第14章 恒定磁场

§14.1 恒定电流

§14.2 磁场及其描述

§14.3 场源与磁场

§14.4 磁场的高斯定理

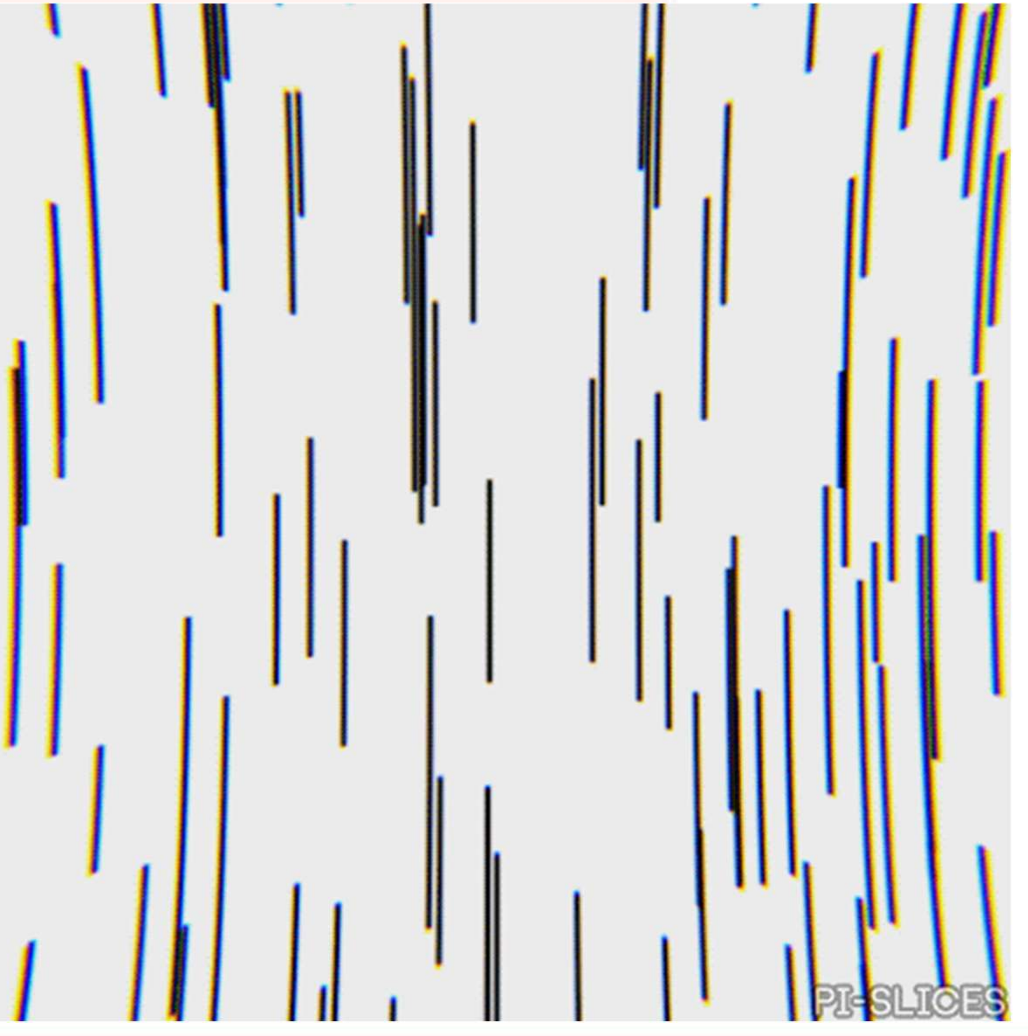
§14.5 安培环路定理

§14.6 带电粒子在磁场中的运动

§14.7 磁场对载流导线的作用

§14.8 磁场中的磁介质

恒定电流

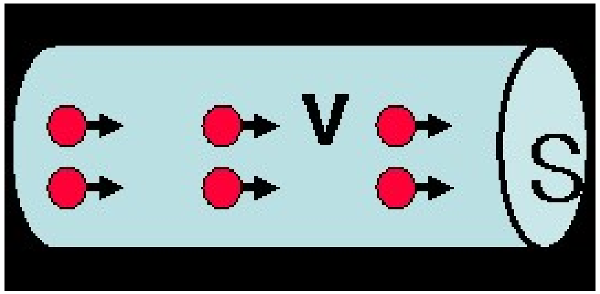


§14.1 恒定电流

14.1.1 电流强度

产生传导电流的条件有两个：（**1**）存在可以自由移动的电荷；（**2**）存在电压。

$$I = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}\,q}{\mathrm{d}\,t}$$



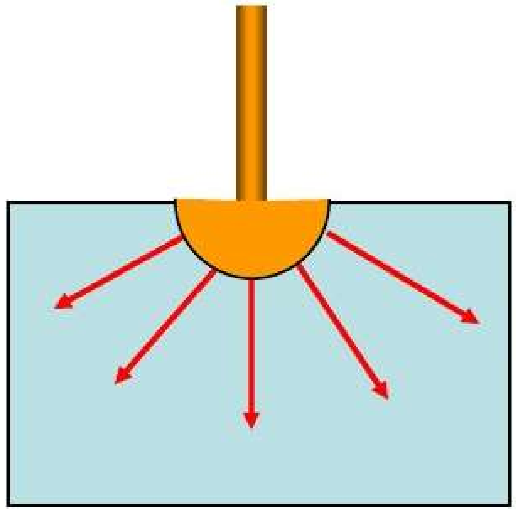
$$I = nqvS$$

14.1.2 电流密度矢量

电流强度反映导体截面上电流的整体特征
电流密度描述各点电流的分布

取一垂直面元dS，通过其电流强度为dI，则该点电流密度的量值为

$$j = \frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}S}$$



半球形接地电极附近的电流

方向沿该点电流的方向。

若已知电流密度 $I = \int_S \boldsymbol{j} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{S}$

