



# 3.1 密立根油滴仪测量 电子电量



## 实验简介



密立根 (1868 ~ 1953 )

美国物理学家密立根  
( **R. A. Millikan** ) 在  
**1909 ~ 1917年**期间设计  
并完成了密立根油滴实  
验，在近代物理学的发展  
上是一个十分重要的  
实验。



密立根对带电油滴在静电场中的运动进行了详细的研究和实验，测出基本电荷值，明确了带电油滴所带的电荷都是基本电荷的整数倍，用实验的方法，证实了电荷的量子化，为物理学的发展

密立根（1868~1953）作出了卓越贡献。

密立根由于取得了测定电子电荷和借助光电效应测出普朗克常数等成就，荣获1923年的诺贝尔物理学奖。



## 实验目的

1. 掌握用密立根油滴仪测量电子电量的方法。
2. 验证电荷的量子化，并用“倒算法”求出所测定的电子电荷值。

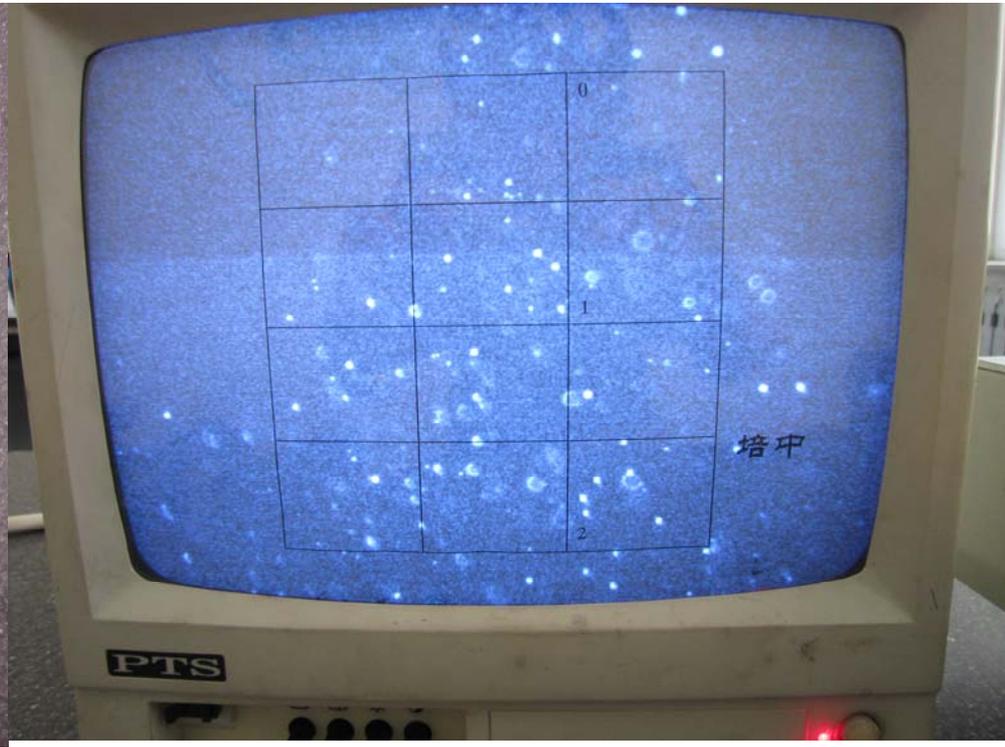


## 实验仪器

1. 密立根油滴仪（油滴盒装置，测量显微镜和 CCD 图像显示系统，电源； $\Delta_{\text{显示}} = 0.01 \text{ mm}$ ， $\Delta_{\text{电压}} = 1 \text{ V}$ ， $\Delta_{\text{计时}} = 0.1 \text{ s}$ ）；
2. 喷雾器；
3. 实验用油等。



