

物理学院



大学物理·电磁学

主讲教师：吴喆

第 11章 静磁学

11.1 磁现象的电本质

11.2 毕奥-萨伐尔定律

11.3 静磁场的高斯定理

11.4 安培环路定理

11.5 介质静磁学

11.6* 铁磁性

11.7 磁场对运动电荷的作用



11.3 静磁场的高斯定理

11.3.1 几种常见的静磁场

- 毕奥-萨伐尔定律

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

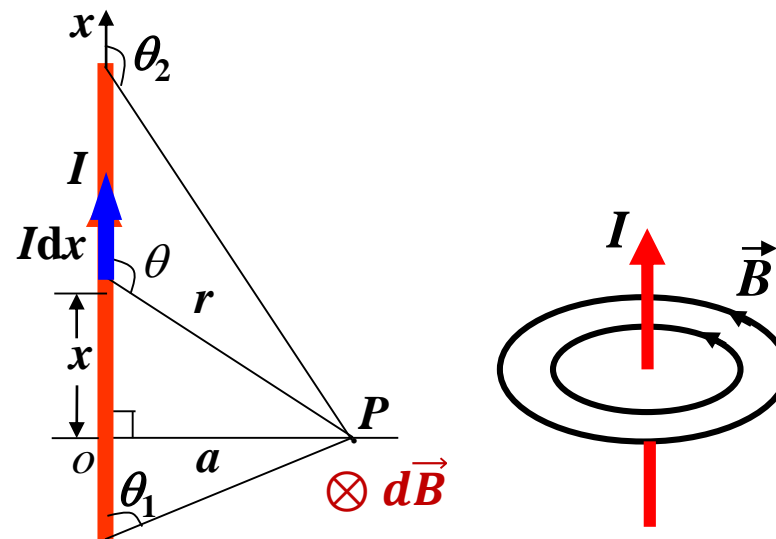
(1) 直线电流的磁场

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} (\cos\theta_1 - \cos\theta_2)$$

磁场方向: 垂直向里。

对无限长直导线,

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$$



11.3.1 几种常见的静磁场

(2) 圆电流轴线上一点的磁场

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

- 在圆电流的圆心 O 处, 因 $x=0$, 故得

磁场方向: 沿轴线向上

$$B_o = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

推广: 任意圆弧圆心处的磁场

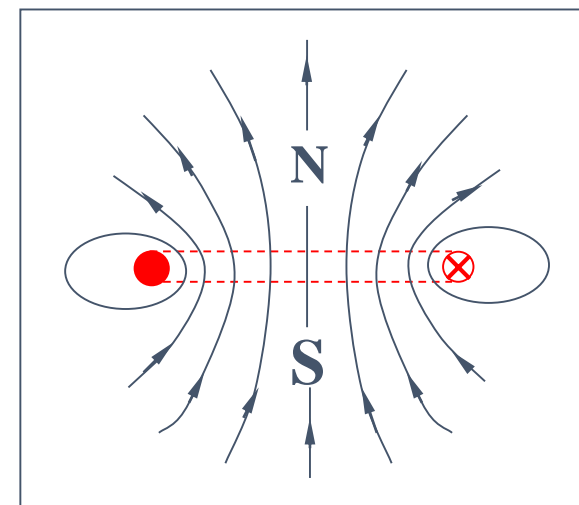
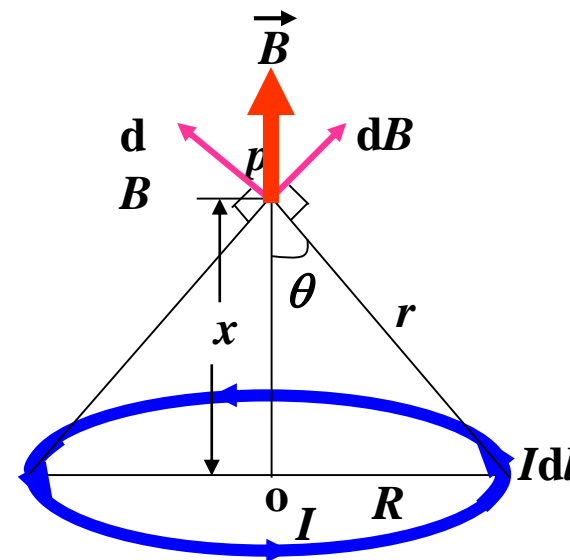
$$B = B_o \cdot \frac{\text{弧长}}{\text{圆周长}}$$

