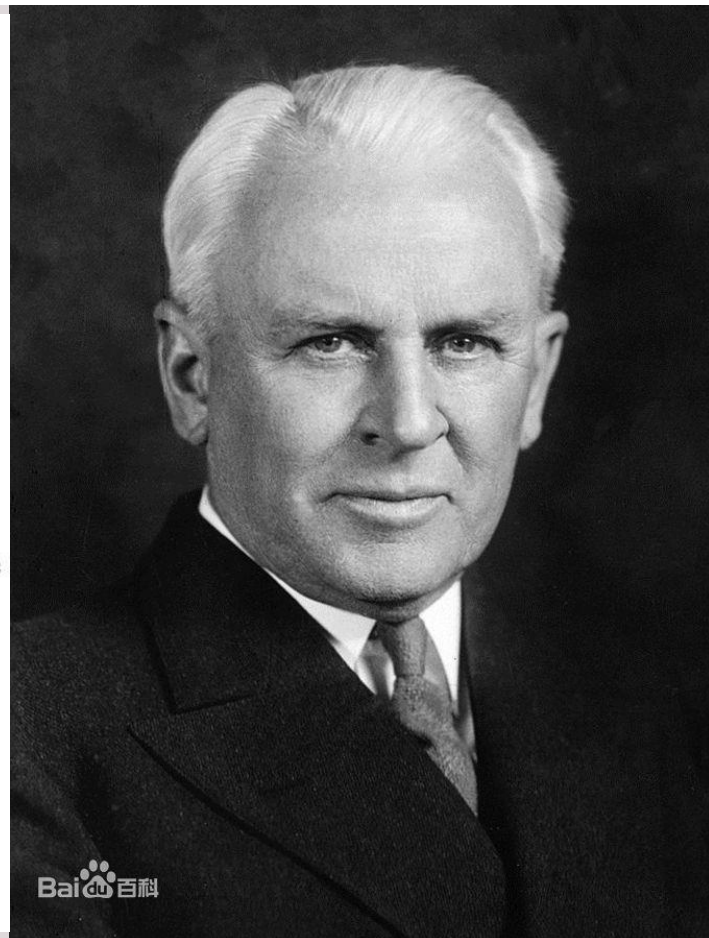
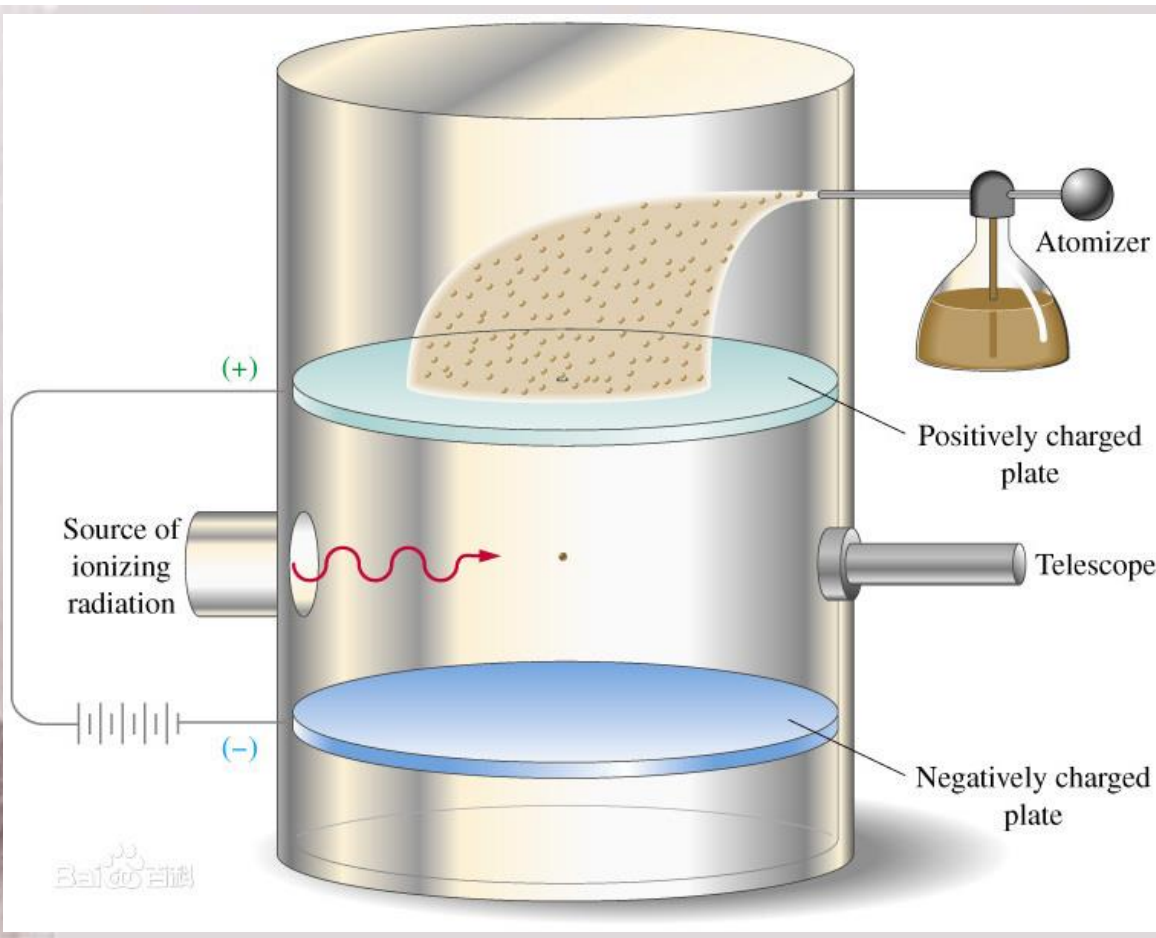


