第七章 恒定磁场

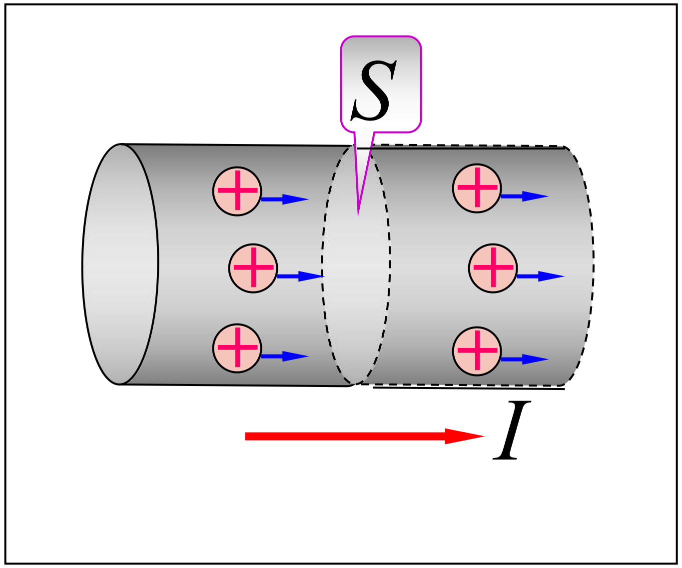
——稳恒电流激发的磁场

§1 电流与电动势

一、电流

单位时间内通过截面***S*** 的电量。

$$I = \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$$



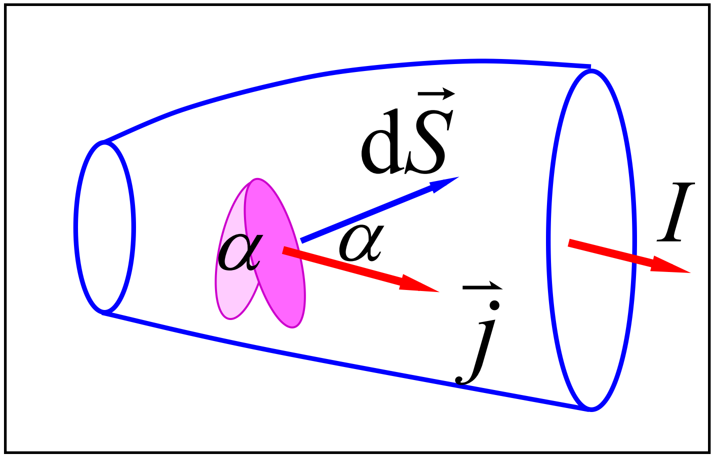
电流单位：**A**（安培）

$$1\mathrm{A} = 10^3\mathrm{mA} = 10^6\mu\mathrm{A}$$

二、电流密度

——单位时间内过该点附近垂直于正电荷运动方向的单位面积的电荷。电流密度矢量沿正电荷运动方向。

$$j = \frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}S_{\perp}} = \frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}S\cos\alpha}$$



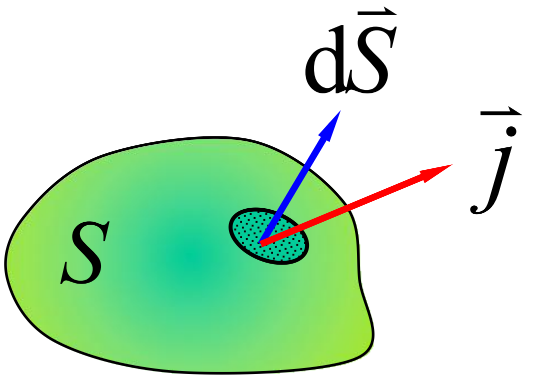
$$\mathrm{d}I = j\mathrm{d}S\cos\alpha = \vec{j}\cdot\mathrm{d}\vec{S}$$

$$\boxed{I = \iint_S \vec{j}\cdot\mathrm{d}\vec{S}}$$

三、稳恒电流

导体中电流分布恒定，不随时间而变化，即导体内各处的电流密度大小方向不变。

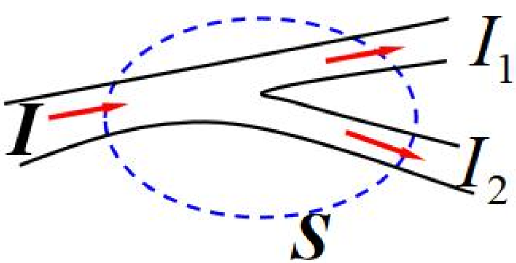
单位时间内通过闭合曲面向外流出的电荷，等于此时间内闭合曲面里电荷的减少量。



若闭合曲面 S 内的电荷不随时间而变化，有

$$\frac{\mathrm{d}Q_i}{\mathrm{d}t} = 0$$

恒定电流：$\oiint_S \vec{j}\cdot\mathrm{d}\vec{S} = \frac{\mathrm{d}Q_i}{\mathrm{d}t} = 0$

