§4. 带电粒子在磁场中的运动

$$\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}$$

1. 磁力的方向（右手螺旋定则）

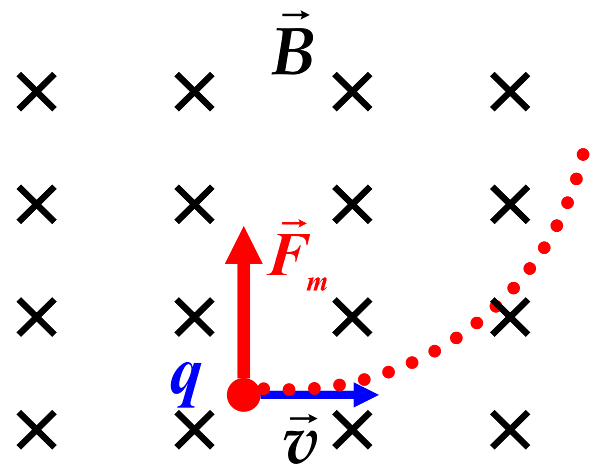
2. 磁力与速度垂直，不做功

一、带电粒子在均匀磁场中运动

1. 速度与磁场垂直

$$F = qvB = m\frac{v^2}{R}$$

$$R = \frac{mv}{qB} \qquad T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{qB}$$



圆周运动的周期与速度无关

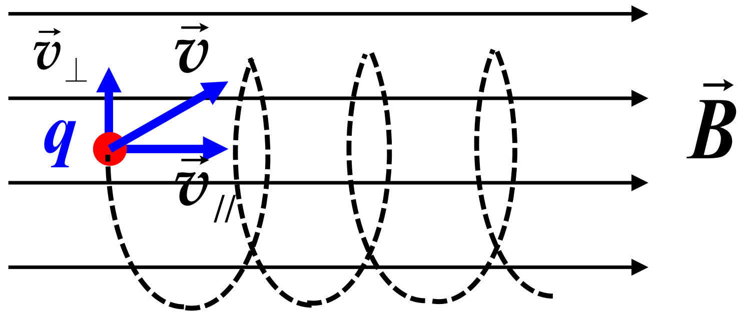
§ 4. 带电粒子在磁场中的运动

一、带电粒子在均匀磁场中运动

2. 速度与磁场平行

$$\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B} = 0$$

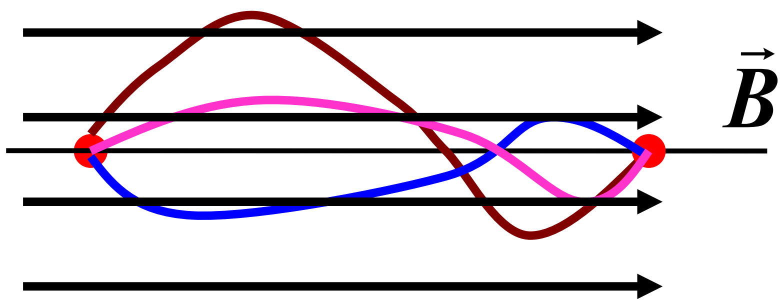
3. 速度与磁场成夹角　　螺旋运动



$$R = \frac{mv_\perp}{qB} \qquad h = v_\parallel T = \frac{2\pi m}{qB} v_\parallel$$