十大最美物理实验之一

密立根油滴实验



Robert A. Millikan.

杰出的美国物理学家密立根在1909年至1917年所做的测量微小油滴所带的电荷的工作，即油滴实验，是物理学史上具有最重要意义的实验。Millikan 在这一实验工作中花费了近 10 年的心血，取得了具有重大意义的结果，那就是：

(1)证明电荷的不连续性(具有粒子性)，所有电荷都是基本电荷 e 的整数倍。

(2)测量并得到了基本电荷，即为电子电荷 e 。

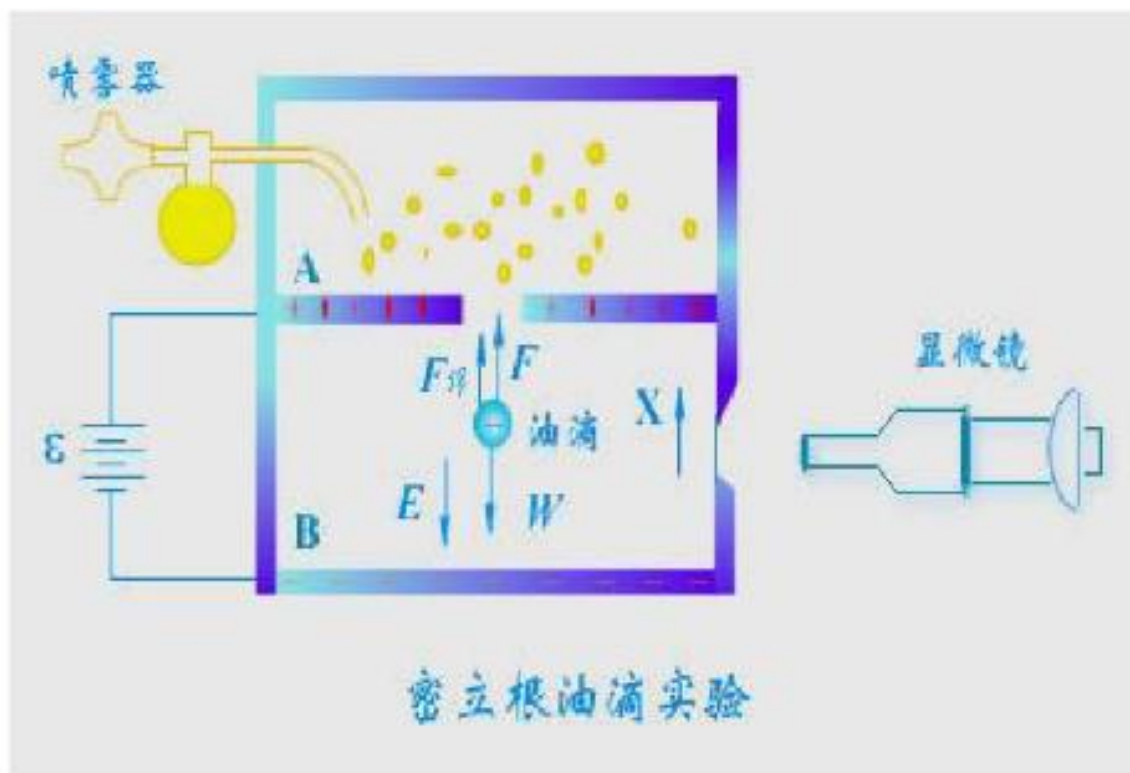
目前给出的最好结果为：

$$e=(1.60217731\pm0.000000049)\times10^{-19}\text{库仑}。$$

1923年，密立根 “因测量基本电荷和研究光电效应” 获诺贝尔物理学奖

基本原理

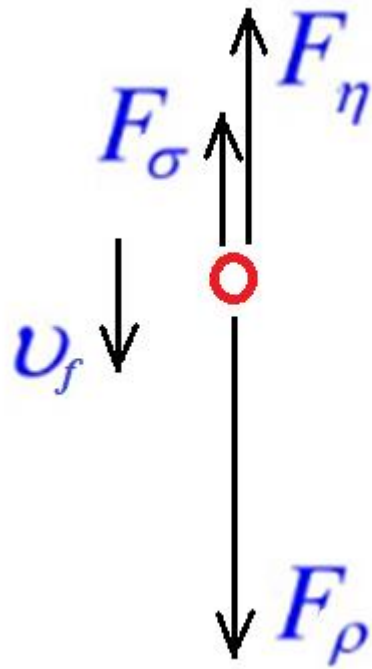
通过带电油滴在电场和重力场中受力和运动情况，测定基本电荷的电量。



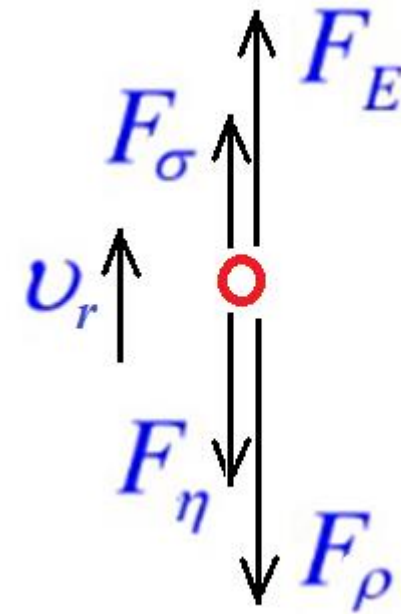
油滴带电过程：正负
受力：重力，浮力，
粘滞力，电场力。
运动情况：匀速
干扰：气流
观察：显微镜

测量油滴的两个方法：动态法和静态法

1、动态法



重力场中油滴匀速
向下运动时受力



电场中油滴匀速
向上运动时受力

重力 $F_{\rho} = \rho g V = \rho g \frac{4}{3} \pi r^3$, 电场力 $F_E = Eq$,

