

同学们好！从这一讲开始，我们讨论静电场。

不随时间变化的电场称为静电场。

电荷之间的相互作用是通过电场来实现的。

## 第一讲 电荷 库仑定律

### 1. 电荷

人们对于电的认识，最早来自人为的摩擦起电现象和自然界的雷电现象。

为什么摩擦可使物体带电呢？这可根据物质的原子结构加以说明：任何宏观物体都由分子组成，分子又由原子组成。原子由带正电的原子核和绕核运动的电子所组成。原子核又由带正电的质子和不带电的中子组成。质子的电荷量与电子的电荷量是等值的。在正常情况下，原子内的电子数和原子核内的质子数相等，原子是电中性的。因此通常情况宏观物体对外不显示电性。但是由于不同物质的原子核对核外电子的束缚能力不同，当两个物体相互摩擦时，哪个物体的原子核对核外电子的束缚本领弱，它的一些电子就会转移到另一个物体上，失去电子的物体带正电，得到电子的物体由于带有多余的电子而带负电

下面我们来看一个演示实验：（视频 04-摩擦起电 在线观看 - 酷6 视频 <http://v.ku6.com/show/oiHniquG7wYGKFKPegg7Qw...html?from=my>）

实验器材有玻璃棒、丝绸、橡胶棒、毛皮、通草球、验电器。用玻璃棒与丝绸摩擦，玻璃棒与验电器接触，金属箔张开，这说明摩擦后的玻璃棒带电，带电的玻璃棒能吸引轻小物体。

用玻璃棒与丝绸摩擦这时玻璃棒带正电，玻璃棒与通草球接触，

通草球带上正电，再将玻璃棒靠近通草球，通草球受到排斥，这说明同号电荷之间互相排斥。

橡胶棒与毛皮摩擦后，能使验电器张开，说明摩擦后的橡胶棒带电，将摩擦后的橡胶棒与带正电的通草球靠近，通草球受到橡胶棒的吸引，说明摩擦后的橡胶棒带负电，异号电荷互相吸引。

实验还证明，无论摩擦起电的过程还是其他方法使物体带电的过程，正负电荷总是同时出现的，而且这两种电荷的量值一定相等。

如果是在一个与外界没有电荷交换的系统内，无论进行怎样的物理过程，系统内正、负电荷的代数和总是保持不变，这就是由实验总结出来的**电荷守恒定律**。

随着近代物理学的不断发展，这个定律在微观物理过程中也得到了精确验证。

**例如：**一个负电子和一个正电子靠近时，两个电子完全消失，产生两条沿相反方向的 $\gamma$ 射线。湮（yan）灭前后电子的**净电荷**守恒。

实验还证明，一个物体所带总电荷量不因带电体的运动而改变，这叫做**电荷的相对论不变性**。设想一个带电体最初静止电量 $Q$ ，之后使其匀速运动电量仍为 $Q$ ，再使其加速运动电量仍为 $Q$ 。

到目前为止的所有**实验**表明，电子或质子是自然界带有最小电荷量的粒子，任何带电体或其它微观粒子所带的电荷量都是电子或质子电荷量的整数倍。

这个事实说明，物体所带的电荷量不可能连续地取任意量值，而只能取某个基本电量的整数倍值，**即** $Q = ne \quad n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ ，这就是**电荷的量子化**。

量子化是微观世界一个基本概念，在微观世界中，我们将会看到能量、角动量等也是量子化的。

由于电荷的**基本电量**，（即电子电荷量  $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ ）很小，因而宏观过程中涉及的电荷量总是包含着大量的基本电量。

例如在通常 220V、100W 的灯泡中，每秒通过钨丝的电子数就有  $3 \times 10^{18}$  个，致使电荷的量子性在研究宏观现象的实验中表现不出来，就像我们喝水时并没有感觉到水是由分子、原子等微观粒子所组成的一样。

所以在研究宏观电现象时，可以不考虑电荷的量子化，仍把带电体上的电荷看作是连续分布的。

## 2、库仑定律

物体带电后的主要特征是带电体之间存在相互作用的电性力。一般说来，作用力与带电体的形状、大小、电荷分布、相对位置以及周围的介质等因素有关系，要用实验直接确立电性力对这些因素的依赖关系是困难的。