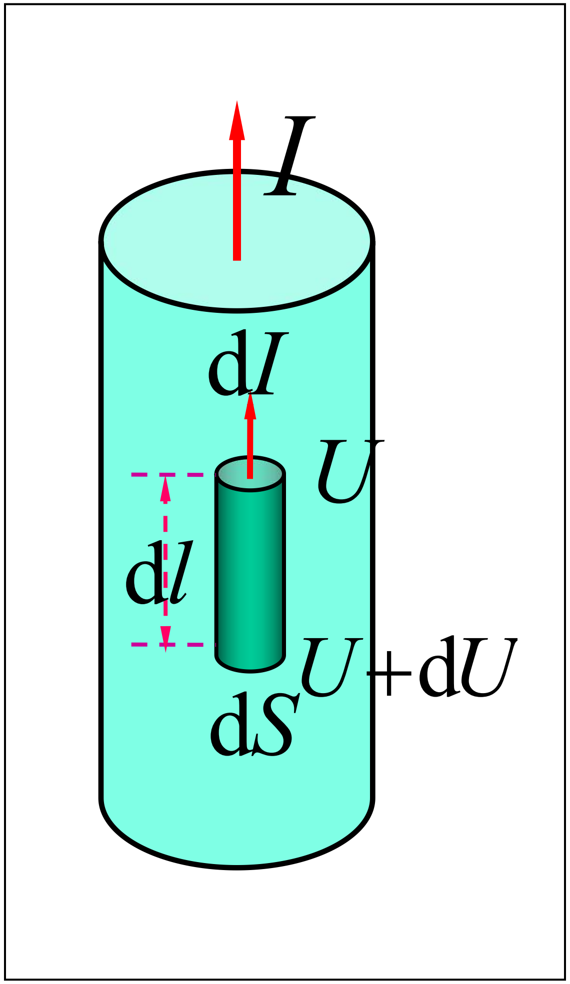


$$-I+I_1+I_2=0$$

- 在稳恒电流情况下，导体中电荷分布不随时间变化，形成稳恒电场。

四、欧姆定律

电阻：$R=\rho\dfrac{\mathrm{d}l}{\mathrm{d}S}$　　ρ电阻率



$$\boxed{\mathrm{d}I=\frac{\mathrm{d}U}{R}}\qquad \mathrm{d}I=\frac{1}{\rho}\frac{\mathrm{d}U}{\mathrm{d}l}\mathrm{d}S$$

$$\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}S}=\frac{1}{\rho}\frac{\mathrm{d}U}{\mathrm{d}l}=\frac{1}{\rho}E=\sigma E$$　σ电导率