14. 1. 4 恒定电流

恒定电流 ：导体内各处的电流密度均不随间变化

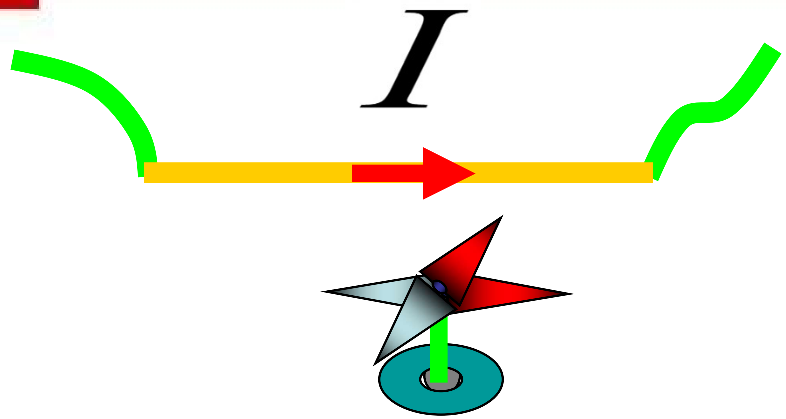
恒定电流产生的磁场为恒定磁场

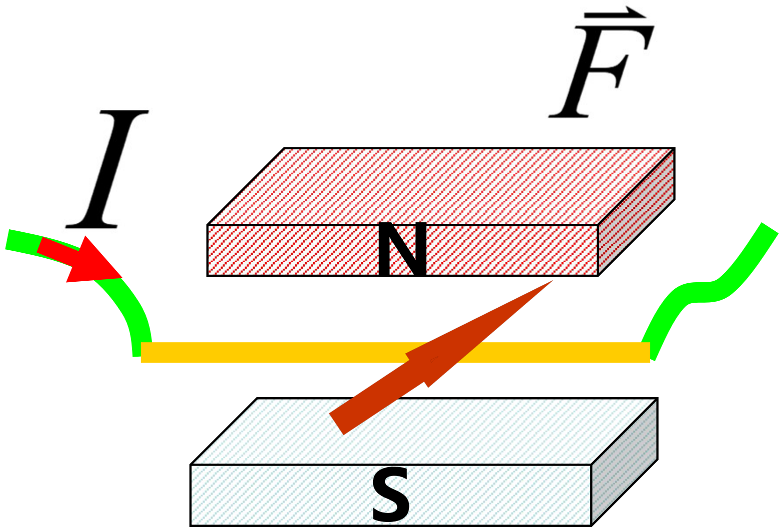
§14.2 磁场及其描述