为了使所讨论的问题简单起见，在静电现象的研究中我们经常用到点电荷的概念，它是从实际带电体抽象出来的理想模型。

在具体问题中，当带电体的形状和大小与它们之间的距离相比允许忽略时，可以把带电体看作点电荷。因此点电荷这一概念只具有相对的意义，它本身不一定是很小的带电体。

宏观带电体可看作点电荷系。

在 1785 年，法国科学家库仑从扭秤实验总结出了点电荷之间相互作用的静电力所服从的基本规律，称为库仑定律。可表述为：

在真空中，两个静止点电荷之间相互作用力的大小与这两个点电荷所带的电荷量的乘积成正比，与这两个点电荷之间的距离成反比，作用力的方向沿着这两个点电荷的连线（如图所示）。其数学形式为：

$$\vec{f}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \vec{r}_{12}^\circ$$

式中 $q_1$ 和 $q_2$ 表示两个点电荷的电荷量； $r_{12}$ 指两个点电荷间的距离，带有矢量符号的 $r_{12}$ 表示从点电荷 $q_1$ 指向点电荷 $q_2$ 的单位矢量； $k$ 为比例常数，由所用的单位制确定。插入

$f_{12}$ 表示点电荷 $q_1$ 对点电荷 $q_2$ 的作用力， $q_1$ 和 $q_2$ 同号时 $f_{12}$ 与单位矢量方向相同，表明 $q_1$ 对 $q_2$ 的作用力是斥力； $q_1$ 和 $q_2$ 异号时 $f_{12}$ 与单位矢量方向相反，表明 $q_1$ 对 $q_2$ 的作用力是引力。

所以，这个矢量式同时给出了作用力的大小和方向。

在国际单位制中，电荷量的单位是库伦（用 C 表示），力的单位是牛（用 N 表示），长度的单位是米（用 m 表示）。

这样库仑定律中比例系数  $k$  的数值，只能通过实验来测定，通常引入新的常量  $\epsilon_0$  来代替  $k$ ，并把  $k$  写成

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

其中：

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N} \cdot \text{m}^2$$

称为真空的介电常数（或真空的电容率）。

于是，真空中的库仑定律就写成

$$\vec{f}_{12} = -\vec{f}_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \vec{r}_{12}$$

两个静止点电荷之间的相互作用力符合牛顿第三定律，式中  $4\pi$  因子的引入是为了单位制的有理化。

这样，虽然使得库仑定律的表达式变得复杂一些，但以后可以看到，由此而推导出来的一些常用公式中，却不出现  $4\pi$  因子，形式简单。

由库仑定律计算的力我们也称为库仑力，或静电力。库仑定律的建立标志着电学定量研究的开始，从此电学才真正成为一门科学。

### 3、电力叠加原理

现在我们知道了，两个静止的点电荷  $q_1$  和  $q_2$  之间的相互作用力可以由库仑定律来计算。

如果有第三个点电荷存在，那  $q_1$  和  $q_2$  这两个静止的点电

荷的相互作用力是否仍由库仑定律来计算呢？。

实验证明两个点电荷之间的作用力并不因第三个点电荷的存在而有所改变。

所以，点电荷  $q_0$  受若干个其它点电荷作用时，其所受的合力等于各点电荷单独存在时对  $q_0$  作用力的矢量和。

数学表达式为：

$$\vec{F} = \vec{f}_{10} + \vec{f}_{20} + \cdots + \vec{f}_{n0} = \sum_{i=1}^n \frac{q_0 q_i}{4\pi \epsilon_0 r_{i0}^2} \vec{r}_{i0}^\circ$$

其中： $\vec{r}_{i0}^\circ$  为  $q_i$  指向  $q_0$  的单位矢量。

这一结论叫做电力叠加原理。

由库仑定律和电力叠加原理，原则上可以求出任意两个带电体之间的库仑力。

最后，给大家布置一道思考题：设铁原子中两个质子相距  $4.0 \times 10^{-15} \text{ m}$ ，试计算它们之间的库仑斥力和万有引力，并比较两者的大小。分析一下说明了什么问题？

今天的这一讲就到这里，同学们再见。