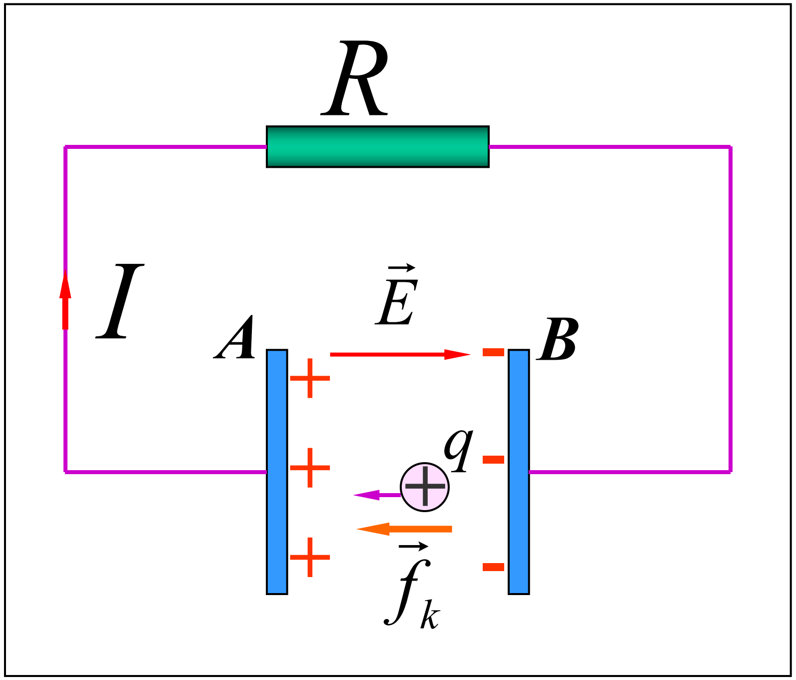
$$\vec{j}=\sigma\vec{E}$$　——欧姆定律的微分形式

——任一点的电流密度与电场强度方向相同，大小成正比。

五、电源电动势

电源：提供非静电力的装置。

非静电力：能不断分离正负电荷，并使正电荷逆静电场方向运动。



$\vec{f}_k$ ——非静电力，维持回路中具有稳定的电流。

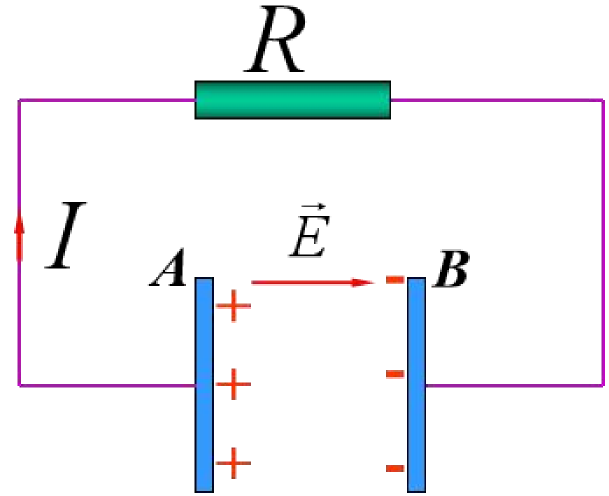
非静电力驱动电荷 q 由 B 极板运动到 A 极板所做的功：

$$A_{BA} = \int_B^A \vec{f}_k \cdot \mathrm{d}\vec{l}$$

定义：**非静电场场强** $\vec{E}_k$ 为单位正电荷所受的非静电力。

即： $\vec{E}_k = \dfrac{\vec{f}_k}{q}$ 　　或： $\vec{f}_k = q\vec{E}_k$

$$A_{BA}=q\int_B^A \vec{E}_k\cdot \mathrm{d}\vec{l}$$



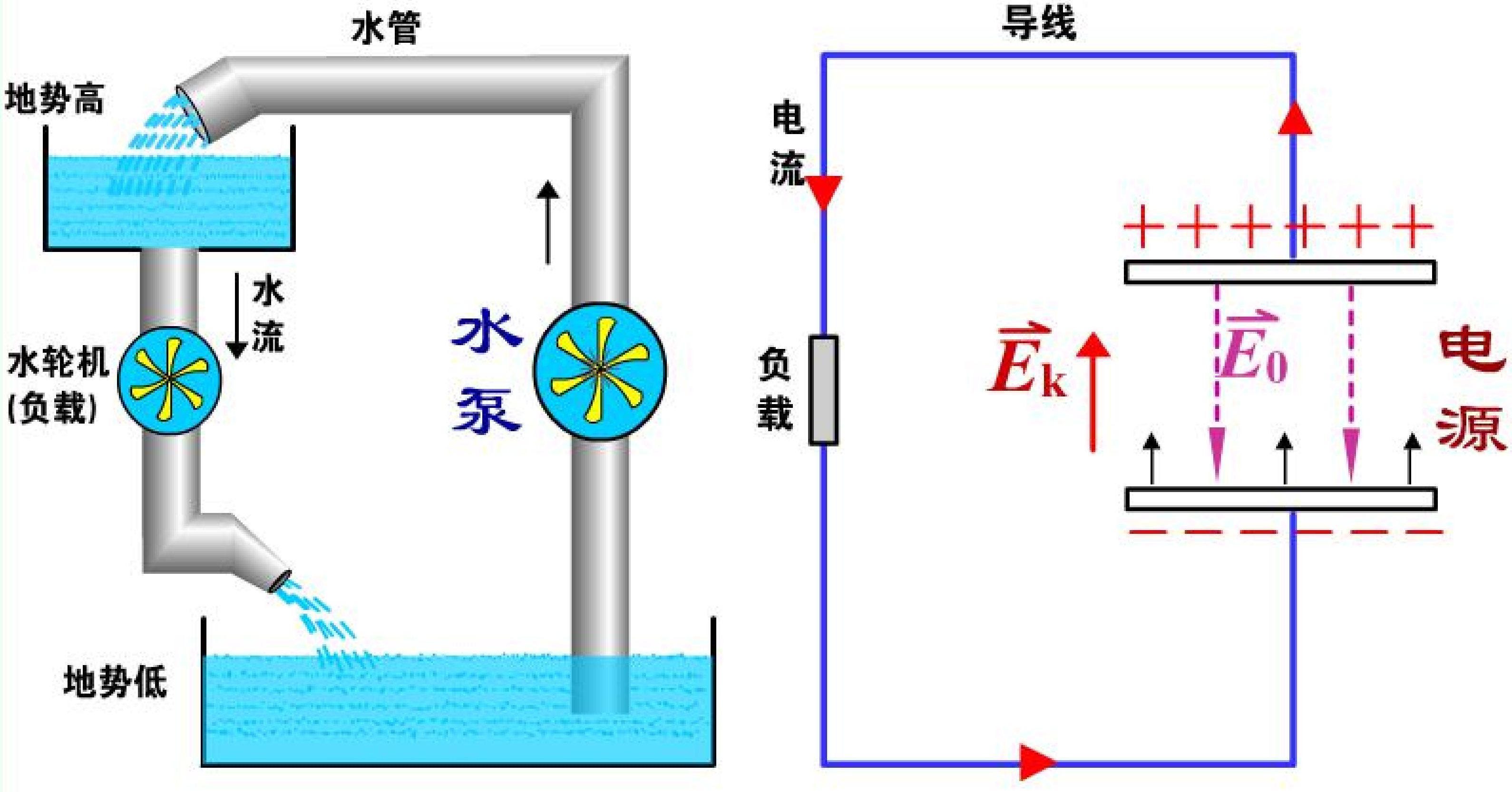
定义：电动势为非静电力驱动单位正电荷由 ***B*** 极板运动到 ***A*** 极板所做的功。

即：$\boxed{\mathscr{E}=\dfrac{A_{BA}}{q}}$

则：$$\mathscr{E}=\frac{A_{BA}}{q}=\frac{q\int_B^A \vec{E}_\mathrm{k}\cdot \mathrm{d}\vec{l}}{q}=\int_B^A \vec{E}_\mathrm{k}\cdot \mathrm{d}\vec{l}$$