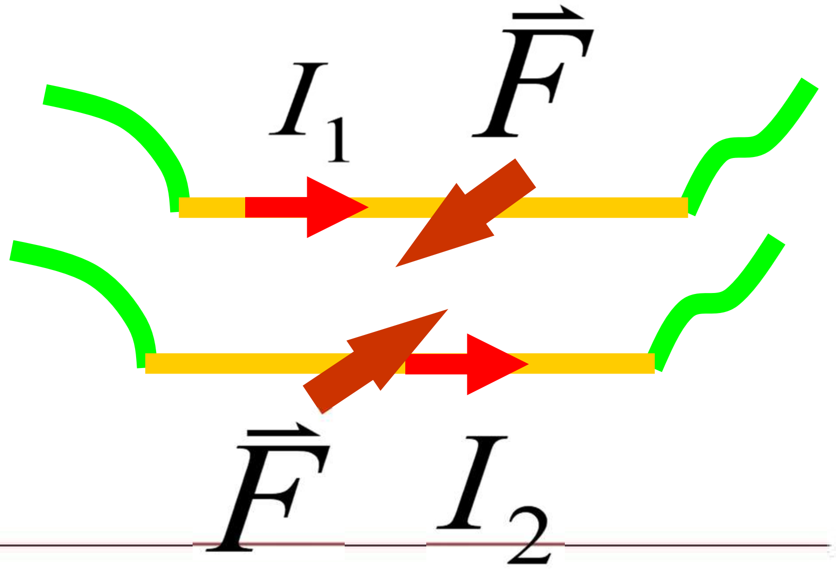
本讲基本要求

掌握磁感应强度的物理涵义极其计算。

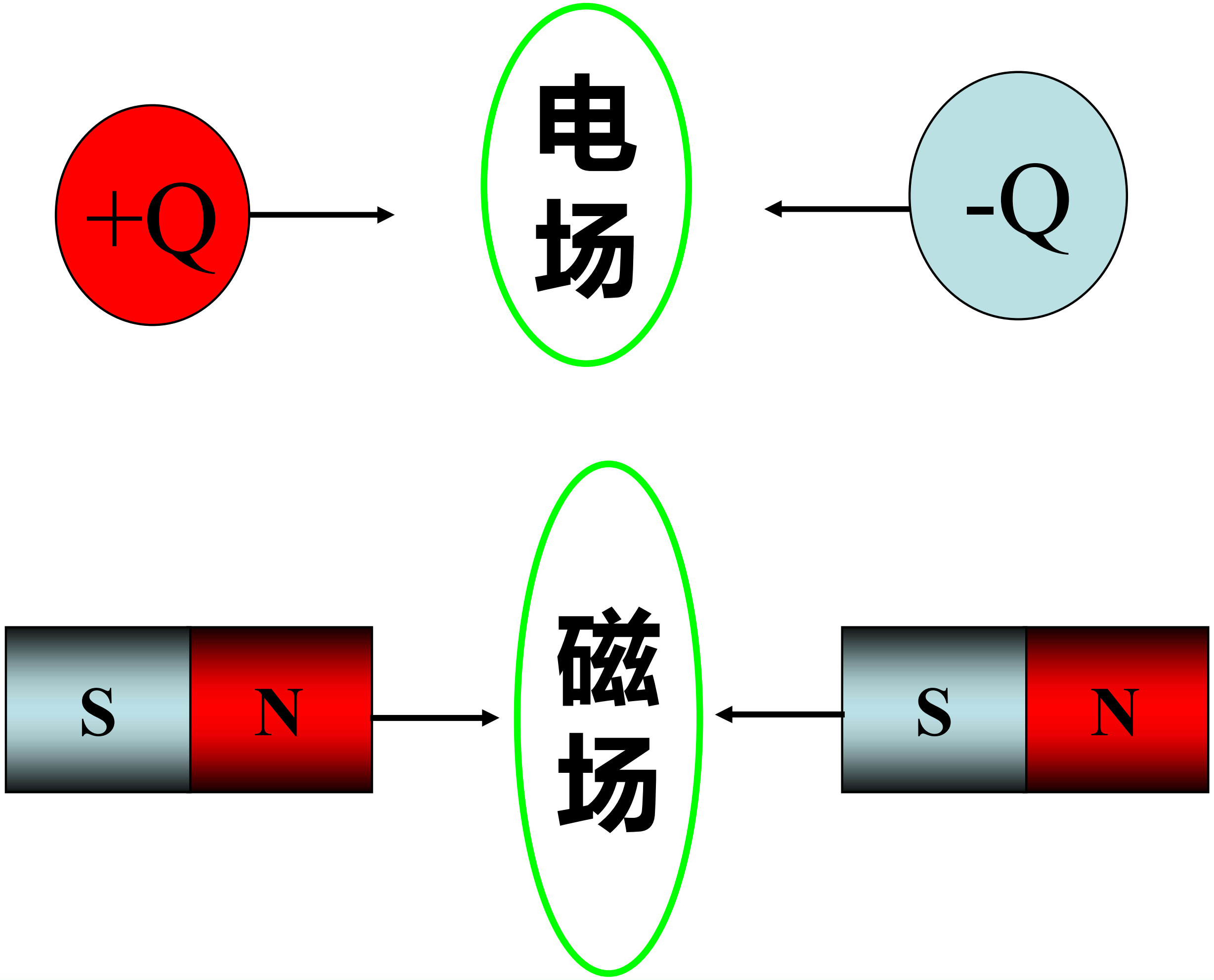
14.2.1 基本磁现象







14.2.2 磁场



14.2.2 磁场