# 密立根油滴仪结构图





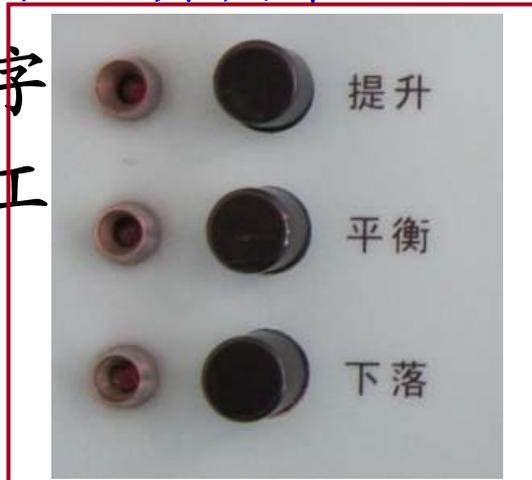


## MOD-5型油滴仪电源部分提供4种电压：

1. 500V直流工作电压，接平行极板，使两极板间产生电场。

该电压可连续调节，电

压值从数字  
并受三档工  
关控制。





## MOD-5型油滴仪电源部分提供4种电压：

“平衡”档：提供极板平衡电压；

“下落”档：除去平衡电压，  
使油滴自由下落；

“提升”档：是在平衡电  
压上叠加了一个200V左  
右的提升电压，将油滴  
从视场的下端提升上  
来，以作再次测量。





**MOD-5型油滴仪电源部分提供4种电压：**

- 2. 200V左右的提升电压。**
- 3. 5V的数字电压表、数字计时器、发光二极管等的电源电压。**
- 4. 12V的CCD电源电压。**

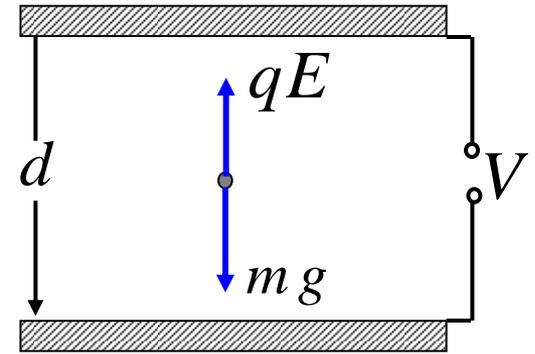


## 实验测量原理

用喷雾器将油滴喷入两块相距为 $d$ 的水平放置的平行板之间，由于喷射时的摩擦，油滴一般带有电量 $q$ 。如果平行板间加有电压 $V$ ，平行板间电场为 $E$ 。则，油滴受力为：

