



# 第九章

## 电荷和静电场



查利·奥古斯丁·库仑（1736—1806），法国工程师、物理学家。

主要贡献有扭秤实验、库仑定律、库伦土压力理论等。同时也被称为“土力学之始祖”



迈克尔·法拉第(1791-1867).

他的发现奠定了电磁学的基础，是詹姆斯·克拉克·麦克斯韦的先导。1831年10月17日，法拉第首次发现电磁感应现象，并进而得到产生交流电的方法。



本杰明·富兰克林（1706年—1790），美国政治家、物理学家、共济会会员，大陆会议代表及《独立宣言》起草和签署人之一，美国制宪会议代表及《美利坚合众国宪法》签署人之一，美国开国元勋之一。

富兰克林曾经进行多项关于电的实验，并且发明了避雷针，最早提出电荷守恒定律。他还发明了双焦点眼镜，蛙鞋等等。



尼古拉·特斯拉（Nikola Tesla，1856年7月10日—1943年1月7日），塞尔维亚裔美籍发明家、物理学家、机械工程师、电气工程师。





詹姆斯·克拉克·麦克斯韦(1831-1879)。

英国物理学家、数学家。经典电力学的创始人，统计物理学的奠基人之一。

没有电磁学就没有现代电工学，也就不可能有现代文明。

# 第九章 电荷和静电场

§ 9-1 电荷和库仑定律

§ 9-2 电场和电场强度

§ 9-3 高斯定理

§ 9-4 电势及其与电场强度的关系

§ 9-5 静电场中的金属导体

§ 9-6 电容和电容器

§ 9-7 静电场中的电解质

§ 9-8 静电场的能量

# § 8-1 电荷的量子化及电荷守恒定律

## 一、电荷 (*charge*)

原子是电中性的,原子核中的中子不带电、质子带正电、核外电子带负电,并且所带电量的绝对值相等。自然界中有两种电荷: **正电荷**、**负电荷**。

密立根 (R.A.millikan) 用液滴法测定了电子电荷,电子是自然界中存在的最小负电荷, **1986年的**推荐值为:  $e = 1.602\ 177\ 33 \times 10^{-19}\ \text{C}$

实验证明微小粒子带电量的变化是不连续的,它只能是元电荷  $e$  的整数倍,即粒子的电荷是量子化的:  $Q = n e$  ;  $n = 1, 2, 3, \dots$

电荷量子化是个实验规律。



自然界中的微观粒子有几百种,其中带电粒子所具有的电荷数均为 $+e$  或 $-e$  的整数倍。因此**电荷量子化是普遍的量子化规律**。现代实验结果证明**电荷量子化具有相当高的精度**。

在近代物理中发现强子(如质子、中子、介子等)是由夸克(*quark*)构成的, 夸克所带电量为 $e$ 的 $1/3$ 或 $2/3$ 。但是到目前为止还没有发现以自由状态存在的夸克。电量的最小单元不排除会有新的结论, **但是电量量子化的基本规律是不会变的**。

