

一、预习报告

1. 实验综述

实验原理：油滴在静电场运动时，调节板间电压可以使得油滴的重力 mg 与电场力 qE 平衡，使其匀速运动。而当没有电场存在时，油滴随着速度增加受到粘滞阻力最终也能达到平衡，重力 $mg = \rho \frac{4}{3} \pi r^3 g$ ，粘滞阻力为 $6\pi\eta rv$ 。

平行板不加电压时，油滴加速下降，一段距离后达到某一速度而匀速下降。由斯托克斯定律联

立两式知： $r = \sqrt{\frac{9\eta v}{2\rho g}}$ 。对于粘滞系数进行修正得： $f = \frac{6\pi\eta rv}{1 + \frac{b}{pr}}$ 。修正常数 $b = 6.17 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{cm Hg}$ 。

P 为大气压强，单位为 cm Hg 。

由此可得油滴半径为 $r = \sqrt{\frac{9\eta v}{2\rho g} \cdot \frac{1}{1 + \frac{b}{pr}}}$ 。而对于计算中可近似将 $r = \sqrt{\frac{9\eta v}{2\rho g}}$ 代入即可。测量出匀速下

降的距离和时间，即可求出匀速速度 v 。最后综合以上公式可得电荷： $q = \frac{18\pi}{\sqrt{2\rho g}} \left[\frac{\eta L}{t \left(1 + \frac{b}{pr} \right)} \right]^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{d}{V}$

同时改变油滴电荷量时平衡电压 V 也在变化，且满足 $q = ne$ ， e 为一个不变的值。

实验方法：首先进行密立根仪的平衡调节，选择适当的电压和油滴大小。再从喷雾口将油滴喷入，调节 CCD 聚焦，显示油滴图形。调节显微镜使可从显示屏上看见较多小油滴运动，最后测量记录实验数据。添加电压时，则调节“平衡电压”旋钮，使得带电油滴可以在屏上某点处静止平衡，读取平衡电压值。

实验现象：通过改变密立根仪两板之间的电压大小，可以观察到油滴的不同运动，在平衡电压下，油滴保持静止或者匀速直线运动。

2. 实验重点

- (1) 学会推导油滴所带电荷值的计算公式，了解其计算原理。
- (2) 调节油滴时注意油滴大小适当，过大过小都不易于准确地测量时间。
- (3) 要使油滴仪处于水平状态，调节显微镜的焦距，使油滴清晰可见。
- (4) 通过逐差法处理实验数据并拟合曲线，分析元电荷所带的电荷量。

3. 实验难点

- (1) 实验过程中选取大小适中的油滴并控制其运动稳定不容易。
- (2) 测量油滴在电场中下降的时间和距离时准确度要求高，同时仪器精密度也会对测量结果造成影响。
- (3) 油滴在显微镜中的成像位置与实际位置存在一定的视差，且不同位置的油滴成像大小也略有不同，准确测量油滴运动的距离存在一定困难。

二、原始数据

序号	U/V	t/s	$q_i (\times 10^{-19} \text{C})$	误差 %
1	86	23.61	8.4	0.38
2	60	41.09	4.79	0.32
3	90	17.01	1.28	0.28
4	88	17.14	1.29	1.34
5	61	17.27	1.85	3.67
6	72	29.81	6.64	3.72
7	129	25.55	4.73	1.51
8	83	43.52	3.15	1.38
9	82	42.17	3.36	4.96
10	131	20.66	6.51	1.60

凤 2024/10

第1粒油滴数据 (静态法)						
	电压值V(V)	下落时间T(s)	电荷值q	电子数n	电子电荷值e	误差
第1次测量	86	23.61	8.4e-19	5	1.60e-19	0.38%
第2次测量	60	41.09	4.79e-19	3	1.59e-19	0.32%
第3次测量	90	17.01	1.28e-18	8	1.60e-19	0.28%
第4次测量	88	17.14	1.29e-18	8	1.62e-19	1.34%
第5次测量	61	17.27	1.85e-18	12	1.54e-19	3.67%
第6次测量	72	29.81	6.64e-19	4	1.66e-19	3.72%
第7次测量	129	25.55	4.73e-19	3	1.57e-19	1.51%
第8次测量	83	43.52	3.15e-19	2	1.57e-19	1.38%
第9次测量	82	42.17	3.36e-19	2	1.68e-19	4.96%
第10次测量	131	20.66	6.51e-19	4	1.62e-19	1.60%
平均值			8.16e-19	5	1.61e-19	0.54%