半径　　　　　　　　螺距

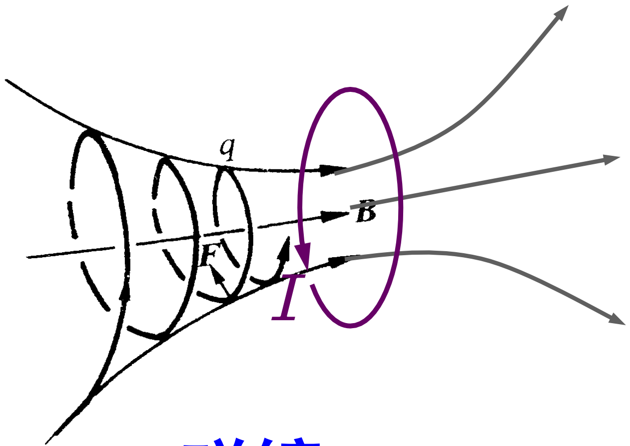
磁聚集（发散角不大，速度相近）



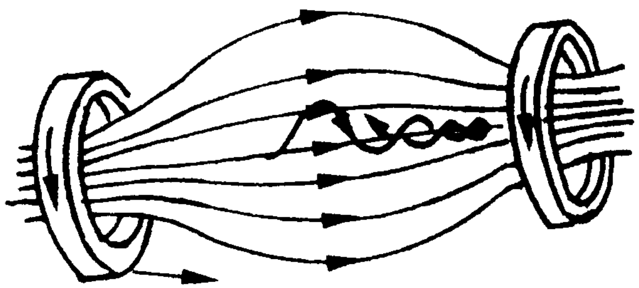
§4. 带电粒子在磁场中的运动

二、带电粒子在非均匀磁场中运动

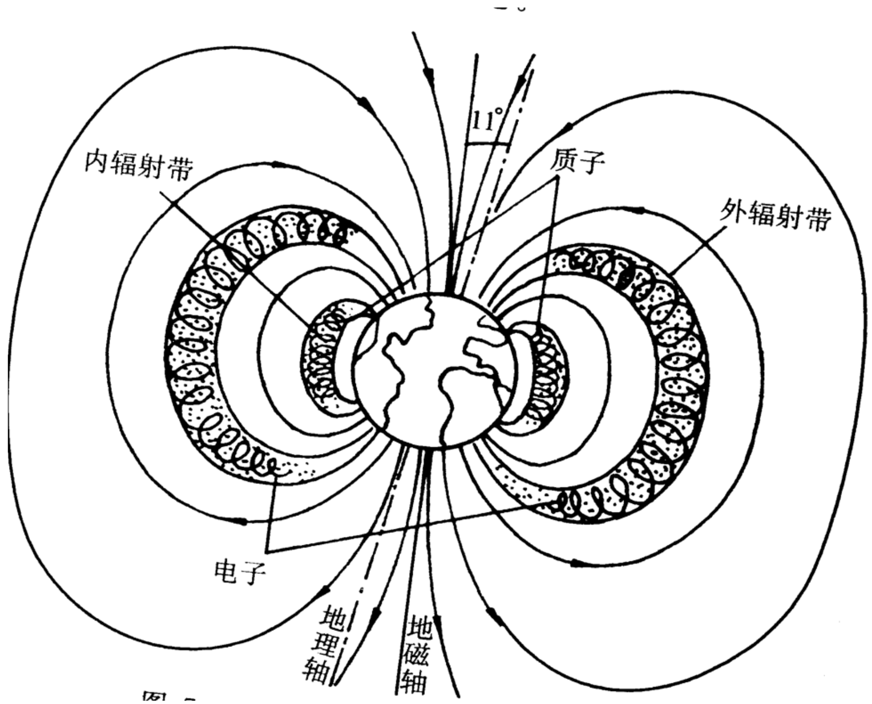
（也是螺旋运动，R 、h 都在变化）



磁镜



磁瓶



地磁场内的范
艾仑辐射带

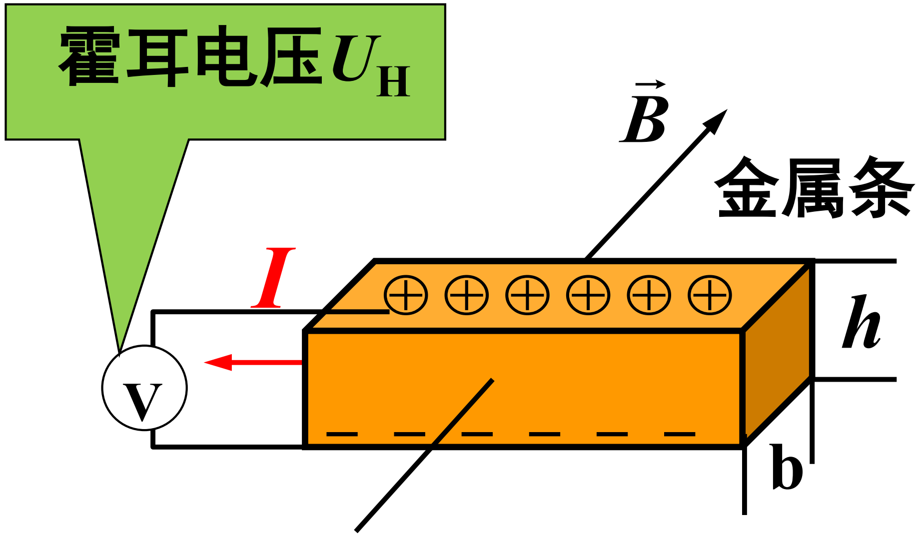
三、霍耳效应

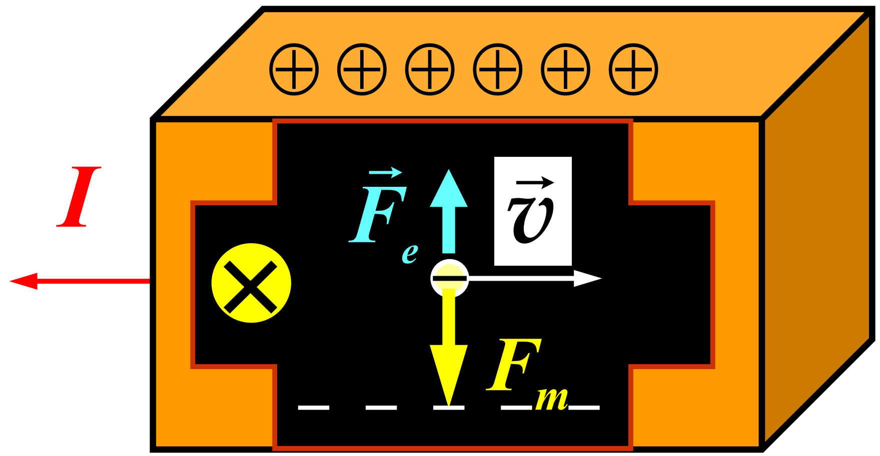
垂直于磁场*B* 和电流*I*的方向出现电势差——霍耳效应

$$F_m = qvB = F_e = qE_H$$

$$\frac{U_H}{h} = E_H = vB = \frac{IB}{nqbh}$$

$$I = nbhvq$$



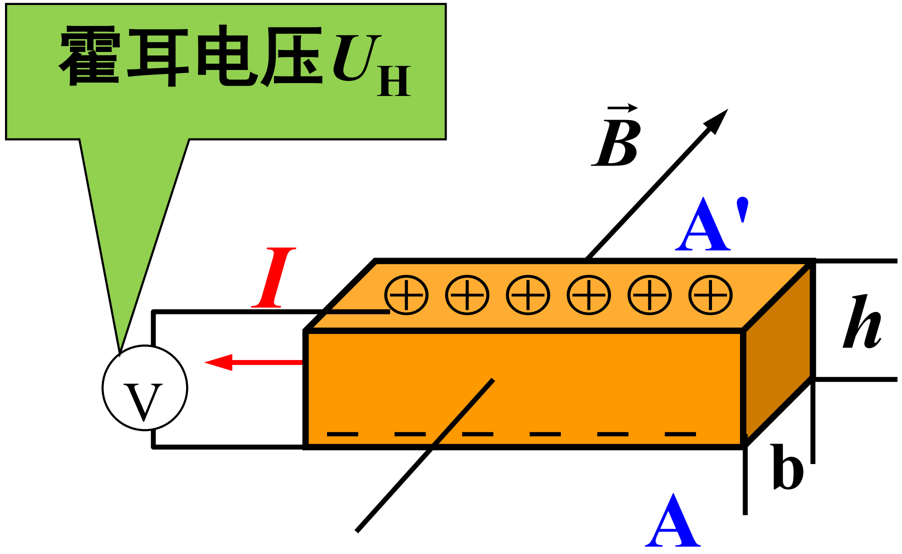


$$U_H = \frac{IB}{nqb} = R_H \frac{IB}{b}$$