- 对于闭合回路，电动势的定义式为单位正电荷绕闭合回路运动一周，非静电力所做的功。

$$\mathscr{E}=\oint_l \vec{E}_\mathrm{k}\cdot \mathrm{d}\vec{l}$$



电源和水泵作用的类比

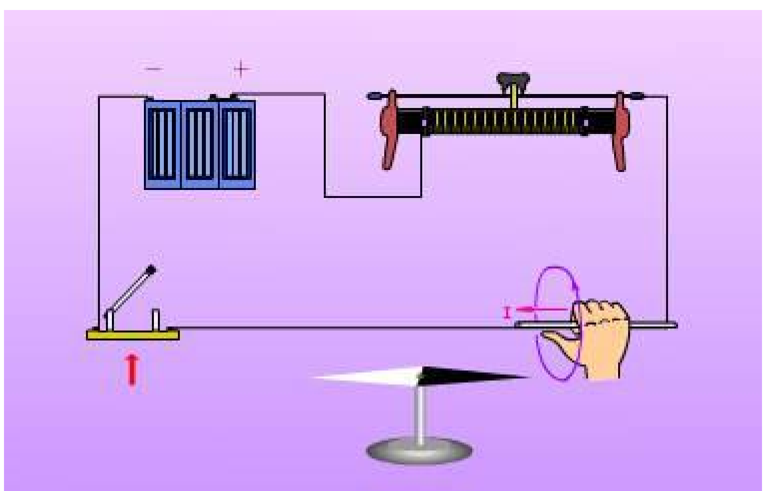
§2 磁场 磁感应强度

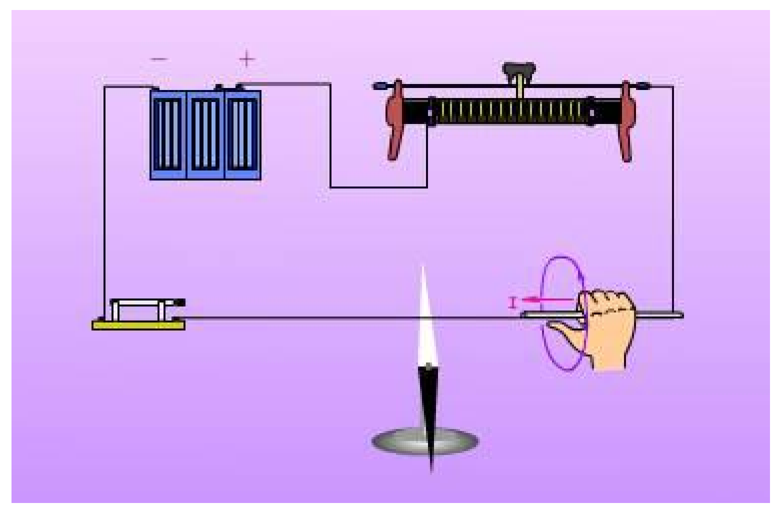
一、 电磁相互作用

1. 奥斯特实验（1820年 ）——电流激发磁场

丹麦物理学家。1794年考入哥本哈根大学，1799年获博士学位。1806年起任哥本哈根大学物理学教授。1820年因电流磁效应这一杰出发现获英国皇家学会科普利奖章。1829年起任哥本哈根工学院院长。

奥斯特
Hans Christian Oersted
1777～1851



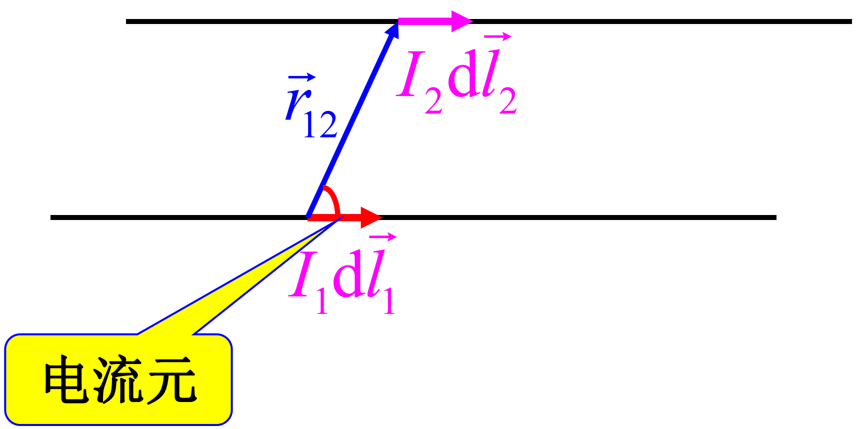


2. 安培实验（1820年 ）

安德烈·玛丽·安培
André-Marie Ampère
1775—1836

法国物理学家，在电磁作用方面的研究成就卓著，对数学和化学也有贡献。电流的国际单位安培即以其姓氏命名。

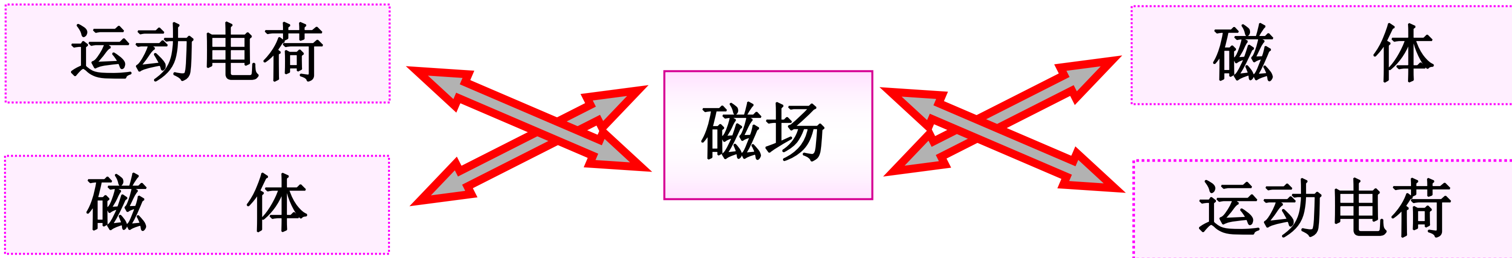
安培最主要的成就是1820-1827年对电磁作用的研究。他研究了两根载流导线存在相互影响，相同方向的平行电流彼此相吸，相反方向的平行电流彼此相斥。



$$\mathrm{d}\vec{F}_{12} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I_2 \mathrm{d}\vec{l}_2 \times \left(I_1 \mathrm{d}\vec{l}_1 \times \vec{r}_{12} \right)}{r_{12}^3}$$

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\,\mathrm{N \cdot A^{-2}}$ ——真空磁导率。