$$\text{重力: } f_p = mg$$

$$\text{电场力: } f_e = qE = qV / d$$

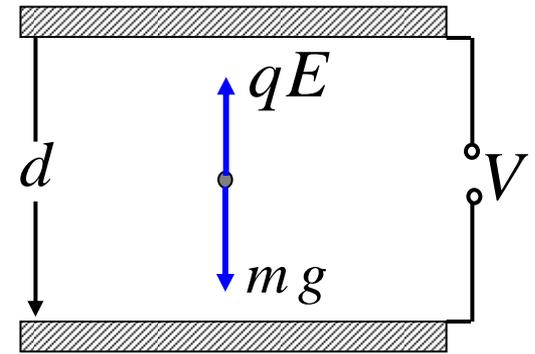




调节电压  $V$ ，使：
$$mg = \frac{qV}{d}$$

有：

$$q = \frac{mgd}{V}$$



此时电压  $V$  称为平衡电压，其值可由油滴仪面板上的数字电压表读出。

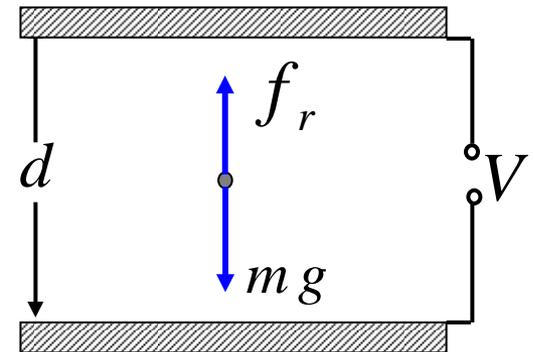
实验室给出  $d=0.500\text{cm}$

如果测出油滴质量  $m$ ，就能得到油滴所带的电量。由于质量  $m$  很小 ( $10^{-15}\text{kg}$ )，因此采用下述方法测量。



去除两个极板之间的电压，呈小球状（表面张力作用）的微小油滴在重力作用下加速下降，随着下降速度的增加，油滴受到的空气粘滞阻力也在逐渐增大。

$$f_r = 6\pi r \eta' v$$



上式称为斯托克斯公式，其中  $\eta'$  为空气黏滞系数； $r$  为油滴半径；

当重力和黏滞力相等时，油滴以速度  $v$  匀速下落，

有：

$$mg = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g = 6\pi r \eta' v$$



$$mg = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g = 6\pi r \eta' v$$

式中速度 $v$ 等于油滴匀速下降的距离与经过这段距离所需时间的比值，即： $v = l / t$

式中 $\eta'$ 是对通常空气黏滞系数 $\eta$ 的一种近似修正

$$\eta' = \frac{\eta}{1 + \frac{b}{pr}}$$

$b$ 是修正常数， $p$ 是大气压强，由此可得油滴质量为：



油滴质量为:

$$m = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho = \frac{4}{3} \pi \left[ \frac{9\eta l}{2\rho g t} \cdot \frac{1}{1 + b/(pr)} \right]^{\frac{3}{2}} \rho$$

代入到:

$$q = \frac{mgd}{V}$$

得, 油滴所带电量为:

$$q = ne = \frac{18\pi}{\sqrt{2\rho g}} \left( \frac{\eta l}{t[1 + b/(pr)]} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{d}{V}$$



$$q = ne = \frac{18\pi}{\sqrt{2\rho g}} \left( \frac{\eta l}{t[1 + b/(pr)]} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{d}{V}$$

代入常数

$$\rho = 981 \text{ kg/m}^3 \qquad \eta = 1.83 \times 10^{-5} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$$

$$g = 9.80 \text{ m/s}^2 \qquad b = 6.17 \times 10^{-6} \text{ m}\cdot\text{cmHg}$$

$$p = 76.0 \text{ cmHg} \qquad d = 5.00 \times 10^{-3} \text{ m}$$

油滴所带电量为：

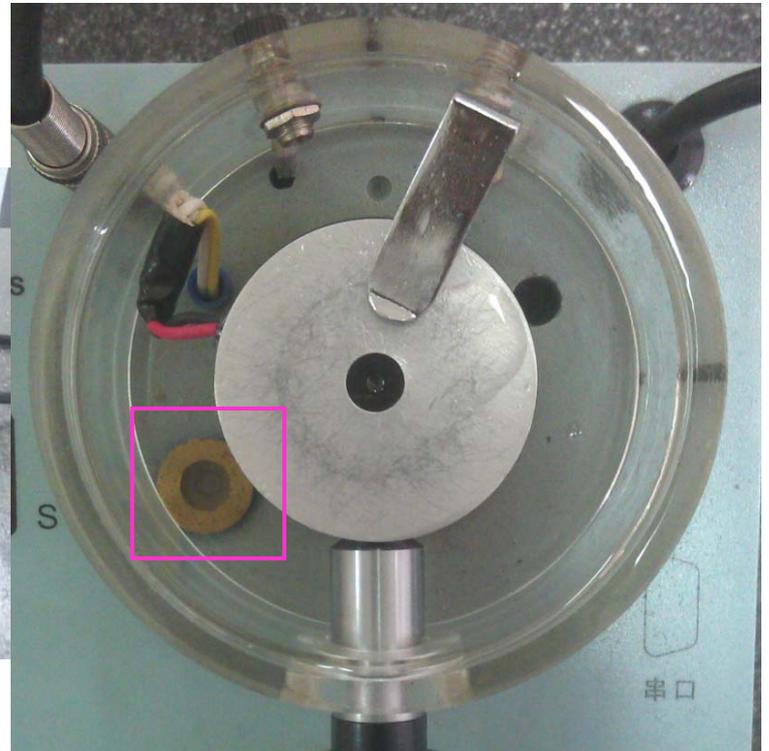
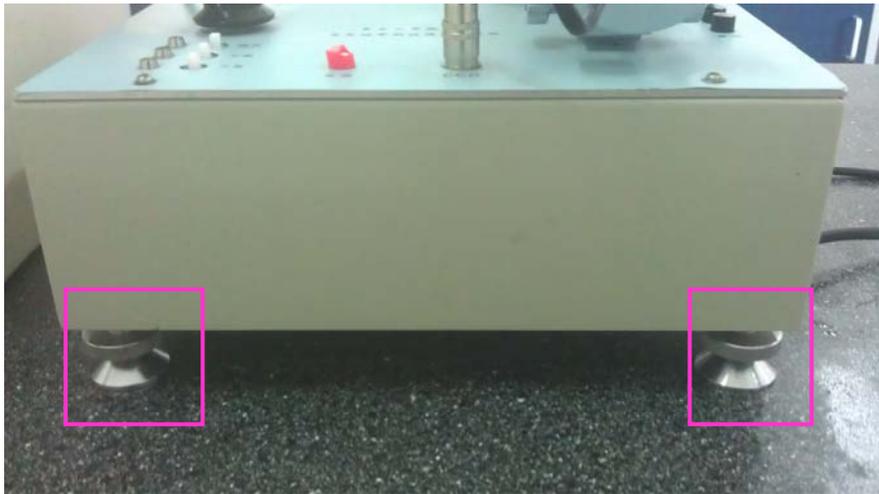
$$q = \frac{1.60 \times 10^{-10} \times l^{3/2}}{\left[ t \left( 1 + 8.76 \times 10^{-4} \sqrt{t/l} \right) \right]^{3/2}} \cdot \frac{1}{V_n}$$