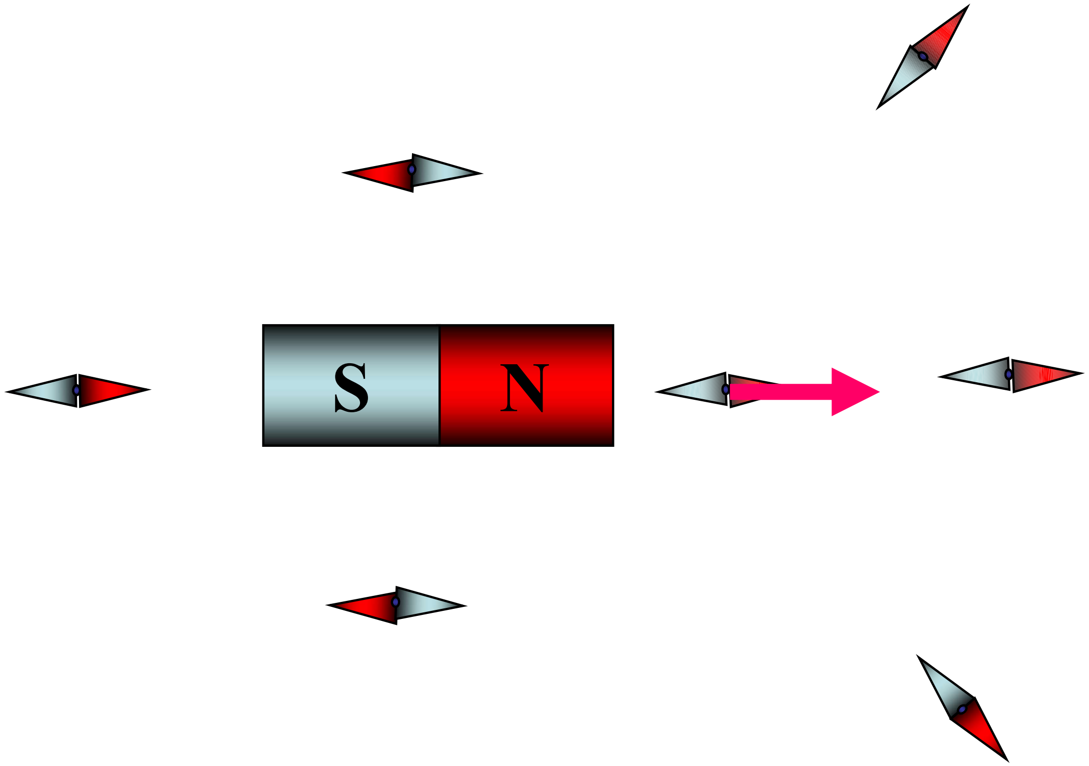
1. 磁场

运动电荷 载流导线 磁　　体	⟷	磁 场	⟷	运动电荷 载流导线 磁　　体

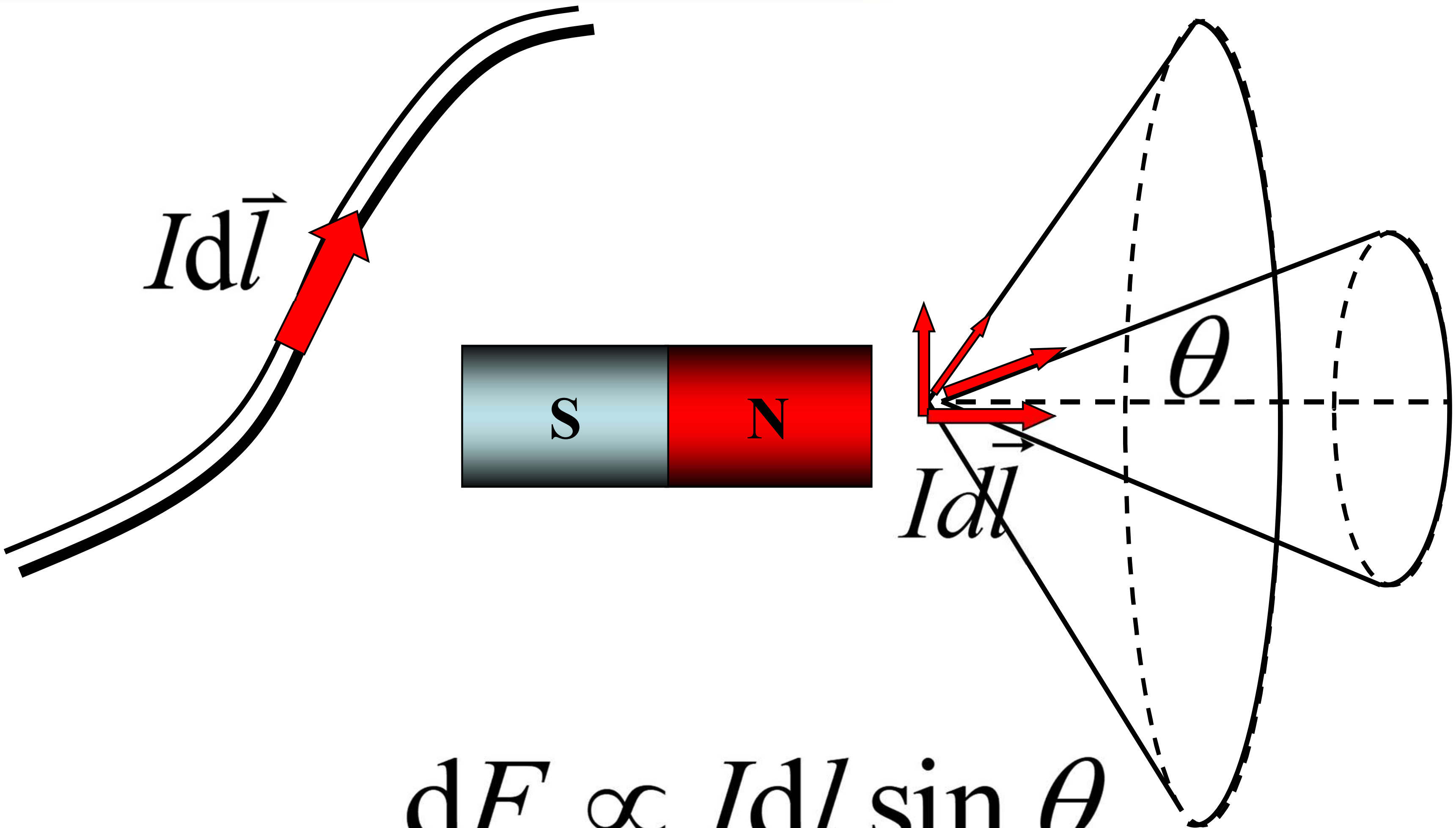
安培：电荷运动产生磁场

　　　对运动电荷有力的作用