$$R_H = \frac{1}{nq}$$ **霍耳系数**

三、霍耳效应

$$U_H = \frac{IB}{nqb}$$



金属中载流子为电子 $U_H = U_{A'A} > 0$

若载流子为正电荷？

P型半导体–空穴导电（正电荷）

N型半导体–电子导电（负电荷）

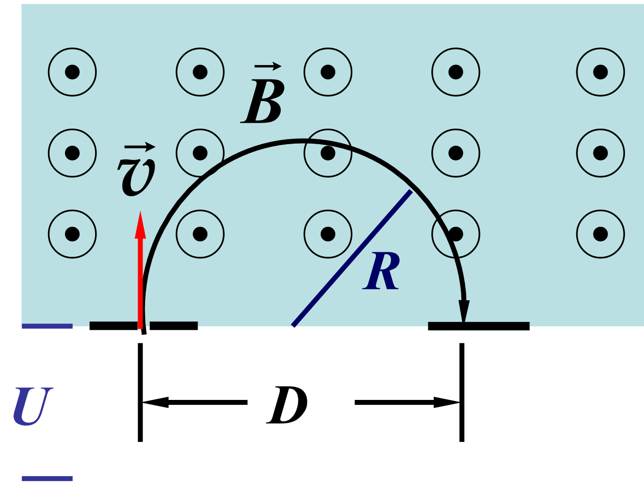
应用：

1.用于判断载流子的种类

2.用于测量磁场

例:质谱仪测粒子的荷质比

实验：加速电压 U，均匀磁场 B，粒子垂直入射，进口到胶片记录位置间距为 D，计算粒子的 Q/m 值。



解：粒子进质谱仪时动能

$$\frac{1}{2}mv^2 = QU \rightarrow m^2v^2 = 2QUm$$

进磁场后做匀速率圆周运动，

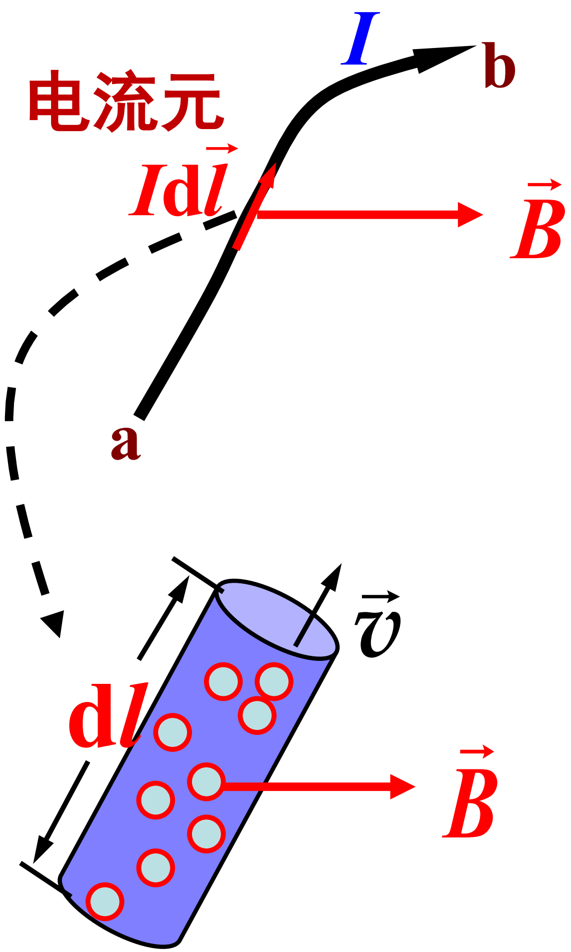
$$R = \frac{mv}{QB} \rightarrow QBR = mv$$

$$\left.\begin{array}{l} \\ \\ \end{array}\right\} \begin{array}{l} (QBR)^2 = 2QUm \\ D = 2R \end{array}$$