在相对论中物质的质量会随其运动速率而变化, 但是实验证明一切带电体的电量不因其运动而改变, **电荷是相对论性不变量**。

## 二、库仑定律(*Coulomb law*)

在真空中两个相对于观察者静止的点电荷之间的相互作用力的大小与它们所带电量的乘积成正比,与它们之间距离的平方成反比,方向沿两电荷的连线,同号相斥,异号相吸。

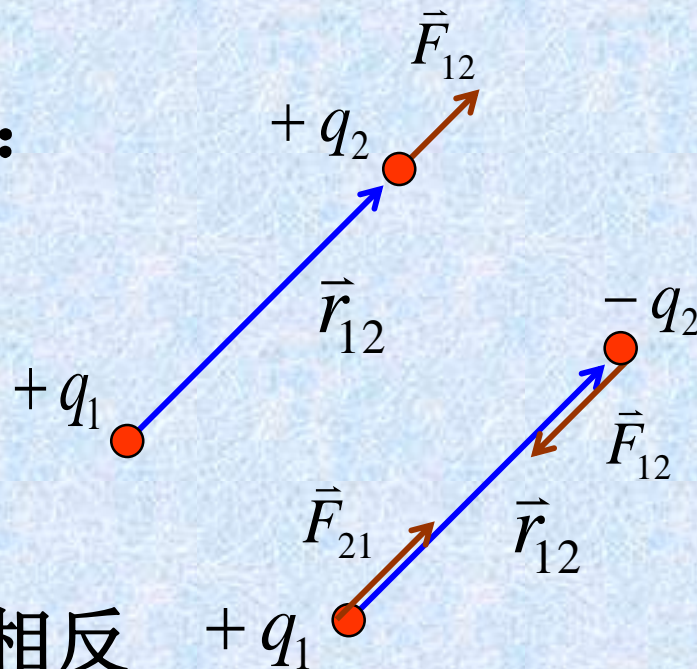
设 $q_2$ 受到 $q_1$ 的作用力为 $F_{12}$  则:

$$\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \left( \frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}} \right)$$

其中 $\vec{r}_{12}$ 为 $q_1$ 指向 $q_2$ 的矢量

当 $q_2$ 与 $q_1$ 异号时, $F_{12}$ 与 $r_{12}$ 方向相反

$\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$  库仑力满足牛顿第三定律





$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$$

是国际单位制中的比例系数

$$\epsilon_0 = 8.854\,187\,817 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / (\text{N} \cdot \text{m}^2)$$

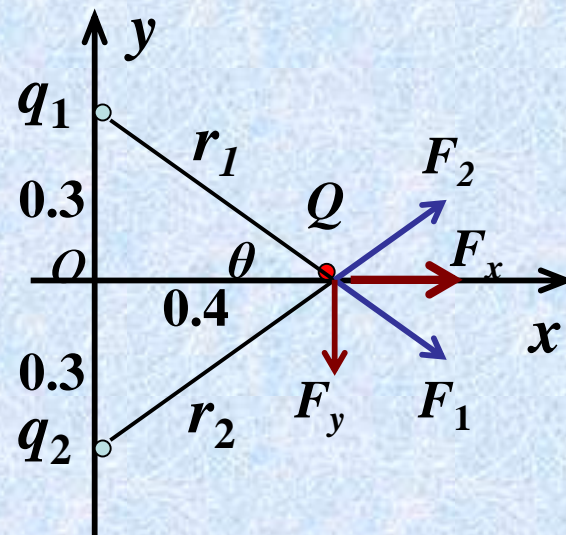
称为真空电容率或真空介电常量。

自然界存在四种力：强力、弱力、电磁力和万有引力，把 $10^{-15}\text{m}$ 的尺度上两个质子间的强力的强度规定为1，其它各力的强度是：电磁力为 $10^{-2}$ ，弱力为 $10^{-9}$ ，万有引力为 $10^{-39}$ 。在原子、分子的构成以及固体和液体的凝聚等方面，库仑力都起着主要的作用。

**例1：**三个点电荷 $q_1=q_2=2.0\times 10^{-6}\text{C}$ ， $Q=4.0\times 10^{-6}\text{C}$ ，求 $q_1$ 和 $q_2$ 对 $Q$ 的作用力。

**解：** $q_1$ 和 $q_2$ 对 $Q$ 的作用力的方向虽然不同，但大小相等：

$$F = F_1 = F_2 = \frac{q_1 Q}{4\pi\epsilon_0 r_1^2} = 0.29\text{N}$$



由对称性可以看出两个力在 $y$ 方向的分力大小相等，方向相反而相互抵消， $Q$ 仅受沿 $x$ 方向的作用力：

$$f = 2F_x = 2F \cos \theta = 2 \times 0.29 \times \frac{0.4}{0.5} \text{N} = 0.46\text{N}$$