三、结果与分析

1. 数据处理与结果

方法一：根据实验数据记录可以绘制数据表（表一）如下，根据已知的元电荷量取整算出每个的电荷数，再由电荷数算出元电荷的量：

实验次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U / V	86	60	90	88	61	72	129	83	82	131
T / s	23.61	41.09	17.01	17.14	17.27	29.81	25.55	43.52	42.17	20.66
q / $\times 10^{-19}\text{C}$	8.40	4.79	12.8	12.9	18.5	6.64	4.73	3.15	3.36	6.51
n 计算值	5.25	2.99	8.00	8.06	11.56	4.15	2.96	1.97	2.10	4.07
n 取整	5	3	8	8	12	4	3	2	2	4
e / $\times 10^{-19}\text{C}$	1.68	1.60	1.60	1.61	1.54	1.66	1.58	1.58	1.68	1.63

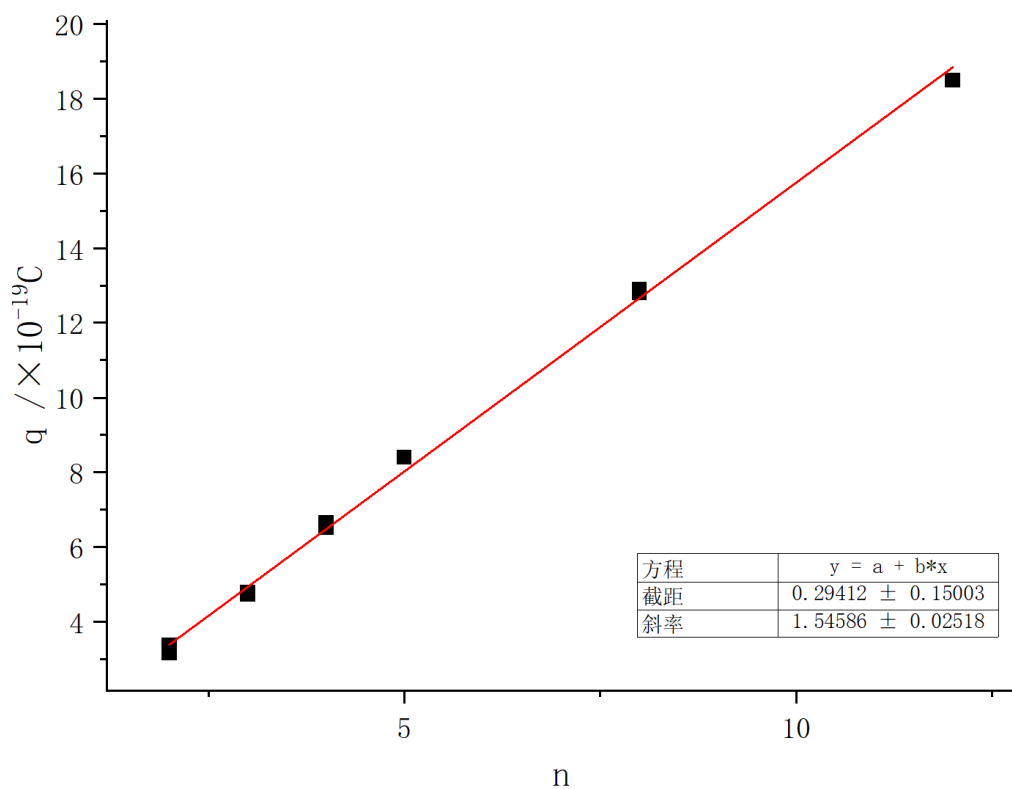
表一 测量计算基本电荷量

方法二：运用逐次相减法求基本电荷量，列出表格数据（表二）如下

序号	$q / \times 10^{-19} \text{C}$	$\Delta q = (q_{i+1} - q_i)$	n
1	3.15	0.21	2
2	3.36	1.37	2
3	4.73	0.06	3
4	4.79	1.72	3
5	6.51	0.13	4
6	6.64	1.76	4
7	8.40	4.40	5
8	12.8	0.10	8
9	12.9	5.60	8
10	18.5		12