## 实验内容与数据处理

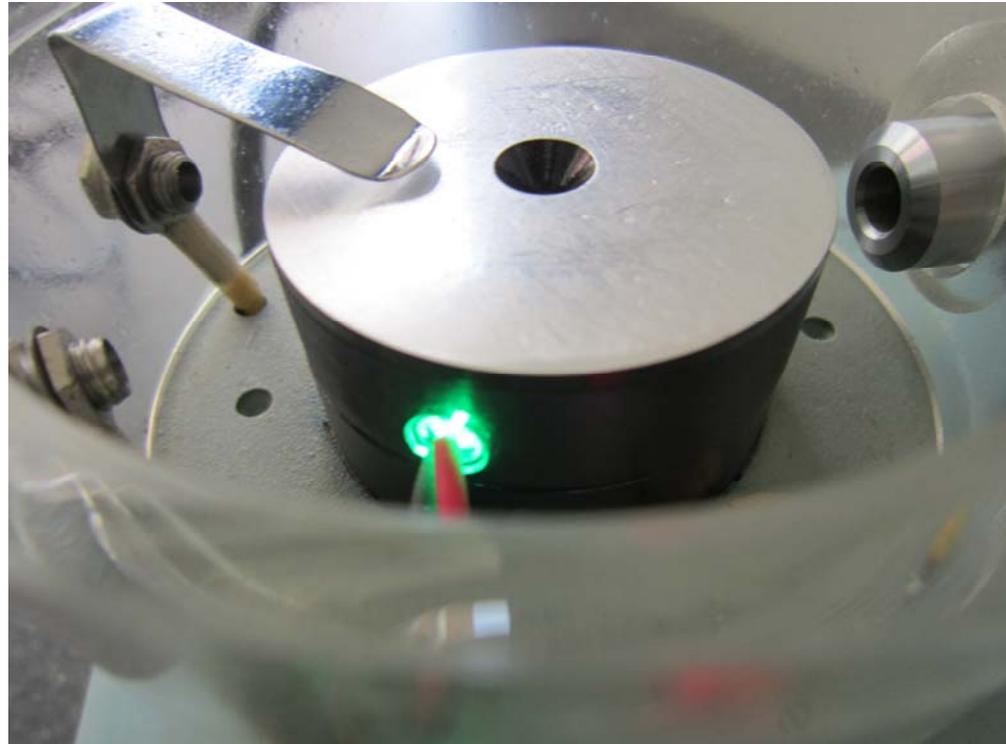
### 1. 油滴仪的调节

(1) 调节油滴仪底部两个螺丝使水准仪气泡居中，此时油滴仪水平。





- (2) 取下油雾室，检查绝缘环及上电极板是否放平稳，上电极板压簧是否和上电极板接触良好并将其压住。打开监视器和油滴仪的电源开关。





(3) 将工作电压选择开关置于“下落”，此时两电极板间电压为零，油滴易喷入。





## 2. 油滴观察与运动控制

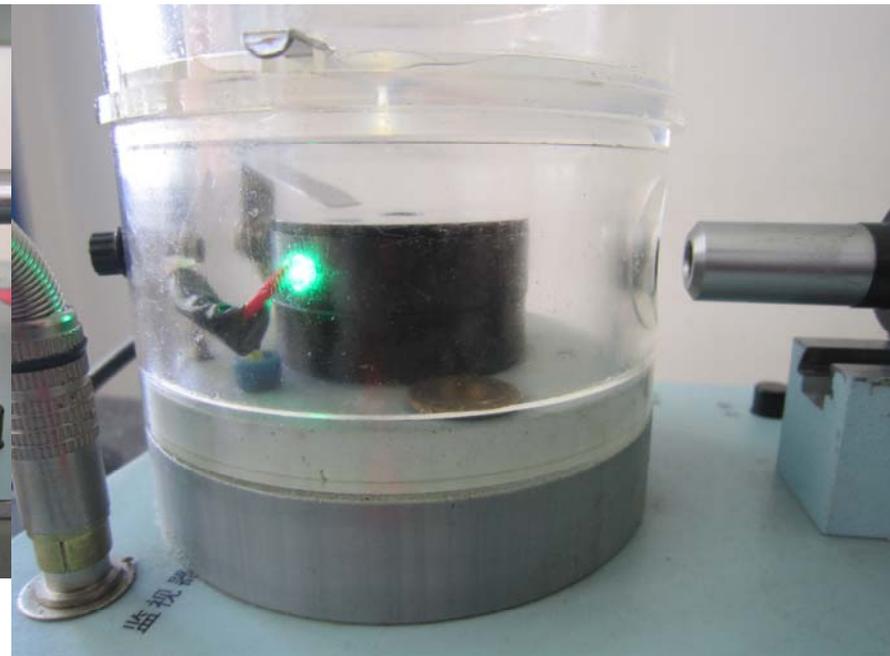
### (1) 练习控制油滴

竖拿喷雾器，对准油雾室的喷雾口喷入油滴（喷一下即可），推上油雾孔的开关，以免油滴受风力影响而不在竖直方向运动。



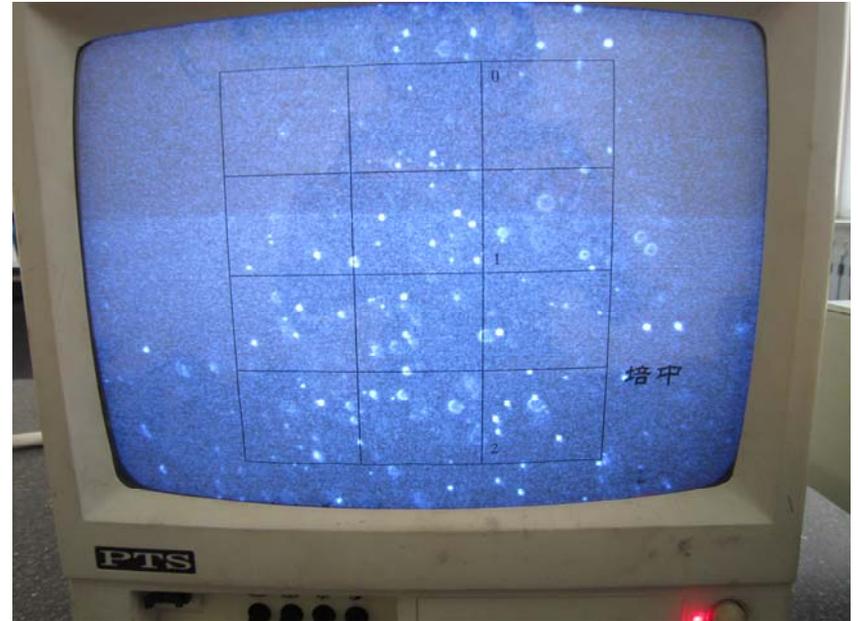


微调显微镜的调焦手轮和监视器屏下方的旋钮，直至在监视器上看到繁星般的明亮油滴。如果视场不够明亮，或视场上下亮度不均匀，可调整发光二极管的方向使视场和油滴清晰明亮。