- 若场点 P 远离圆心, 且 $x \gg R$ 有, 则

$$\vec{B} \approx \frac{\mu_0 I R^2}{2x^3} = \frac{\mu_0 \vec{p}_m}{2\pi x^3}$$

磁偶极子的磁矩即载流线圈的磁矩:

$$\vec{p}_m = N I S \vec{e}_n$$



11.3.1 几种常见的静磁场

(3) 螺线管内部轴线上的磁场

$$B = \frac{\mu_0 n I}{2} (\cos \theta_2 - \cos \theta_1)$$

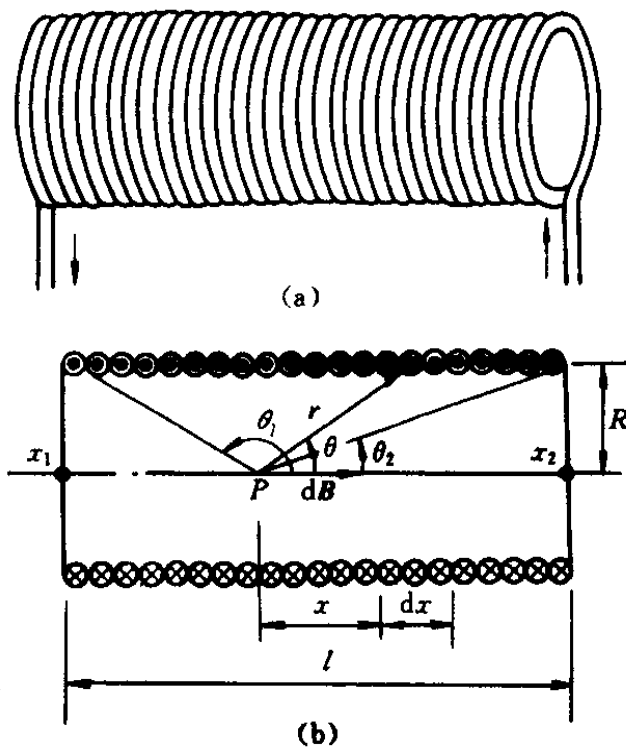
- 当螺线管为无限长时，即管长 $l \gg R$ 。此时

$$B = \mu_0 n I$$

即无限长螺线管轴线上各点 B 相同；还可证明，轴线外其他各点的 B 也相同。

即无限长螺线管内部为**匀强磁场**。

- 在两个端点处的磁感应强度 $B = \frac{\mu_0 n I}{2}$



11.3.2 磁通量

磁通量 $\Phi_B \propto$ 穿过该面的磁力线数目

(1) 匀强磁场 $\Phi_m = \vec{B} \cdot d\vec{S}$

在 SI 制中, 磁通量的单位为韦伯 (Wb)

$$1\text{Wb} = 1\text{T} \cdot \text{m}^2$$

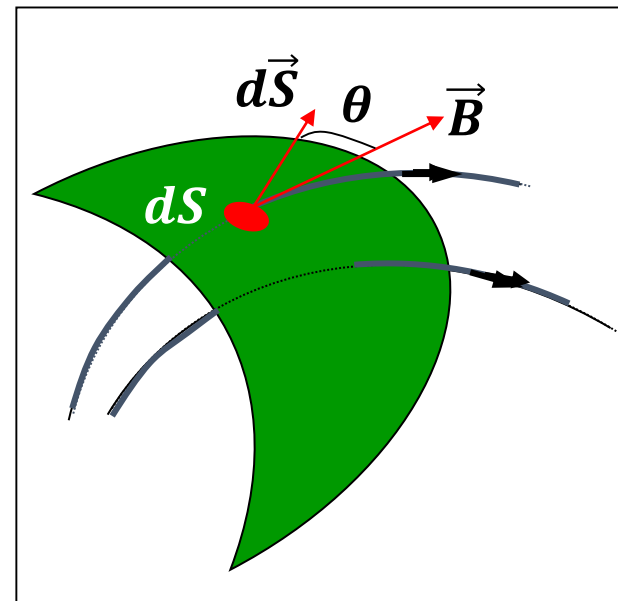
(2) 一般情形 (非匀强磁场, 曲面)

$$\Phi_m = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = \int_S B dS \cos\theta$$

(3) 封闭曲面 (规定取向外的方向为法线的正方向)