二、磁 场



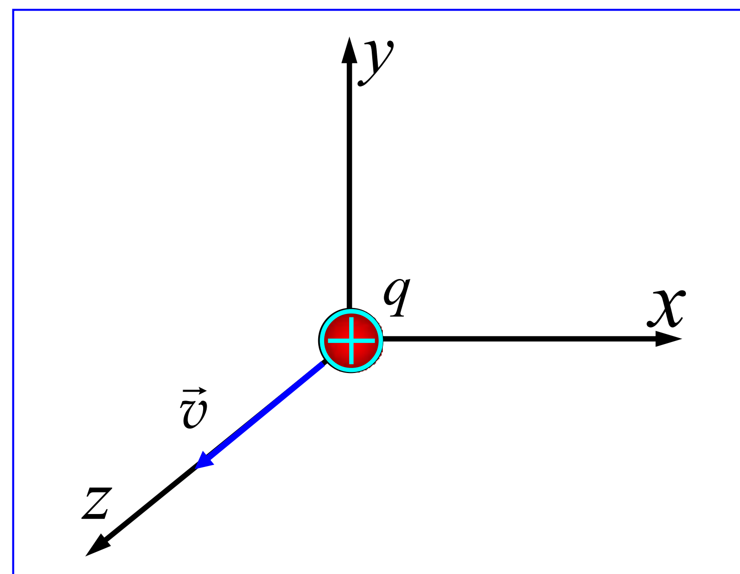
三、磁感强度矢量 $\vec{B}$ 的定义

带电粒子在磁场中运动受到力的作用——

- 实验发现带电粒子在磁场中沿某一特定直线方向运动时不受力；

- 带电粒子在磁场中沿其他方向运动时，$\vec{F}$ 垂直于 $\vec{v}$ 与某特定方向所组成的平面；

- 当带电粒子在磁场中垂直于此特定方向运动时受力最大；



$\vec{F}=\vec{F}_{max}=\vec{F}_{\perp}$ $F_{max} \propto qv$

$F_{max}/(qv)$ 大小与q,v 无关。

磁感强度$\vec{B}$ 的定义：

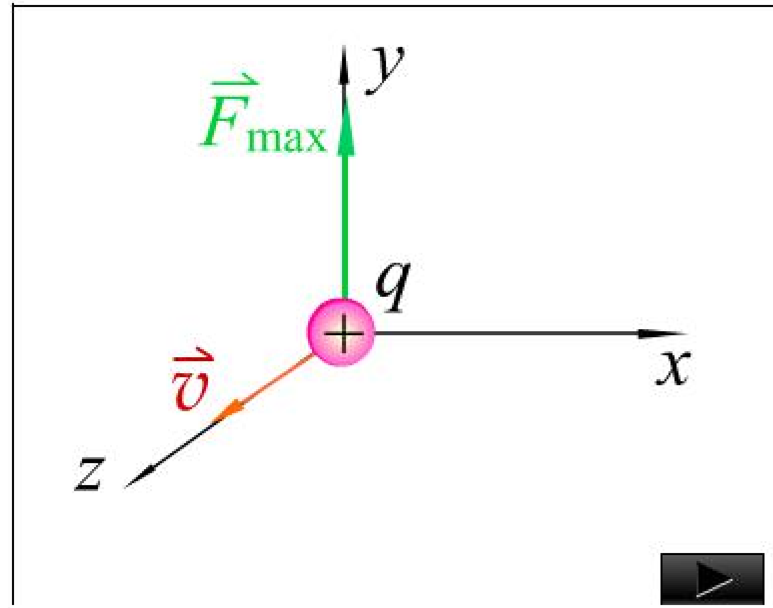
当正电荷垂直于特定方向运动时，受力 $\vec{F}_{max}$，将 $\vec{F}_{max} \times \vec{v}$ 方向定义为该点 $\vec{B}$ 的方向。

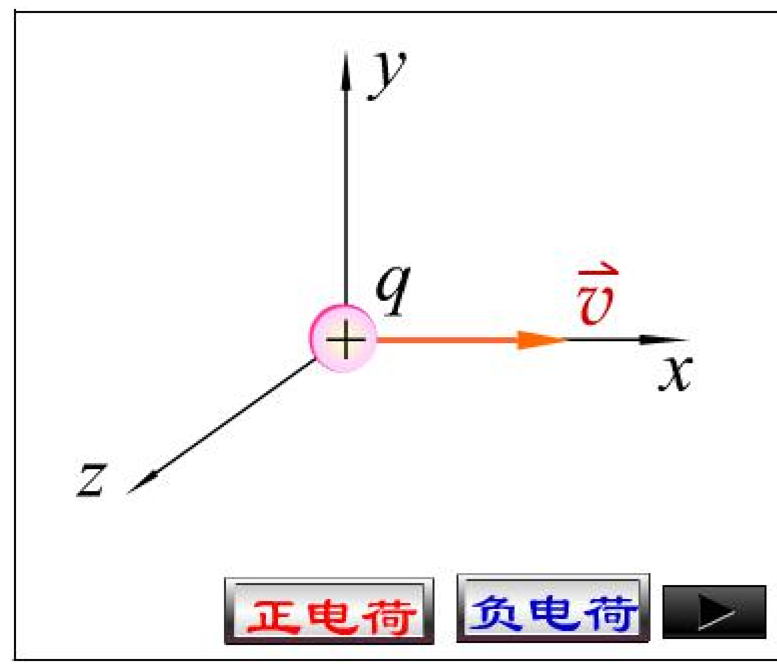
磁感强度大小 $$B=\frac{F_{max}}{qv}$$

单位：**特斯拉（T）** $1\mathrm{T}=1\mathrm{N}\cdot\mathrm{A}^{-1}\cdot\mathrm{m}^{-1}$

运动电荷在磁场中受力：

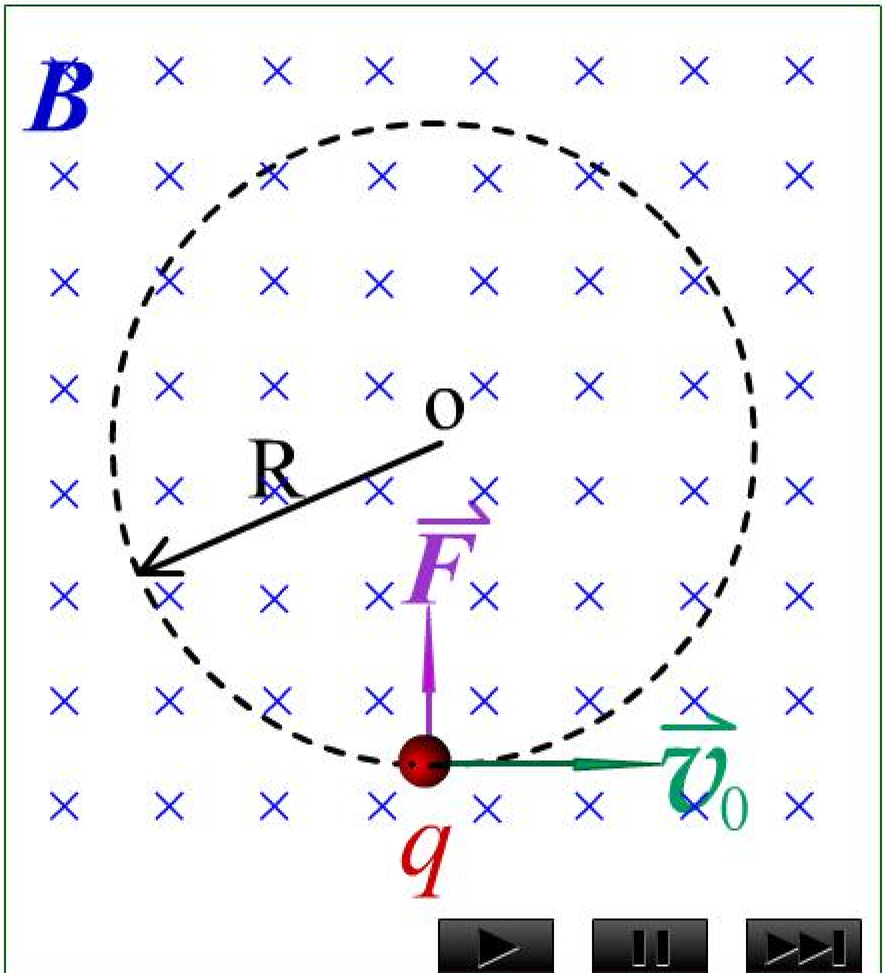
$$\vec{F}=q\vec{v}\times\vec{B}$$ ——洛仑兹力