$$\frac{Q}{m} = \frac{8U}{(BD)^2}$$

§5. 磁场对电流的作用

一、一段载流导线上的力——安培力



一个载流子受力 $\vec{f} = q\vec{v} \times \vec{B}$

N个载流子受力 $\mathrm{d}\vec{F} = Nq\vec{v} \times \vec{B}$

$$N = n\mathrm{d}V = nS\mathrm{d}l$$

$$\mathrm{d}\vec{F} = nS\mathrm{d}lq\vec{v} \times \vec{B} \qquad I = nSqv$$

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

$$\vec{F} = \int_a^b I\mathrm{d}\vec{l} \times \underline{\vec{B}}$$

电流元所在处的磁场

§ 5. 磁场对电流的作用

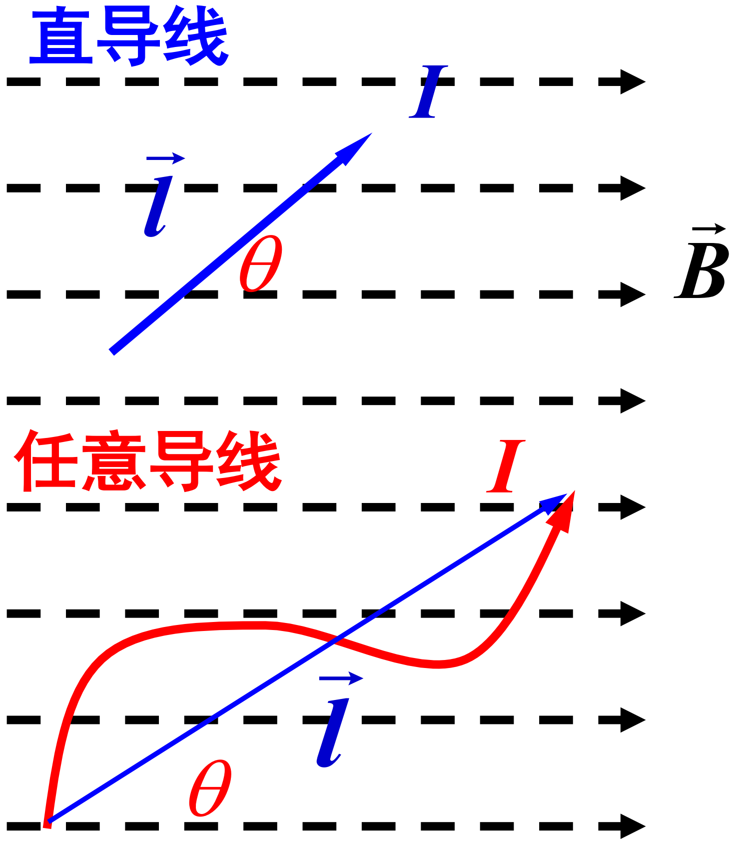
一、一段载流导线上的力—安培力 $\vec{F}=\int_a^b I\mathrm{d}\vec{l}\times\vec{B}$

