

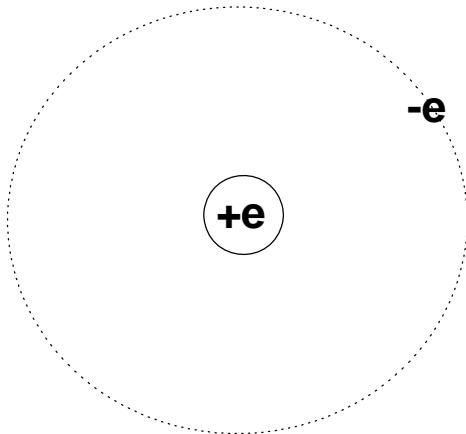
第一讲

第 25 章：电荷与库仑定律

1. 电荷与电荷守恒

我们已学过了《力学》，知道所有的有质量的物体之间都有引力——万有引力定律，这也是为什么我们可以好好地站在地球上而不被甩出去的原因。但并非所有的物体之间都有电现象。比如，*只有在干燥的环境下，才容易被金属门把手“电击”；只有用丝绸将玻璃棒摩擦后，才能使得玻璃棒之间有力…*。到底是什么样的物体之间才有电相互作用呢？让我们回想引力的本质是因为物质有质量，那么，电力也一定是因为物体里有一样类似“质量”的东西，使得具有这样东西的物体之间有电力。现在知道，这种类似质量的东西就是“电荷”。

现在我们知道，电荷的载体是或是质子，它们带有相同的电量，但符号不同。与能量，动量等类似，电荷只能转移，不能凭空产生或湮灭——**电荷守恒定律**。人们规定电子带有负电，质子带有正电（历史的误会）。在一般的物体中，正电荷与负电荷的数量相同，所以通常的物体不带电，也就没有电相互作用。所以必须有某种办法将物体的正负电的数目弄得不一样，才能使得物体整体上带电 —— 这个过程我们叫“charging”。



正是因为电有正负，使得电现象比引力现象更复杂而有趣。实验证实：带有同类电荷的带电体相互排斥，带有不同种类电荷的带电体互相吸引，简称“同性相斥，异性相吸”。—— 演示实验。

类似质量，我们必须用一个量来代表带电的大小——这个量我们用 q 。既然电荷的载体是电子或是质子，任何物体的电量都只能是电子（质子）电量的正数倍，故带电体的电量是量子化的

$$q = ne, \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (25.1.1)$$

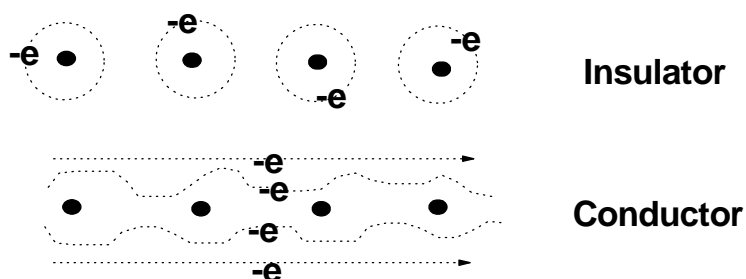
其中，

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C} \quad (25.1.2)$$

是电子（质子）的电量，C 是电量的单位——库仑。因电子电量非常小，而通常的带电体会带有非常大量的电子电量（亦即， N 极大，参考书上的例题），所以通常情况下，电量的量子化并不显著——带电体上的电荷可以认为是连续分布的。

2. 导体与绝缘体

物质大致可以分成两类：导体，绝缘体。当然更细分可以有半导体，介于二者之间。绝缘体中电子主要局域在“自己”的原子核周围，不容易流动，叫做“束缚电子”。导体中电子变成整个晶格的公用的，很容易流动，叫做“自由电子”。理解了这点不同有利于明白如何对不同材料充电。



绝缘体: 电子为束缚的, 必须要有相对大的外力来“拿走”它们, 这就是摩擦起电的原理 --- 摩擦力要大于“束缚能”。

导体: 电子可以流动, 可以

1) 直接将“电荷”注入 --- 直接接触法: 将带电体与不带电的导体接触, 使得电荷从带电体“流动”到被充电体。

思考: 如何充“正电”, 质子又不容易流动?