回顾：带电粒子在磁场中的运动

回旋半径和回旋频率



$$qv_0B = m\frac{v_0^{\,2}}{R}$$

$$R = \frac{mv_0}{qB}$$

$$T = \frac{2\pi R}{v_0} = \frac{2\pi m}{qB}$$

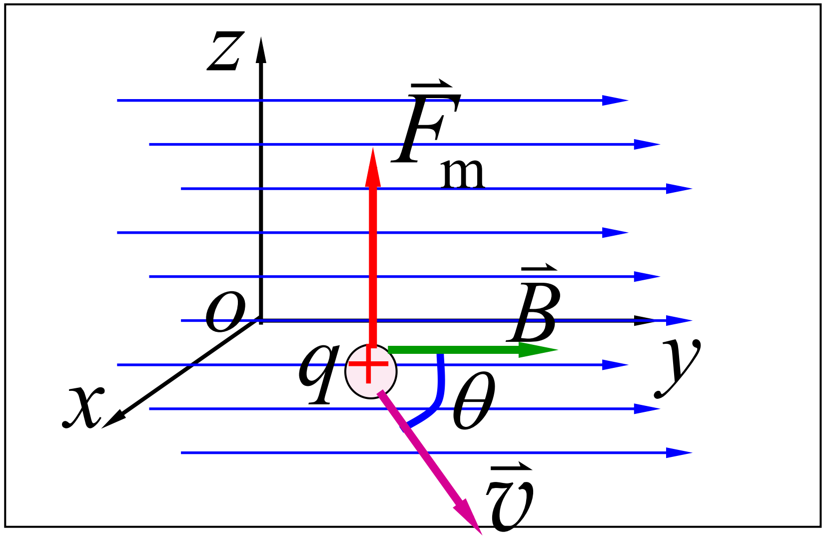
$$\boxed{f = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m}}$$

回顾：带电粒子在电场和磁场中的运动

电场力 $\vec{F}_{\mathrm{e}} = q\vec{E}$

磁场力（洛仑兹力）

$$\vec{F}_{\mathrm{m}} = q\vec{v} \times \vec{B}$$



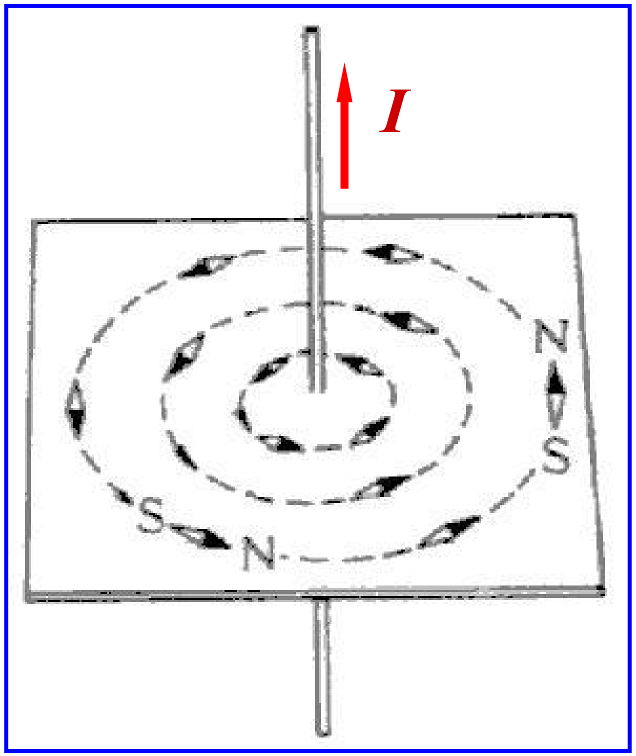
运动电荷在电场和磁场中受的力

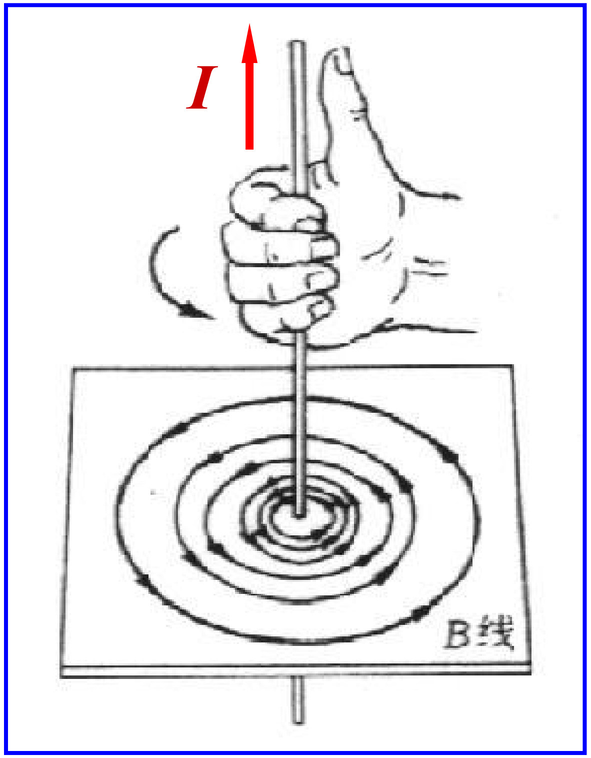
$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