表二 逐次相减法分析数据

根据 Δq 的值以及逐次做差的电荷差总数为 10，可粗略算得基本电荷估计值 $e = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^9 \Delta q = 1.70 \times 10^{-19} \text{C}$ 。尝试对以上 10 组数据进行线性拟合如图（图一）



图一 电荷量与电荷数线性拟合图

根据拟合斜率可知基本电荷估计值 $e = 1.54 \times 10^{-19}C$ ，误差较大，但验证了油滴所带的电荷量与电荷数之比为某个常数。

最后对方法一再进行详细分析可知：对计算所得有 $\bar{e} = \frac{\sum_{i=1}^{10} e_i}{10} = 1.62 \times 10^{-19}C$ ，计算不确定度为 $u_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (e_i - \bar{e})^2}{10 \times 9}} = 1.46 \times 10^{-21}$ 因此 e 的计算结果为 $e = (1.62 \pm 0.01) \times 10^{-19}C$ ，与实际值 $e_0 = 1.60 \times 10^{-19}C$ 相比，误差为 $E_r = \frac{|e - e_0|}{e_0} = 1.25\%$

2. 误差分析

- 1) 实验中油滴始终处于运动状态，平衡后也会有微小扰动，对时间的测量造成误差。
- 2) 实验中油滴的选择难以把控，有的油滴大或小对实验都会带来不同程度误差。
- 3) 油滴仪中两板之间产生的电压处在一定的波动状态，较难调节油滴完全平衡。
- 4) 随着实验的进行和多次油滴的加入，观察到整体油滴下降速度减缓，可能是密闭环境气压增大或者悬浮油滴增加空气的粘滞系数，导致其难以正常下降。
- 5) 实验中有许多带电的油滴之间存在相互作用未考虑，但实际上也会产生影响。
- 6) 实验过程中外界空气流动也有可能对油滴运动造成波动影响。

3. 实验探讨

本次实验通过两种情况对带电油滴进行分析，再推导得到电荷的计算公式，这让我对公式的理论推导有了更深的了解。同时实验中对油滴的反复选取和判断让我对物理实验精确性有了深刻认识，同时在误差来源分析方面也有了新的思考。

四、思考题

1、在测量油滴匀速下降一段距离 L 所得时间 t 时，应选择哪段 L 最合适？为什么？

答：应该选择较长一段距离，本次实验中选择下降 6 格的距离。因为如果选择的距离太短油滴下降到匀速运动存在一段时间差，从而导致时间测量误差较大。而较大的下降距离可以尽量减小这段时间带来的误差影响。当然下降距离也不应过长，否则可能会受环境因素持续影响，如空气的流动等。

2、何谓合适的待测油滴？如何选择？

答：待测油滴应大小适中且带电量适中，否则测量易受环境因素干扰产生较大误差。选

择时应先观察油滴在 50~150V 的电压之间是否能几乎保持平衡或者极缓慢运动，再将电压瞬时调节为 0，寻找并观察向下运动的油滴，选取向下运动速度均匀且适中的油滴。同时尽量选取仅在竖直方向运动的油滴，避免选择侧向运动的油滴。

3、对油滴进行跟踪测量时，有时油滴逐渐变得模糊，为什么？应如何避免在测量途中丢失油滴？

答：可能是油滴选择太小，易受环境中气流微弱的扰动而产生空间中其他方向的速度；亦或者是选择的油滴本身在喷入时产生了侧向的分速度，在跟踪观察过程中油滴偏离了显微镜聚焦的平面，因此看起来较模糊。为了避免油滴丢失，实验中应仔细跟踪观察的油滴防止离开视线之外，同时可以适当调节显微镜聚焦使油滴始终处于观察清晰的状态。