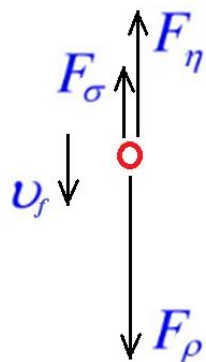
浮力 $F_{\sigma} = \sigma g V = \sigma g \frac{4}{3} \pi r^3$, 粘滞力 $F_{\eta} = 6\pi\eta\upsilon r$,

g -重力加速度, ρ -油滴密度, σ -空气密度,

E -电场强度, q -油滴带电量, r -油滴半径,

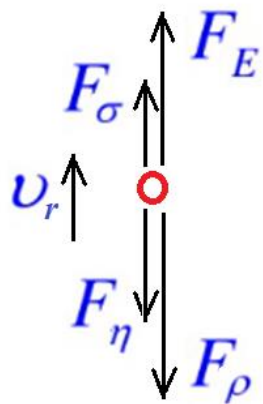
η -空气对小液滴的粘滞系数, υ -油滴的运动速度

重力场中油滴匀速向下运动时受力



$$F_\eta = F_\rho - F_\sigma$$
$$\Rightarrow 6\pi r v_f \eta = \frac{4}{3} \pi r^3 (\rho - \sigma) g \quad (1)$$

电场中油滴匀速向上运动时受力



$$F_E = F_\eta + F_\rho - F_\sigma$$
$$\Rightarrow Eq = 6\pi r v_r \eta + \frac{4}{3} \pi r^3 (\rho - \sigma) g \quad (2)$$

$$\text{解(1)(2)} q = \frac{9\sqrt{2}\pi}{E} (v_r + v_f) \eta \sqrt{\frac{\eta v_f}{(\rho - \sigma) g}} \quad (3)$$