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

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

$$\vec{l}=\int_l \mathrm{d}\vec{l}$$ — 长度矢量

$$\vec{F}=I\vec{l}\times\vec{B} \qquad F=IBl\sin\theta$$



$$\vec{l}\parallel\vec{B}\rightarrow F=0$$

$$\vec{l}\perp\vec{B}\rightarrow F=IBl$$

闭合线圈？ $F=0$ ！

例： 无限长直导线载流为I，求另一载流直导线MN所受的磁力。

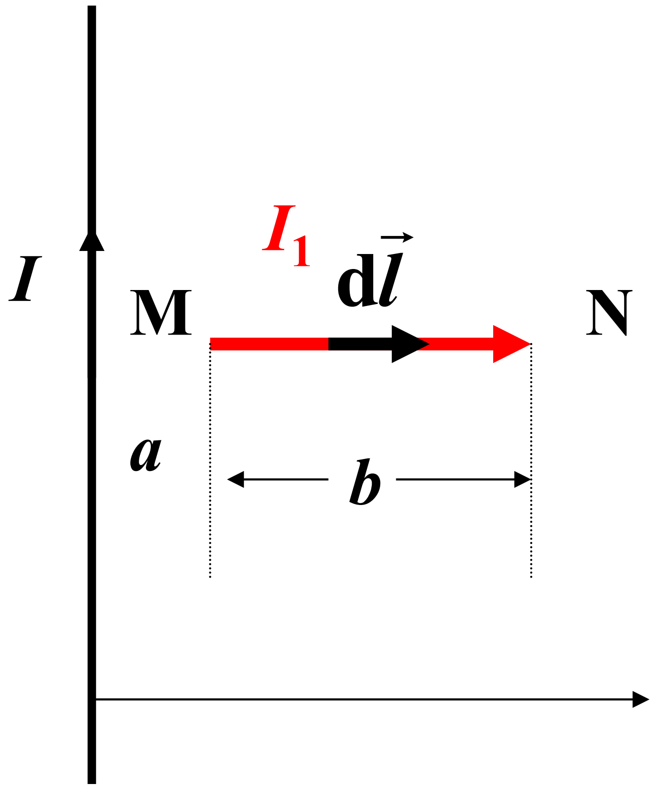
$$\vec{F}=\int_a^b I\mathrm{d}\vec{l}\times\vec{B}$$

$$\mathrm{d}\vec{F}=I_1\mathrm{d}\vec{l}\times\vec{B}\qquad B=\frac{\mu_0 I}{2\pi l}$$

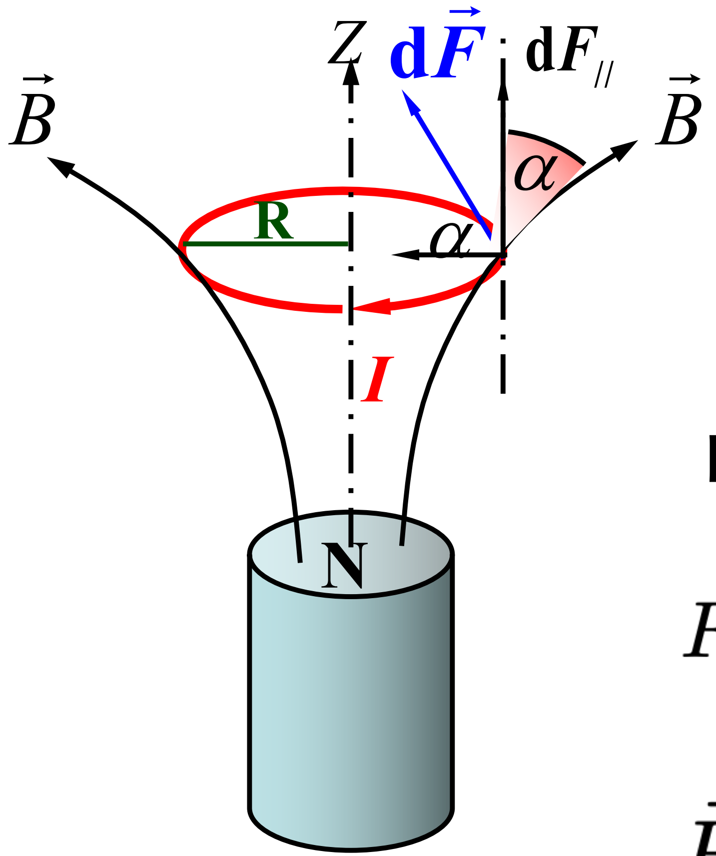
$$\mathrm{d}F=I_1B\mathrm{d}l=I_1\frac{\mu_0 I}{2\pi l}\mathrm{d}l$$