14.2.3 磁感应强度



14.2.3 磁感应强度



$$\mathrm{d}F \propto I\mathrm{d}l\sin\theta$$

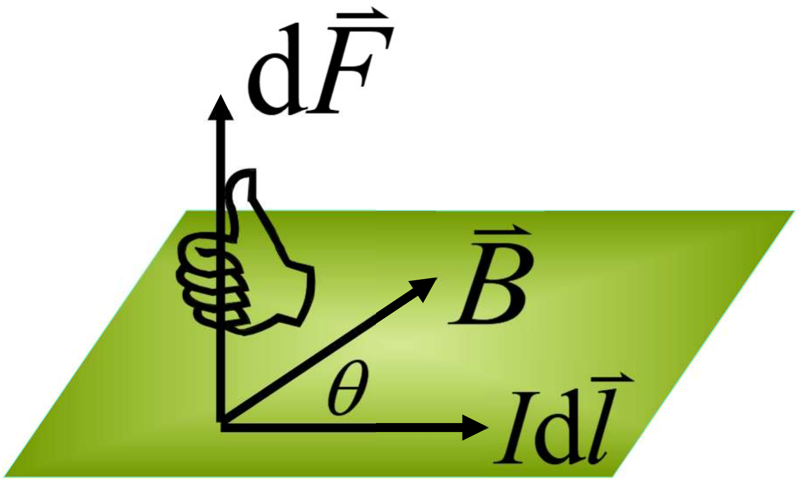
14.2.3 磁感应强度

定义 磁感应强度的大小:

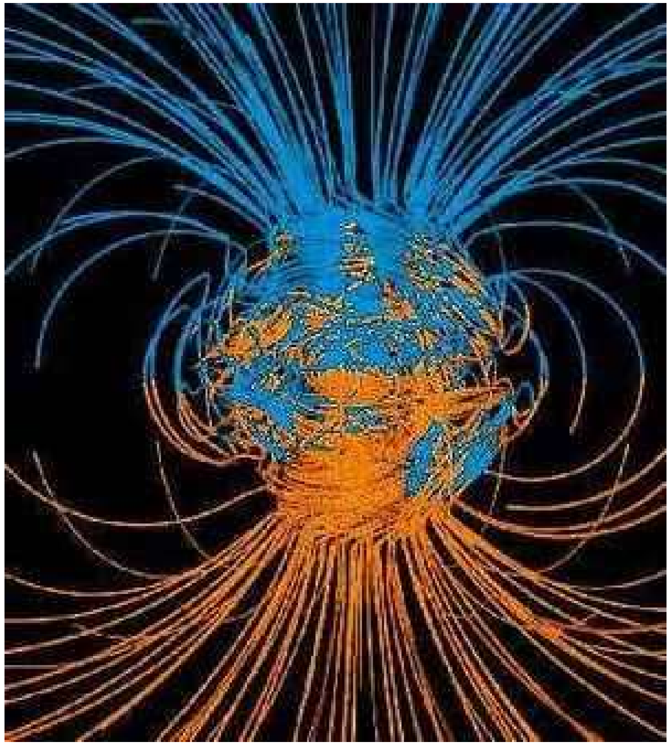
$$B = \frac{\mathrm{d}F}{I\mathrm{d}l\sin\theta}$$ **单位：特斯拉（T）**

$$\mathrm{d}\vec{F} = I\mathrm{d}\vec{l} \times \vec{B}$$

安培力公式



§14.3 场源与磁场

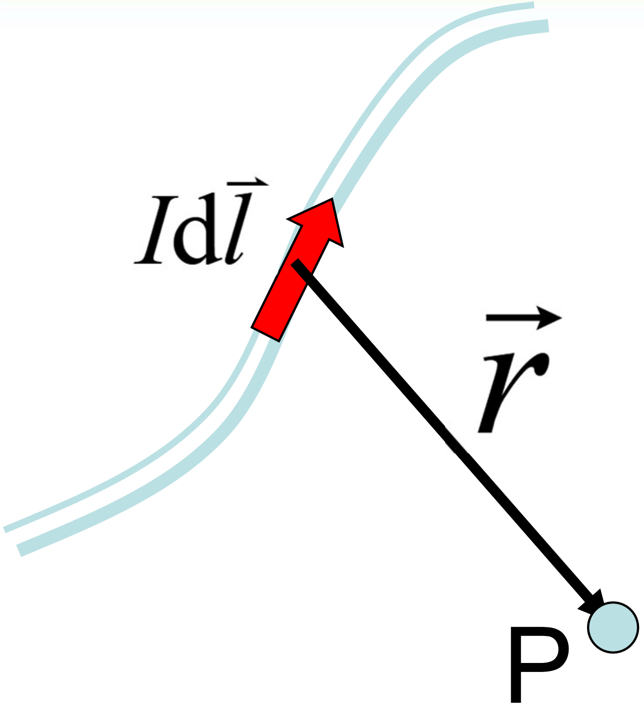


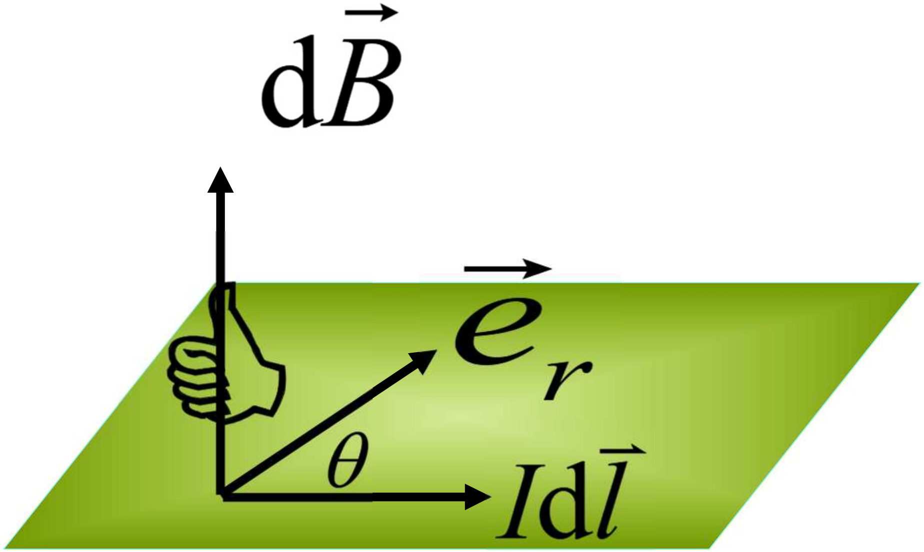
§14.3.1　毕奥－萨伐尔定律

$$q \longrightarrow \mathrm{d}q \longrightarrow \mathrm{d}\vec{E} \longrightarrow \vec{E} = \int \mathrm{d}\vec{E}$$