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} \rightarrow \text{净通量}$$

- 磁力线从封闭面内穿出时, 磁通量为**正**;
- 磁力线从封闭面外穿入时, 磁通量为**负**。



11.3.3 磁场的高斯定理

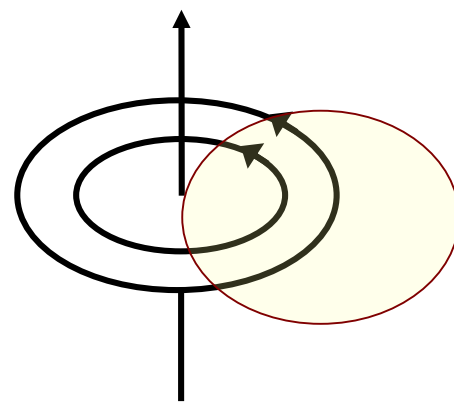
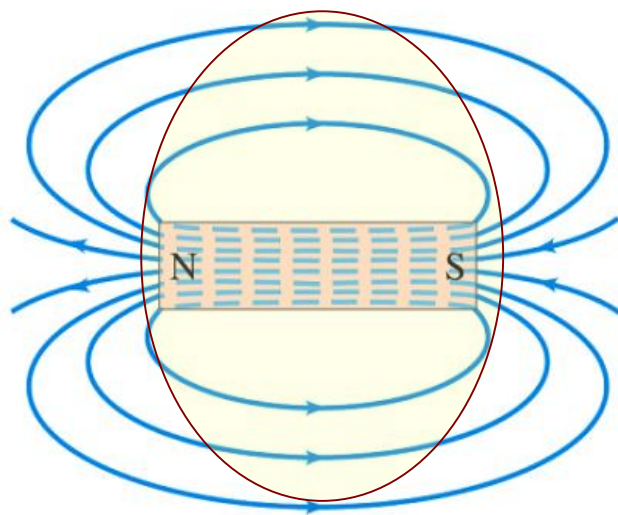
由于磁力线是**无头无尾的闭合曲线**,

因此通过任一闭合曲面磁通量的代数和 (净通量) 必为零, 亦即:

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

——静磁场的高斯定理

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$



11.3.3 磁场的高斯定理

静电学中的
高斯定理

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum q_{\text{内}}$$

静磁学中的
高斯定理

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

微分形式

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

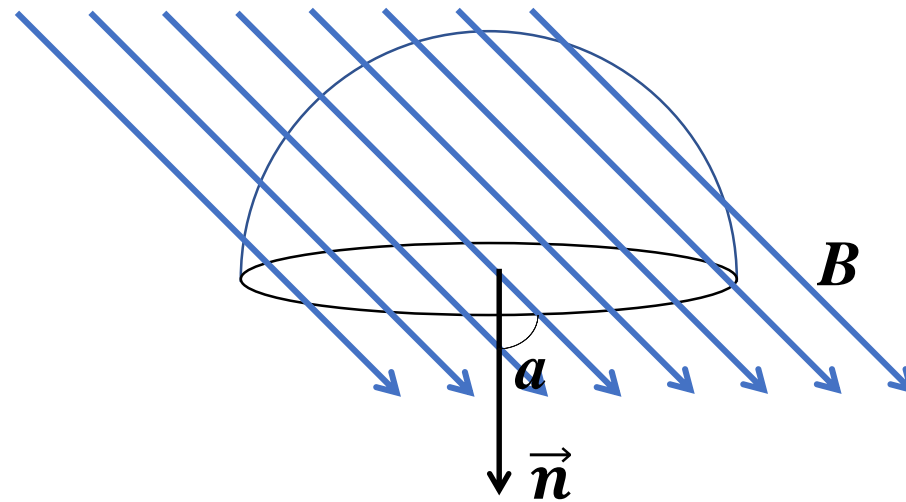
- 在静电场中, 由于自然界有单独存在的正、负电荷, 因此通过一闭合曲面的电通量可以不为零, 这反映了**静电场的有源性**。
- 在磁场中, 磁力线是闭合的, 表明像正、负电荷那样的磁单极是不存在的, **磁场是无源场**。

例11-3 在匀强磁场 \vec{B} 中，有一半径为 r 的半球面 S ， S 边线所在平面的法线方向的单位矢量 \vec{n} 和 \vec{B} 的夹角为 α ，如图所示，则通过半球面 S 的磁通量为 $-B\pi r^2 \cos\alpha$

解：将半球面和圆面组成一个**闭合面**，
则由磁场的**高斯定理**知，通过此闭合面的磁通量为零。

这就是说，通过半球面和通过圆面的磁通量数值相等而符号相反。所以：

$$\begin{aligned}\Phi_m &= \vec{B} \cdot \vec{S} \\ &= -B\pi r^2 \cos\alpha\end{aligned}$$





物理学院

谢谢大家!