$$F=\int_a^{a+b}\frac{\mu_0 II_1}{2\pi l}\mathrm{d}l$$

$$=\frac{\mu_0 II_1}{2\pi}\ln\frac{a+b}{a}$$ 方向向上



例： 磁铁N极正上方水平放一半径为R的载流导线环，沿环处 $\vec{B}$ 与垂直方向夹角为α（如图）求：导线环受的磁力。



解：一小段电流元受力

$$\mathrm{d}\vec{F} = I\mathrm{d}\vec{l} \times \vec{B} \qquad \begin{cases} \mathrm{d}F_{\perp} = \mathrm{d}F\cos\alpha \\ \mathrm{d}F_{\parallel} = \mathrm{d}F\sin\alpha \end{cases}$$

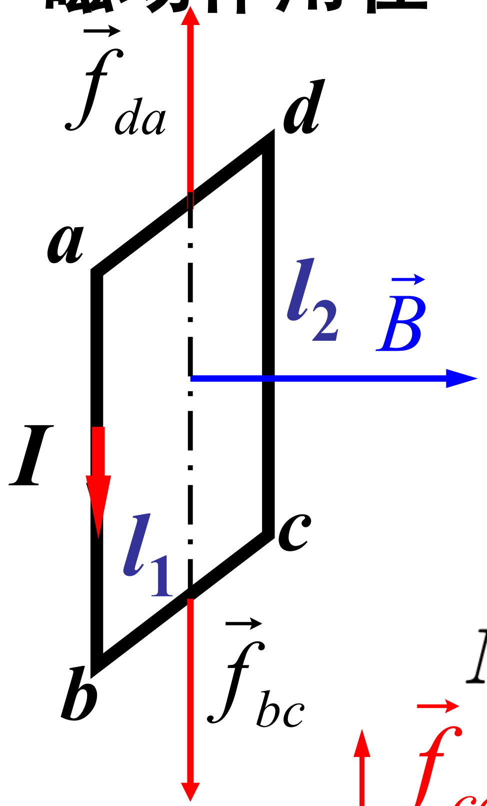
$$\mathrm{d}F = IB\mathrm{d}l$$

由对称性：$F_{\perp} = \oint \mathrm{d}F_{\perp} = 0$

$$F_{\parallel} = \oint IB\mathrm{d}l\sin\alpha = IB\sin\alpha \oint \mathrm{d}l$$

$$\vec{F} = 2\pi RIB\sin\alpha\vec{k}$$ 方向向上

二、磁场作用在一平面刚性载流线圈上的安培力矩



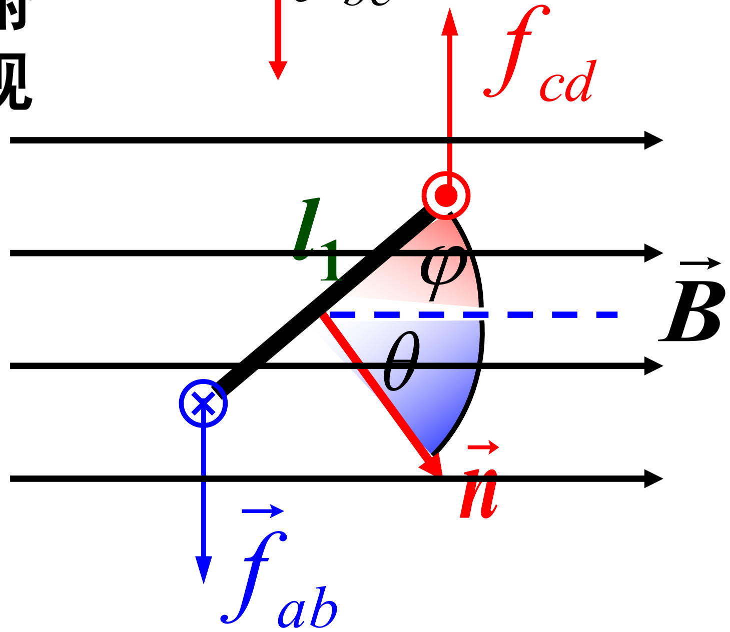
均匀磁场 $\vec{F}=0$

$\vec{f}_{da}=-\vec{f}_{bc}$ 作用在一直线上

$\vec{f}_{ab}=-\vec{f}_{cd}$ 不作用在一直线上

力矩 $\vec{M}\neq 0$
$$\left\{\begin{aligned}|M| &= f_{cd}l_1\cos\alpha = IBl_2l_1\cos\alpha \\ &= IBS\sin\theta\end{aligned}\right.$$
方向：⊙（俯视图上）