$$I \longrightarrow I\mathrm{d}\vec{l} \overset{?}{\longrightarrow} \mathrm{d}\vec{B} \longrightarrow \vec{B} = \int \mathrm{d}\vec{B}$$

§14.3.1　毕奥—萨伐尔定律





$$\mathrm{d}\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\mathrm{d}\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\mathrm{d}\vec{l} \times \vec{e}_r}{r^2}$$

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

14.3.2　磁场的叠加原理　毕奥——萨伐尔定律的应用

1.磁场的叠加原理

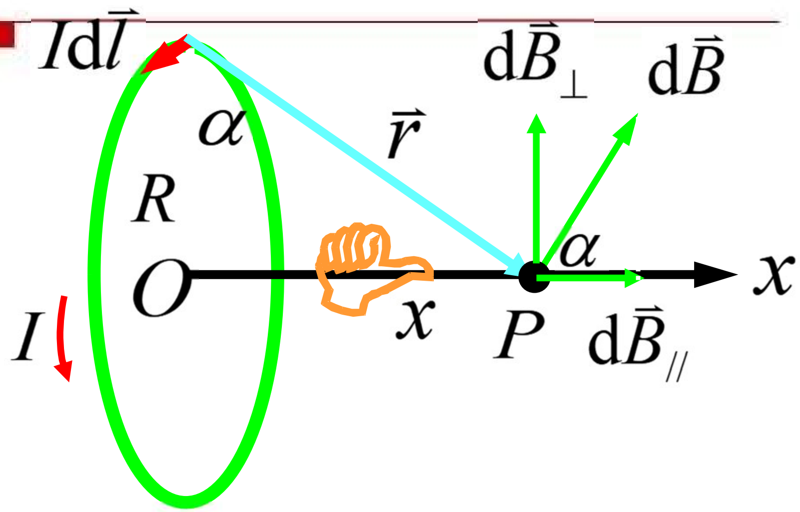
多个磁场源同时存在时，在空间某点产生的磁感应强度等于各个磁场源单独存在时在该点所产生的磁感应强度的矢量和。

2.毕奥—萨伐尔定律的应用

$$\vec{B}=\int \mathrm{d}\vec{B}=\int \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\mathrm{d}\vec{l}\times\vec{e}_r}{r^2}\quad \begin{cases} B_x=\int \mathrm{d}B_x \\ B_y=\int \mathrm{d}B_y \\ B_z=\int \mathrm{d}B_z \end{cases}$$

例 有一半径为 R 的圆线圈，通有电流 I

求 轴线上一点 P 的磁感应强度



解 $\mathrm{d}B = \dfrac{\mu_0}{4\pi}\dfrac{I\mathrm{d}l}{r^2}$

根据对称性 $B_{\perp} = 0$

$$B = \int \mathrm{d}B_{//} = \int \mathrm{d}B\cos\alpha = \oint \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\mathrm{d}l}{r^2}\cos\alpha = \frac{\mu_0 I\cos\alpha}{4\pi r^2}2\pi R$$