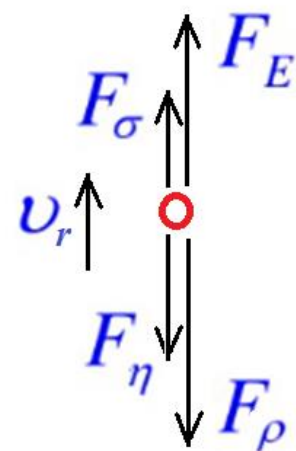
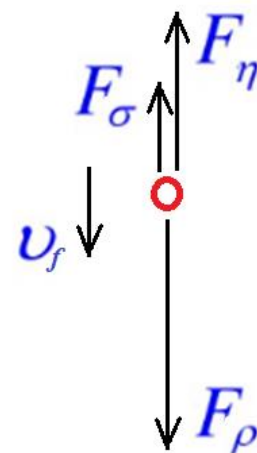
$$q = \frac{9\sqrt{2}\pi}{E} (v_r + v_f) \eta \sqrt{\frac{\eta v_f}{(\rho - \sigma)g}}$$

2、静态法

油滴在电场中静止, $v_r = 0$

$$q = \frac{9\sqrt{2}\pi}{E} \sqrt{\frac{(\eta v_f)^3}{(\rho - \sigma)g}} \quad (4)$$

式中 $E = \frac{U}{d}$, $v_f = \frac{\Delta \ell}{\Delta t}$, ρ, σ, g 为常量



关于粘滞系数修正：

斯托克斯定律：粘滞流体对球形运动物体的阻力（粘滞力）与物体速度成正比

$$F_{\eta} = 6\pi\eta r v$$

由于油滴的大小在微米数量级，与空气分子的间隙相当，空气已不能看成是连续介质，其粘度系数 η 需作相应的修正：

$$\eta' = \frac{\eta}{1 + \frac{b}{pr}} \quad (4)$$

此处 p 为空气压强， b 为修正常数， $b=0.00823\text{N/m}$

$$q = \frac{9\sqrt{2}\pi}{E} \sqrt{\frac{1}{(\rho - \sigma)g} \left(\frac{\eta v_f}{1 + \frac{b}{pr}}\right)^3} \quad (5)$$

$$6\pi r v_f \frac{\eta}{1 + \frac{b}{pr}} = \frac{4}{3} \pi r^3 (\rho - \sigma) g$$

$$\Rightarrow 6\pi r_0 v_f \eta \approx \frac{4}{3} \pi r_0^3 (\rho - \sigma) g \Rightarrow r_0 = \sqrt{\frac{9v_f \eta}{2(\rho - \sigma)g}} \quad (6)$$

$$q \approx 9\sqrt{2}\pi \frac{d}{U} \sqrt{\frac{1}{(\rho - \sigma)g} \left[\frac{\eta \Delta \ell}{(1 + \frac{b}{pr_0}) \Delta t}\right]^{3/2}} \quad (7)$$

数据处理时所需要的参数值如下：

以上各式中的有关参考数据为：

油密度 $\rho = 981 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

空气密度 $\sigma = 1.29 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3} (20^\circ\text{C})$

重力加速度 $g = 9.79 \text{m/s}^2$

空气粘滞系数 $\eta = 1.832 \times 10^{-5} \text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s}) (23^\circ\text{C})$

平行板间距 $d = 5.00 \times 10^{-3} \text{m}$

修正系数 $b = 8.23 \times 10^{-3} \text{N/m}$

大气压 $P = 1.013 \times 10^5 \text{N/m}^2$

取 $\Delta l = 2.00 \text{mm}$ $r_0 = \sqrt{\frac{9\nu_f\eta}{2(\rho - \sigma)g}}$

$$q \approx 9\sqrt{2}\pi \frac{d}{U} \sqrt{\frac{1}{(\rho - \sigma)g}} \left[\frac{\eta\Delta\ell}{(1 + \frac{b}{pr_0})\Delta t} \right]^{3/2}$$