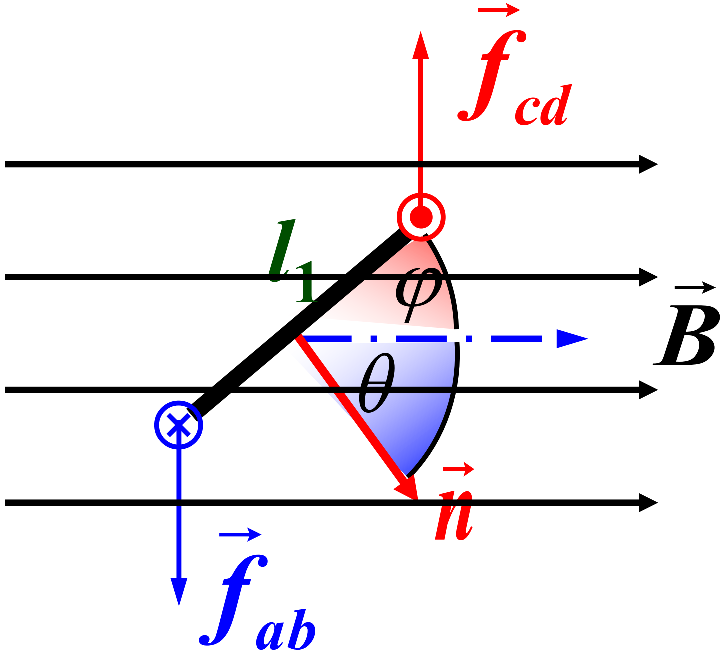
俯视



磁矩 $\vec{m}=IS\vec{n}$

$\vec{M}=\vec{m}\times\vec{B}$ 磁力矩

二、磁场作用在一平面刚性载流线圈上的安培力矩



$$\vec{M} = \vec{m} \times \vec{B}$$ 磁力矩

磁力矩力图使磁矩转向磁场的方向

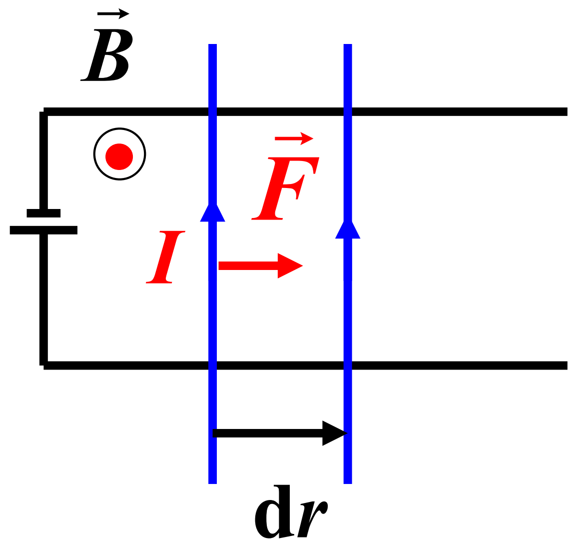
对任意形状平面线圈成立！

$$\begin{cases} \vec{m} \perp \vec{B} \rightarrow M = mB \\ \vec{m} \parallel \vec{B} \rightarrow M = 0 \quad \begin{cases} \theta = 0 & \text{稳定平衡} \\ \theta = \pi & \text{非稳定平衡} \end{cases} \end{cases}$$

§5. 磁场对电流的作用

三、恒定磁场中安培力做功

1. 载流导线在均匀磁场中运动



保持 I 不变

$$A=\int \vec{F}\cdot \mathrm{d}\vec{r} \ =\int (I\vec{l}\times \vec{B})\cdot \mathrm{d}\vec{r}$$