将电压开关拨到“平衡”位置，加250V左右的电压，观察油滴的运动。选择一颗清晰的油滴（不宜太大）。



调整工作电压大小，使油滴保持静止；其后对此颗油滴反复进行“平衡”、“提升”、“下落”、“计时”等操作，以便熟练控制油滴。



## (2) 练习选择油滴

油滴的选择是本实验的关键。油滴选择不宜太大，否则误差大；也不宜太小，太小的油滴不易观察。

可选择平衡电压为200~300V，匀速下落2mm(显示器上4个格)所用时间约为20s的油滴作为待测对象较好。



### 3. 测量油滴的平衡电压和下落时间

分别找到三颗合适的油滴，对每颗油滴的平衡电压和下降时间分别进行6次测量，而且每次测量都要重新调整平衡电压，并记录此电压值。将数据记录在表3-1中，

**注意：**所选油滴的平衡电压和下降速度应该有区别，否则所有油滴都带有相同电荷，无法验证电荷的不连续性。



表 3-1 实验测量数据

序数	油滴 1		油滴 2		油滴 3	
	$V_{n1} / \text{V}$	$t_1 / \text{s}$	$V_{n2} / \text{V}$	$t_2 / \text{s}$	$V_{n3} / \text{V}$	$t_3 / \text{s}$
1						
2						
3						
4						
5						
6						
平均值	$\bar{V}_{n1} =$	$\bar{t}_1 =$	$\bar{V}_{n2} =$	$\bar{t}_2 =$	$\bar{V}_{n3} =$	$\bar{t}_3 =$
电量	$\bar{q}_1 =$		$\bar{q}_2 =$		$\bar{q}_3 =$	



## 4. 数据处理

处理方法：“倒算法”

用公认的电子电荷值 $e$ 去除实验测得的电量 $q$ ，得到很接近于某一个整数的数值（如果和整数相差很大，则应舍去），

$$n_1 = \frac{q_1}{e} \quad n_2 = \frac{q_2}{e} \quad n_3 = \frac{q_3}{e}$$

取其整数： $[n_1]$ 、 $[n_2]$ 和 $[n_3]$

这个整数就是油滴所带的基本电荷数目。



用取整后的 $[n_1]$ 、 $[n_2]$ 、 $[n_3]$ 分别去除实验测得的电量，即得电子的电荷值 $e$ ，即：

$$e_1 = \frac{q_1}{[n_1]} \quad e_2 = \frac{q_2}{[n_2]} \quad e_3 = \frac{q_3}{[n_3]}$$

求出 $e$ 的平均值  $\bar{e} = \frac{e_1 + e_2 + e_3}{3}$

将所测电子电量与公认值比较计算出相对误差。

$$E_r = \left| \frac{\bar{e} - e_{\text{真实值}}}{e_{\text{真实值}}} \right| \times 100\%$$



## 注意事项

1. 喷雾器的油不可装太满，否则会喷出很多“油”，而不是“油雾”，堵塞上电极的进油孔。
2. 注意及时平衡，不要丢失跟踪的油滴。在不加平衡电压时，若油滴的下落轨迹是斜线，应转动显微镜目镜，使其竖直下落。
3. 因平行极板上带有较高电压，实验中严禁触摸电极板。



## 注意事项

4. 检查上电极板和绝缘环有没有放平整，有没有翘起来，否则油滴所受的电场力和重力不在一条直线上，油滴就要漂移。
5. 实验完毕，应将油滴仪外盖复位。



## 思考题

1. 未加电压情况下，一个油滴下落极快或极慢的原因是什么？对测量带来什么影响？
2. 观察中发现油滴形象变模糊，是什么问题？为什么会发生？如何处理？
3. 若平行极板不水平，对测量有何影响？
4. 在平衡滴电量 $q$ 的测量转化为哪些量的测量？在测量时平行极板上是否加电压？平行极板上何时加电压？