仪器介绍

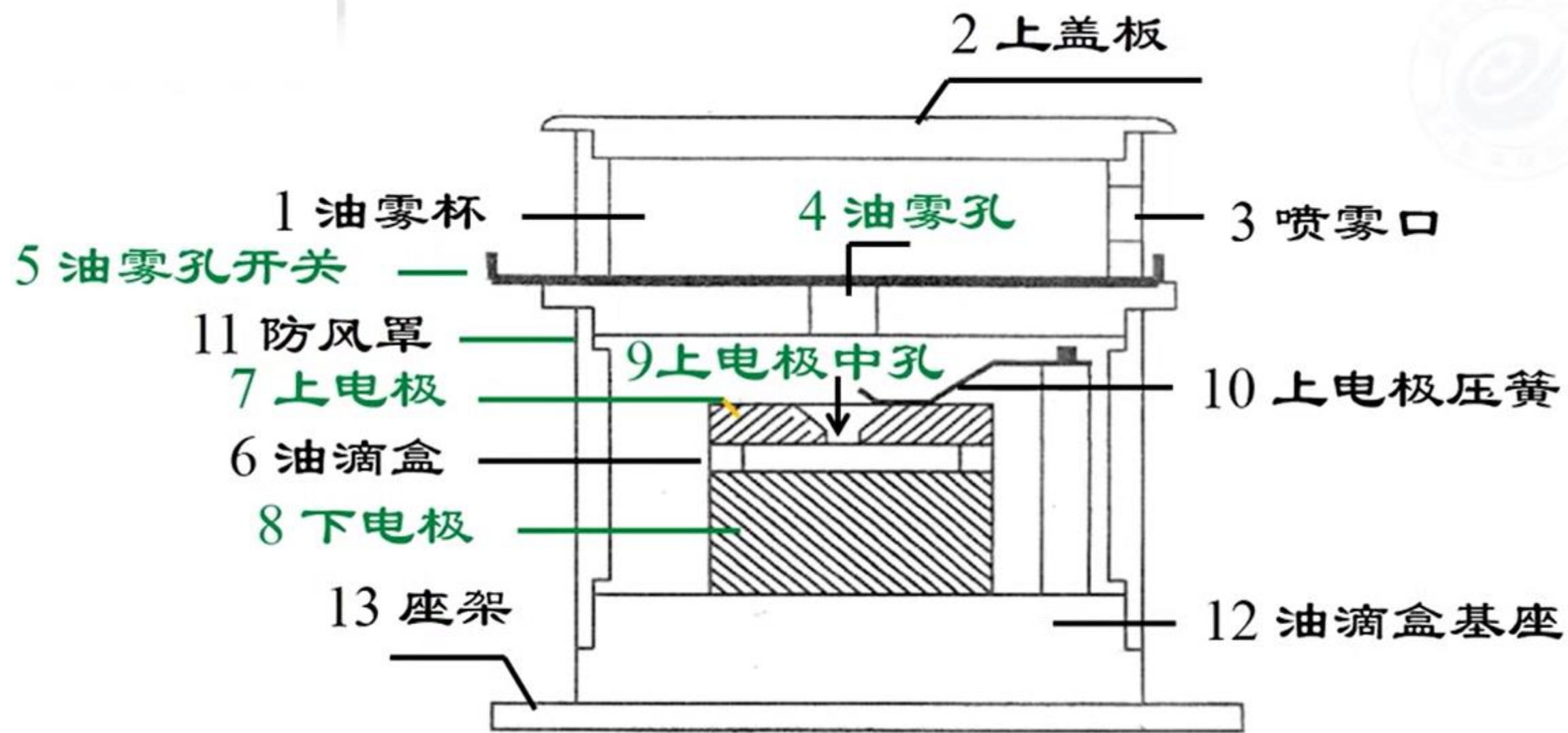


油滴设备 (1909-1910)



本实验用油滴仪器







“逐次相减法”求基本电荷量

$$e=\frac{q}{n}$$

举例说明

序号 <i>i</i>	<i>q_i</i> (×10 ⁻¹⁹ C)	$\Delta q = (q_{i+1} - q_i)(\times 10^{-19} \text{ C})$	<i>n</i>		<i>e_i</i> (×10 ⁻¹⁹ C)
			计算值	取整数	
1	3.07	1.55	1.98	2	1.54
2	4.62	0.01	2.98	3	1.54
3	4.63	0.10	2.99	3	1.54
4	4.73	1.56	3.05	3	1.58
5	6.31	1.51	4.07	4	1.58
6	7.82	1.28	5.05	5	1.56
7	9.10	0.28	5.87	6	1.52
8	9.38	0.26	6.05	6	1.56
9	9.64	3.96	6.22	6	1.61
10	13.60		8.90	9	1.51

注意事项:

- 1、油滴大小的选取。
- 2、电压约取200V左右。
- 3、显示屏每一小格为：0.25mm,取 $\Delta l = 2.00\text{mm}$ 。
- 4、用静态法做，测量10带电量相接近的油滴，方便数据处理。
- 5、动态法不要求，可选做。
- 6、上极板电压取+

思考:

- 1、为什么油滴一开始就可以作为匀速运动?
- 2、粘滞系数修正的必要性?
- 3、这种逐次相减法优点? 其他方法?
- 4、计算是否可以编个小程序?
- 5、提高测量精度的方法?