$$=\int IlB\mathrm{d}r = IB(S'-S)$$

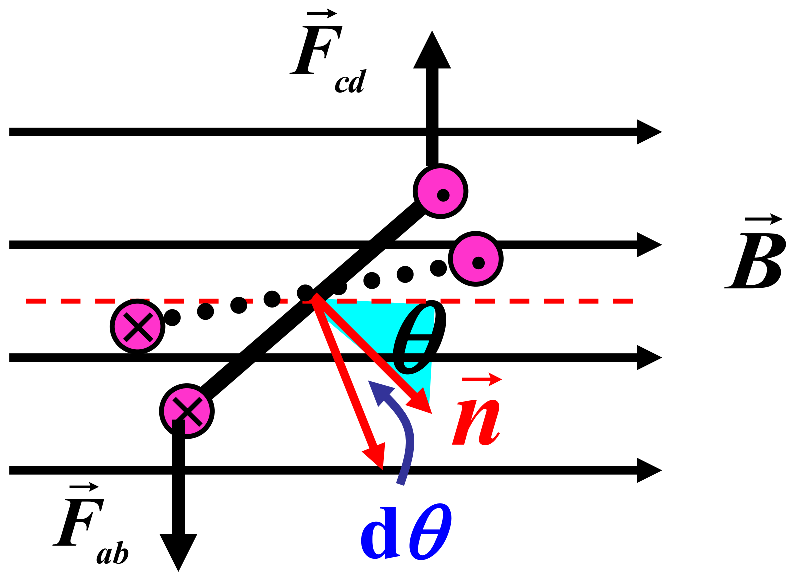
$$=I(\Phi_m'-\Phi_m)$$

$$A=I\Delta\Phi_m$$

§ 5. 磁场对电流的作用

三、恒定磁场中安培力做功

2. 载流线圈在均匀磁场中转动



保持 I 不变

$$\vec{M} = \vec{m} \times \vec{B}$$

$$M = ISB\sin\theta$$

沿 θ 角增加的方向转动 $\mathrm{d}\theta$　**磁力矩作功**

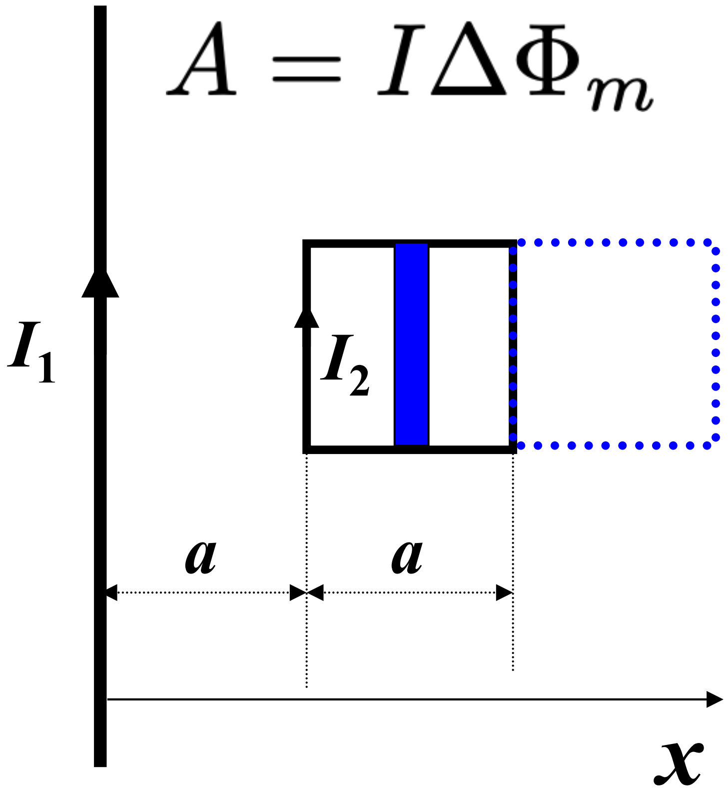
$$\mathrm{d}A = -M\mathrm{d}\theta = -ISB\sin\theta\mathrm{d}\theta$$

$$= I\mathrm{d}(BS\cos\theta) = I\mathrm{d}\Phi_m$$

$$A = \int_{\Phi_1}^{\Phi_2} I\mathrm{d}\Phi_m \qquad \boxed{A = I\Delta\Phi_m}$$

例： 一长直导线（I_1）旁有一个共面的正方形线圈（边长a, I_2）在保持电流不变的条件下，将它们的距离从a 移到$2a$，求磁场对正方形线圈所作的功.

$$A = I\Delta\Phi_m$$



$$\mathrm{d}\Phi_m = B\mathrm{d}S = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi x} a\mathrm{d}x$$

$$\Phi_1 = \int_a^{2a} \frac{\mu_0 I_1}{2\pi x} a\mathrm{d}x = \frac{\mu_0 I_1 a}{2\pi}\ln 2$$

$$\Phi_2 = \frac{\mu_0 I_1 a}{2\pi}\ln\frac{3}{2}$$

$$A = I_2\Delta\Phi_m = I_2(\Phi_2 - \Phi_1)$$

$$= \frac{\mu_0 I_1 I_2 a}{2\pi}(\ln\frac{3}{2} - \ln 2) \quad < 0$$

磁场做负功