2) 感应充电: 将带正电的导体 A 靠近一个不带电的导体 B, 因“同性相斥, 异性相吸”, 靠近带电导体 A 的 B 的一端带负电, B 远端带正电。拿走带电体 A 后, B 又程电中性(电子可以流动, 电中性是能量最低的状态)。感应时可以将 B 接地, 拿走 A 的同时也将 B 与地分离, 则这样 B 可以被充正电。(参见书上 Fig. 25-7)

3. 库仑定律

所有的物理的理论都是建立在一系列的实验基础上的。在电磁学方面, 第一个这样的实验是库仑的“扭秤实验”, 其定量地给出了静电力满足的方程, 奠基了整个电磁学。库仑通过总结大量的实验发现, 两个“点电荷”(自身尺度 \ll 相互距离)之间的力

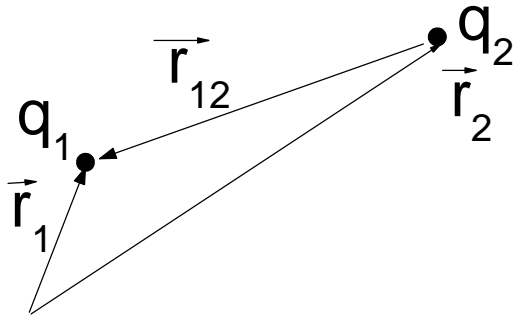
- 1) 与相互距离 r 的平方成反比;
- 2) 与电荷的电量的乘积成正比;
- 3) 方向沿 r 两点电荷连线的方向(同性相斥, 异性相吸)。

用数学形式表示, 设电荷 1 处于 \vec{r}_1 处, 电荷 2 处于 \vec{r}_2 处, 则 2 对 1 的力的大小为

$$F_{12} = K \frac{|q_1||q_2|}{r_{12}^2}$$

其中 $r_{12} = |\vec{r}_{12}| = |\vec{r}_1 - \vec{r}_2|$ 为 1, 2 之间的距离。方向则非常复杂, 分 4 种情形:

$$\begin{aligned} q_1 > 0, q_2 > 0, & \quad \vec{F}_{12} \parallel \vec{r}_{12}; \\ q_1 < 0, q_2 < 0, & \quad \vec{F}_{12} \parallel \vec{r}_{12}; \\ q_1 > 0, q_2 < 0, & \quad \vec{F}_{12} \parallel -\vec{r}_{12}; \\ q_1 < 0, q_2 > 0, & \quad \vec{F}_{12} \parallel -\vec{r}_{12}. \end{aligned}$$



统一下来，可以写成

$$\vec{F}_{12} = K \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12} = K \frac{q_1 q_2}{r_{12}^3} \vec{r}_{12} \quad (25.3.1)$$

其中 $K = 8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ 为比例常数 (K 很大，是因为以 C 的电量非常大!)

在 SI (国际单位制) 中，定义

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}, \quad \epsilon_0 \approx 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N} \cdot \text{m}^2 \quad (25.3.2)$$

ϵ_0 称为真空介电常数。综上，我们得到最终的库仑定律，

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12} \quad (25.3.3)$$

而 1 对 2 的静电力可以根据牛顿第三定律得到：

$$\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{21}^2} \hat{r}_{21} \quad (25.3.4)$$

当然亦可由 1, 2 指标互换得到。

两点讨论：

- 1) 库仑定律与牛顿的万有引力定律的形式完全相同，都是平方反比关系；
- 2) 但静电力远远大于引力 ($K \gg G$)。在微观世界中，万有引力可以忽略。

数量级：电子和质子的静电相互作用力比引力大 10 的 39 次方倍!! (例 25-3)