

密立根油滴实验测定电子电荷的基本设计思想是使带电油滴在测量范围内处于受力平衡状态，可以选择动态(非平衡)测量或者静态(平衡)测量法进行实验。

动态(非平衡)测量法测油滴电荷

用喷雾器将油滴喷入两块相距为 d ，水平放置的平行极板之间，如图一所示，油滴在喷射时由于摩擦，一般都是带电的。设油滴的质量为 m ，所带的电荷量为 q ，两极板的电压为 V ，为了测出油滴所带的电荷量 q ，除了测量 V 和 d 之外，还需要测定油滴的质量 m 。由于 m 很小，需要通过如下的方法来测定。

平行极板未加电压时，油滴受重力的作用而加速下降，但空气黏性对油滴所产生的阻力与速度成正比，油滴下降达到某一速度 v 后，阻力与重力平衡(空气浮力忽略不计)，油滴将匀速下降，由斯托克斯定律知， $F_r = 6\pi\eta av = mg$ ，其中 η 是空气的黏度， a 是油滴的半径(由于表面张力的原因，油滴

总是呈小球状)。设油滴的密度为 ρ ，则油滴的质量 $m = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho$ 。代入，得 $a = \sqrt{\frac{9\eta v}{2\rho g}}$ 。

对于半径小到 10^{-6}m 的小球，油滴半径接近于空气分子间孔隙的大小，空气介质不能再认为是均匀的，而斯托克斯定律只能对均匀介质才成立，因而斯托克斯定律应修正为 $F_r = \frac{6\pi a\eta v}{1 + \frac{b}{pa}}$ ，式中 $b = 4.629 \times 10^{-9}\text{cm} \cdot \text{Hg}$ 为修正常数， p 为大气压强，单位为 Pa。修正后的油滴半径

$$a' = \sqrt{\frac{9\eta v}{2\rho g(1 + \frac{b}{pa})}}.$$

上式根号中还包含油滴的半径 a ，处于修正项中，不需要十分精确，故仍可用此式计算。代入，得

$$m = \frac{4}{3}\pi\rho \left(\frac{9\eta v}{2\rho g(1 + \frac{b}{pa})} \right)^{\frac{3}{2}}.$$

当平行极板加电压 V 时，油滴处于场强为 E 的静电场中，设油滴所受电场力 qE 与重力 mg 相反，如图二所示。油滴受到电场力的作用加速上升，由于存在空气阻力的作用，上升一段距离后，电场力、空气阻力、重力达到平衡(不计空气浮力的作用)，则此后油滴将匀速上升。设此时油滴速度为 v_e

则有 $6\pi a\eta v_e = qE - mg = q\frac{V}{d} - mg$ 。

实验时，取油滴匀速下降和匀速上升的距离相等，均为 l ，油滴匀速下降和匀速上升的时间分别为 t_g, t_e ，则有

$$v_g = \frac{l}{t_g}, v_e = \frac{l}{t_e},$$

$$q = \frac{18\pi d}{\sqrt{2\rho g t_g} V} \left(\frac{1}{t_e} + \frac{1}{t_g} \right) \left(\frac{\eta l}{1 + \frac{b}{pa}} \right)^{\frac{3}{2}}.$$

即为动态(非平衡)法测油滴电荷的公式。

静态(平衡)法测油滴电荷

若调节平行极板间的电压，使油滴在电场中静止， $v_e = 0$ ，即 $t \rightarrow \infty$ 时，可知

$$q = ne = \frac{18\pi d}{\sqrt{2\rho g V}} \left(\frac{\eta l}{t_g(1 + \frac{b}{pa})} \right)^{\frac{3}{2}}.$$

此式为静态(平衡)法测油滴电荷的公式。实验发现，对于同一个油滴，如果改变它所带的电荷量，则能够使油滴达到平衡的电压必须为某些特定的值 V_n . 对于不同的油滴，可以发现同样的规律，而且 e 是共同的常量，这就证明了电荷的不连续性，并存在着最小的电荷单位，即电子的电荷值 $-e$.