量都是某一公约数(电子电荷)的倍数,记录处理数据

5. 整理数据并处理,进行误差分析

6. 整理实验仪器

【实验器材及注意事项】

1. 实验器材

	型号
密立根油滴仪	3213-CHA
显示器	

2. 注意事项

- ① 实验前应调节测量室至水平状态,以保证电场与重力场平行
- ② 选择测量用的油滴必须有适当的大小。若油滴太大,则它自由降落速度很快,不易测准时间。油滴太小,则自由降落速度很慢,也不易测准时间
- ③ 如果用“逐次相减法”一次相减看不出基本电荷的范围,可再进行一次“逐次相减法”,若有负值,则取其绝对值进行分析
- ④ 喷雾时喷雾器应竖拿,喷雾器对准油雾室的喷雾口,轻轻喷入少量油即可,切勿将喷雾器插入油室,甚至将油倒出来
- ⑤ 实验中,由于油滴盒上下电极间有高压产生,不要将油雾杯取下来,以防触电。
- ⑥ 实验完毕应立即切断电源,检查高压电源部分是否符合安全用电要求。



【数据处理与结果】

表 1

实验次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U/V	67	46	141	81	20	14	17	27	62	158
L/mm	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
t/s	50.00	41.35	47.87	24.90	82.48	47.77	46.54	29.32	19.54	43.78
$q_i/10^{-19}C$	3.13	6.18	1.59	7.85	4.67	16.10	13.80	18.10	15.00	1.64

上表中, q_i 由公式 $q = \frac{18\pi}{\sqrt{2\rho g}} \left[\frac{\eta L}{t(1+\frac{b}{P})} \right]^{1/2} \frac{d}{u}$ 和 $r = \sqrt{\frac{22V}{2\rho g}}$ 计算得到, 其中, u, L, V 为测量所得值, b 为修正系数, $b = 6.17 \times 10^{-6} m \cdot cmHg$, P 为大气压强, 单位为 $cmHg$ 。重力加速度 $g = 9.79 m/s^2$, 空气粘度系数 $\eta = 1.82 \times 10^{-3} N \cdot s/m^2$; 大气压强 $P = 1.013 \times 10^5 Pa$; 油密度 $\rho = 981 kg/m^3$, 平行板板间距离 $d = 5mm$ 。

表 2

序号 i	$q_i/10^{-19}C$	$\Delta q = (q_m - q_i)$	n	计算值	取整值	$e_i/10^{-19}C$
1	1.59	0.05		1.02	1	1.59
2	3.64	1.49		0.95	1	1.64
3	4.67 3.13	1.54		2.00	2	1.57
4	8.18 4.67	1.54		2.99	3	1.56
5	7.85 6.18	1.51		3.95	4	1.55
6	7.85	1.67		5.02	5	1.57
7	13.80	5.95		8.82	9	1.53
8	15.00	1.20		9.39	10	1.50
9	16.10	2.00		10.29	10	1.61
10	18.10			11.47	11	1.65

$\Delta \bar{q} = 1.56 \times 10^{-19} C$, 由此分别计算各组 e_i, n 。

$$\bar{e} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} e_i = 1.58 \times 10^{-19} C$$

$$U_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{10 \times 9} \sum_{i=1}^{10} (e_i - \bar{e})^2} = 0.02 \times 10^{-19} C$$

由于实验器未给允差, 故此次实验不计算 B 类不确定度

实验结果为 $e = (1.58 \pm 0.02) \times 10^{-19} C$

且电荷具有不连续性, 是基本电荷量的整数倍。



【误差分析】

取本实验所得 e 与理论值 e_0 相比, 计算其相对误差 $\Delta = \frac{|e - e_0|}{e_0} \times 100\% = 1.38\%$ 。

可知本次实验测得电荷量与理论值相差不大, 在正常范围内。

1. 在油滴测量过程中, 环境在发生变化, 如气压、黏度系数均发生变化, 桌面抖动等。
2. 在实验测量过程中, 油滴存在挥发, 油滴的质量并不是定值。
3. 在实验中忽略了油滴加速阶段, 均视为匀速运动, 造成时间测量误差。
4. 由于人在测量过程中读数的误差以及反应的时间差, 会对所测得的时间带来误差。
5. 实验仪器计量性能带来的误差, 在平衡时电压跳动、不稳定等。

【实验心得及思考题】

密立根油滴实验是一个设计非常巧妙, 操作要求较高的实验, 通过此次实验, 让我对密立根油滴实验有了进一步的认识和了解, 还学会了一种巧妙的数据处理方法。

“逐次相减法”作为一个探究性实验, 需要大量的实验数据, 一组同学共享数据才只有六七十组有效数据, 可见密立根在当年那样艰苦条件下获得上万组数据的不易。同时我们还要有挑选有用数据的能力, 以确保数据分析时的可靠性。在挑选数据时不仅要看看数据本身的误差大小, 还要分析数据前后关系是否正确, 提高数据的可靠性。

思考题:

1. 为了保证油滴匀速下降, 应先让其下降一段距离后再测量其时间, 同时在选取时应选取两极板的中间部分, 若太靠近上电极板, 小孔附近有气流, 电场也不均匀, 会影响测量结果。太靠近下电极板, 则测量完时间 t 后, 油滴容易丢失。
2. 所选取的油滴应大小质量适中, 且所带电荷不能过多, 应 $\leq 12e$ 。若油滴太大, 则它的自由降落速度很快, 不易测准时间。油滴太小, 则自由降落速度涨落很大, 也不易测准时间。
3. 在跟踪油滴时, 有时会变得模糊或消失, 这是由于平行板未水平, 电场力与重力不在同一直线上, 使油滴未垂直下落。在测量过程中, 我们应不断微调显微镜焦距, 跟踪油滴, 防止它消失, 并将仪器调水平。



【数据记录及草表】

表 1

实验次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U/V	67	46	14	17	141	81	20	27	32	62
L/mm	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
t/s	50.00	41.35	47.77	46.54	47.87	24.90	82.48	29.32	5.65	19.54
$q_1/10^{19}C$	3.13	6.18	1.61	1.38	1.59	7.85	4.67	1.81	1.91	1.50

教师签字:

(Handwritten signature)