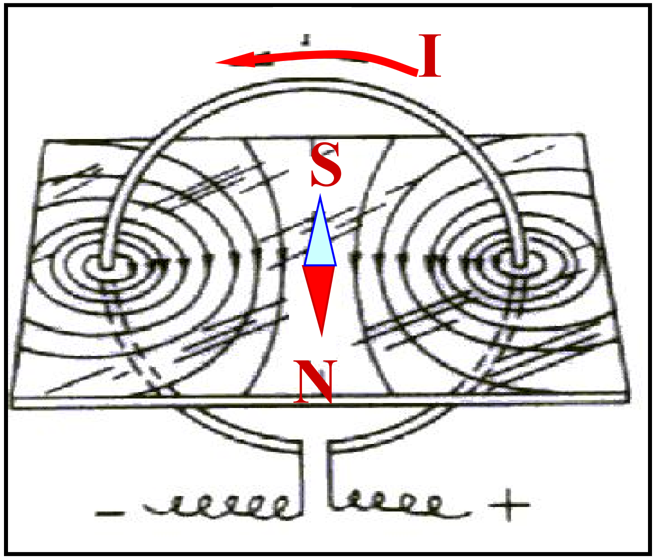
四、磁场的高斯定理

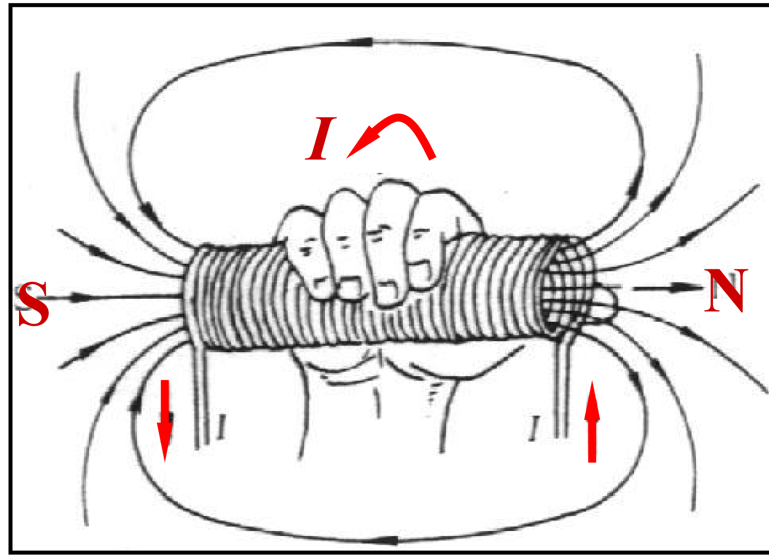
1. 磁感应线

规定：曲线上每一点的切线方向表示该点的磁感强度的方向，曲线的疏密程度表示该点的磁感强度的大小。

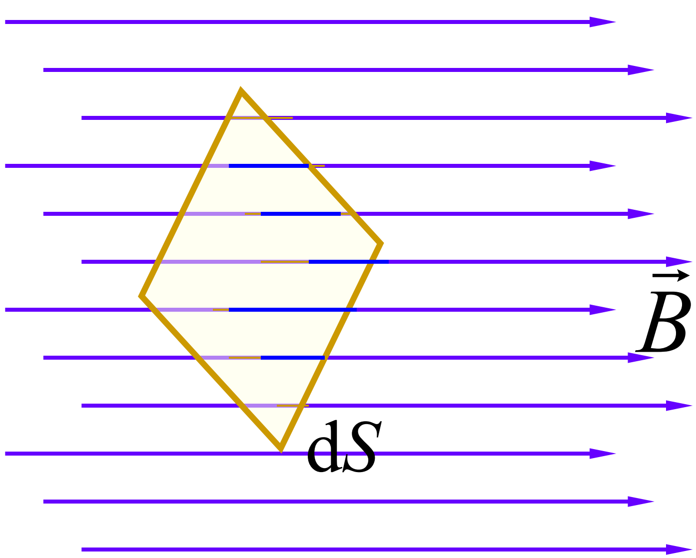




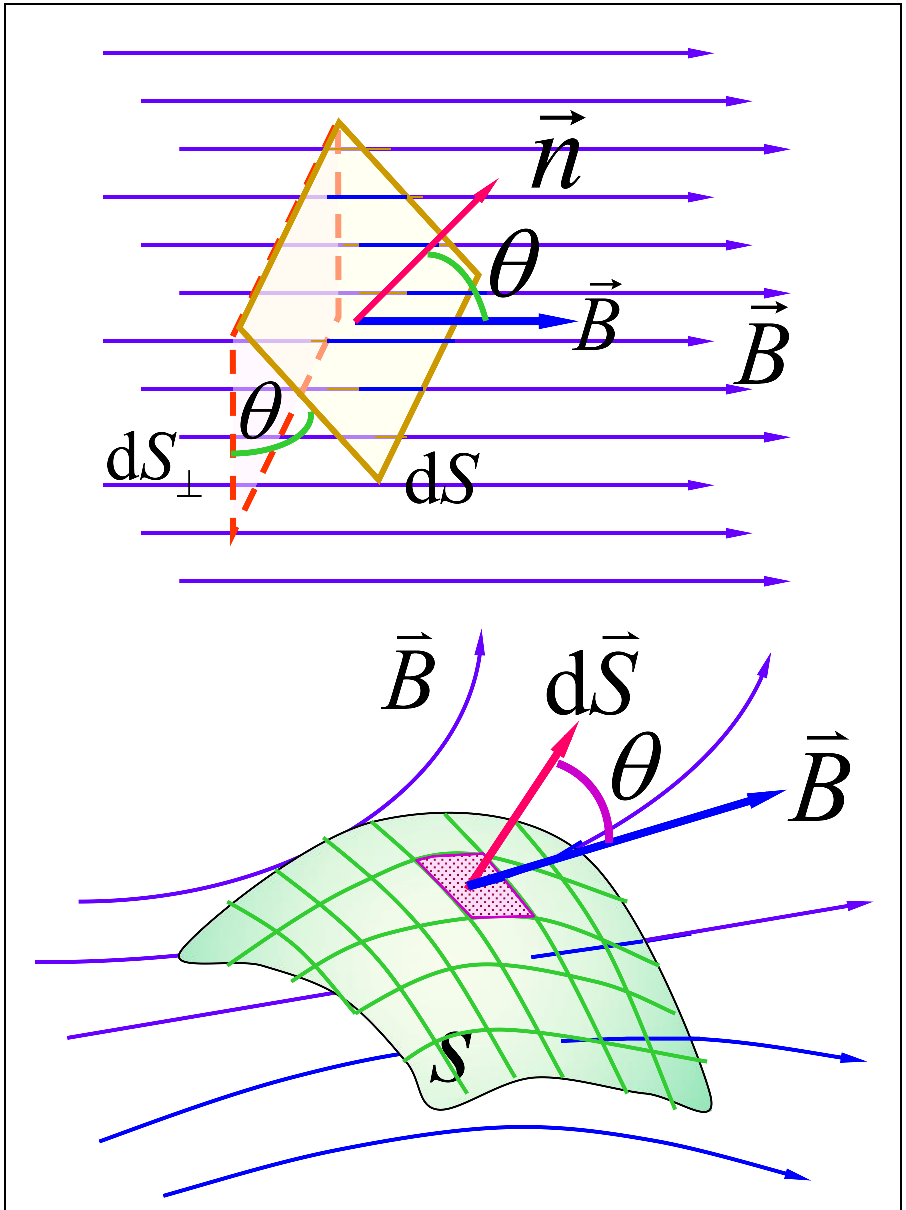




2. 磁通量 磁场的高斯定理



磁通量：通过某一曲面的磁感应线数为通过此曲面的磁通量。用 Φ_m 表示。



$$d\vec{S} = dS\vec{n}$$

$$dS_\perp = dS\cos\theta$$

$$d\Phi_m = BdS_\perp = BdS\cos\theta$$

$$d\Phi_m = \vec{B}\cdot d\vec{S}$$

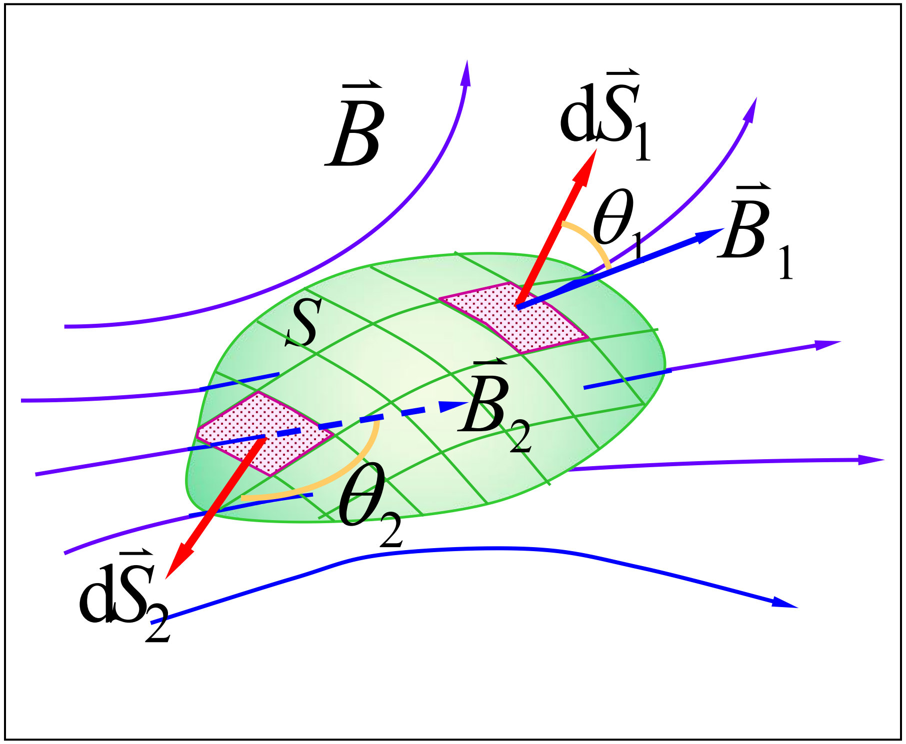
$$\Phi_m = \int_{(S)} d\Phi_m = \int_{(S)} \vec{B}\cdot d\vec{S}$$

单位：韦伯（**Wb**）

$$1\mathrm{Wb} = 1\mathrm{T}\times 1\mathrm{m}^2$$

$$\Phi_{in}=\int \mathrm{d}\Phi_2=\int \vec{B}_2\cdot \mathrm{d}\vec{S}_2<0$$

$$\Phi_{out}=\int \mathrm{d}\Phi_1=\int \vec{B}_1\cdot \mathrm{d}\vec{S}_1>0$$



进入闭合曲面 ***S*** 的磁场线根数（磁通量）和流出闭合曲面 ***S*** 的磁场线根数相等。

$$\Phi_{in}+\Phi_{out}=0=\oint_S \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{S}$$

$$\boxed{\oint_S \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{S}=0}$$

磁场高斯定理：通过任意闭合曲面的磁通量必等于零。

（磁场是**无源场**）