$$\cos\alpha = \frac{R}{r} \qquad r = \sqrt{R^2 + x^2}$$

$$B = \frac{\mu_0}{2}\frac{R^2 I}{(x^2 + R^2)^{3/2}}$$

方向满足右螺旋法则

例 有一半径为 R 的圆线圈，通有电流 I

求 轴线上一点 P 的磁感应强度

$$B=\frac{\mu_0}{2}\frac{R^2 I}{(x^2+R^2)^{3/2}}$$

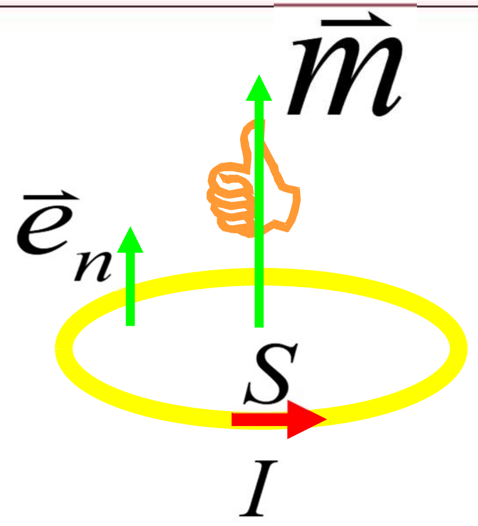
- **讨论**

(1) $x=0$ $\qquad B=\dfrac{\mu_0 I}{2R}$

(2) $x>>R$

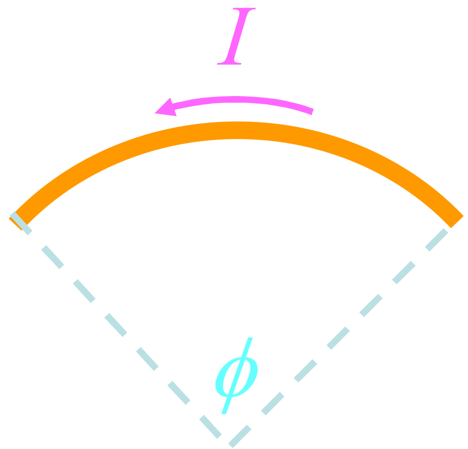
$$B\approx\frac{\mu_0 IR^2}{2x^3}=\frac{\mu_0 IS}{2\pi x^3}$$

$$\vec{m}=NIS\vec{e}_{\mathrm{n}}$$



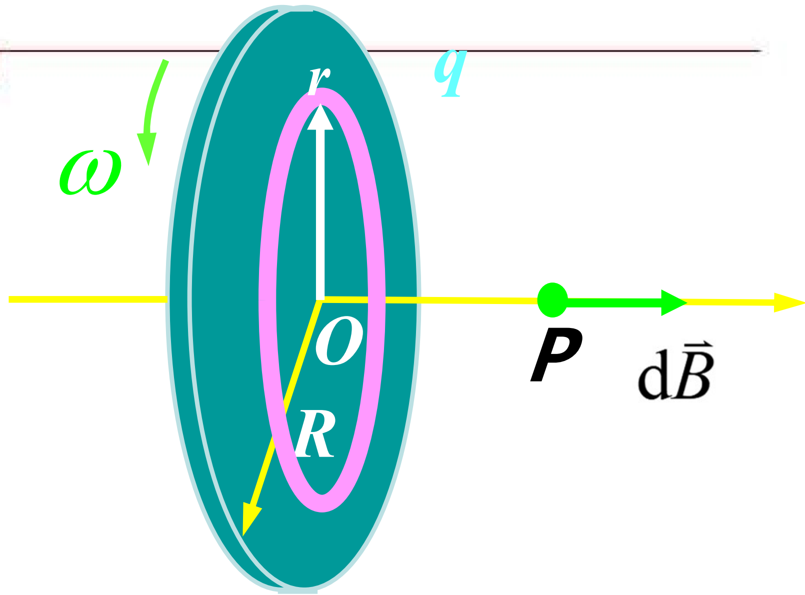
磁感应强度 $\quad \vec{B}=\dfrac{\mu_0}{2\pi}\dfrac{\vec{m}}{x^3} \qquad \vec{E}=\dfrac{\vec{p}}{2\pi\varepsilon_0 x^3}$

(3) 圆弧在圆心处 $\quad B=\dfrac{\mu_0 I}{2R}\cdot\dfrac{\phi}{2\pi}$



例 半径为 R 的均匀带电圆盘，带电为 $+q$，圆盘以匀角速度 ω 绕通过圆心垂直于圆盘的轴转动.

求 圆盘轴线上的磁场和圆盘的磁矩



解

$$\sigma = q/\pi R^2$$

$$\mathrm{d}q = \sigma \cdot 2\pi r \mathrm{d}r$$

$$\mathrm{d}I = \frac{\omega}{2\pi}\mathrm{d}q = \omega\sigma r \mathrm{d}r$$

$$\mathrm{d}B = \frac{\mu_0 r^2 \mathrm{d}I}{2(r^2+x^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 \sigma\omega r^3 \mathrm{d}r}{2(r^2+x^2)^{3/2}}$$

$$B = \int \mathrm{d}B = \frac{\mu_0\sigma\omega}{2}\left[\frac{R^2+2x^2}{\sqrt{x^2+R^2}} - 2x\right]$$

小结

$$\vec{B}=\int \mathrm{d}\vec{B}=\int \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\mathrm{d}\vec{l}\times\vec{e}_r}{r^2}$$