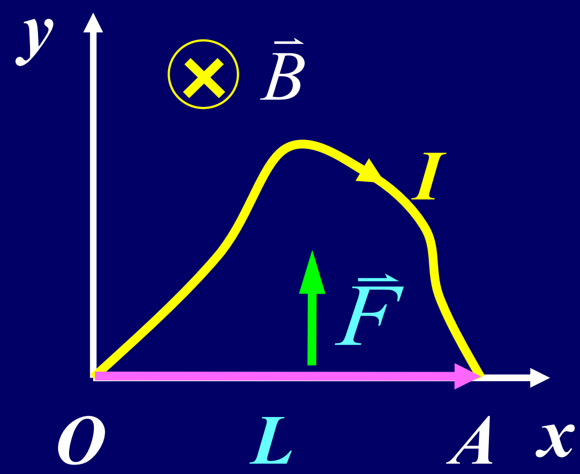
$$\boxed{\oint_L \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{l} = \mu_0 \sum I_{i内}}$$ —— 安培环路定律

磁场是有旋场

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

在匀强磁场中的闭合电流受力

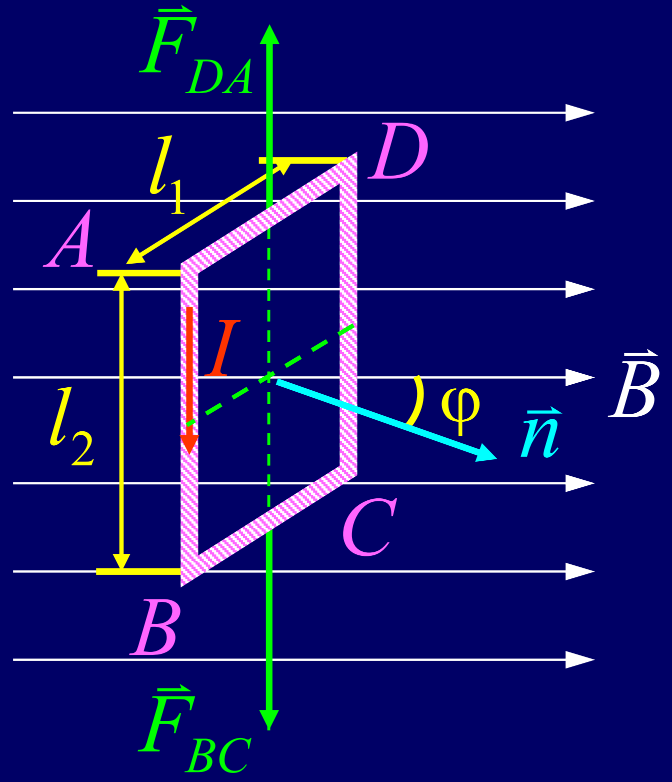
$$\vec{F} = I\left(\oint \mathrm{d}\vec{l}\right)\times \vec{B} = 0$$



$$\vec{F}_{\overset{\frown}{OA}} = \vec{F}_{\overline{OA}}$$

二. 磁场对平面载流线圈的作用

1. 在均匀磁场中的刚性矩形载流线圈



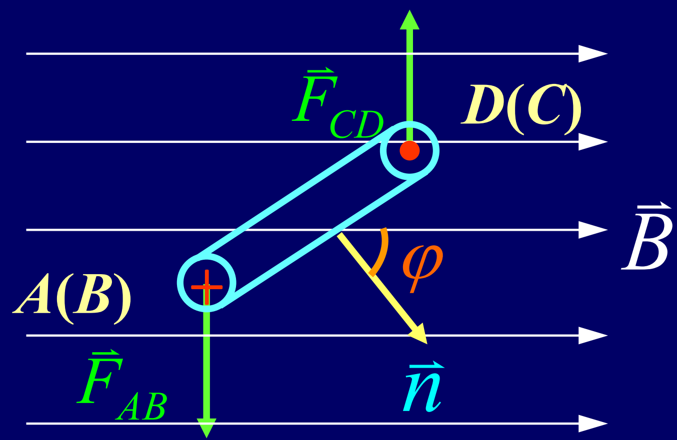
$$F_{DA} = l_1 BI \sin\left(\frac{\pi}{2}+\varphi\right) = F_{BC}$$

(方向相反在同一直线上)

$$F_{CD} = F_{AB} = BIl_2$$

(方向相反不在一条直线上)

$$\sum \vec{F}_i = 0$$ (线圈无平动)



对中心的力矩为

$$M = F_{AB}\frac{l_1}{2}\sin\varphi + F_{CD}\frac{l_1}{2}\sin\varphi$$

$$= l_1 l_2 BI \sin\varphi$$

令 $\vec{S} = S\vec{n} = l_1 l_2 \vec{n}$　　$\vec{p}_m = IS\vec{n}$

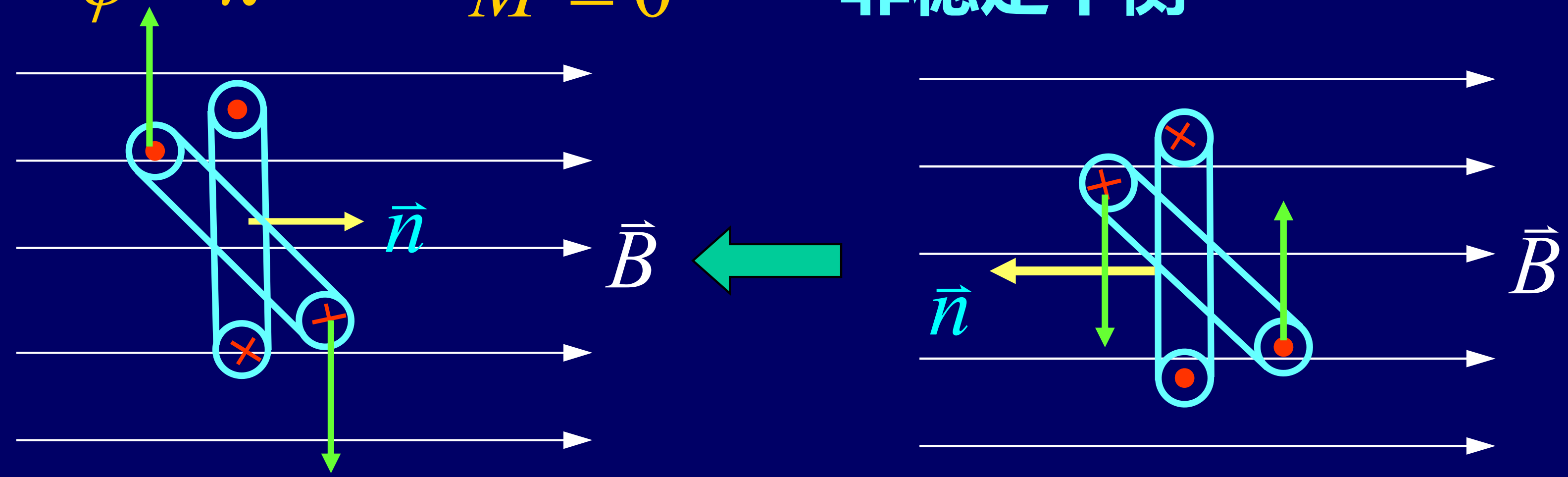
$$\boxed{\vec{M} = \vec{p}_m \times \vec{B}}$$

在均匀磁场中任意形状的平面载流线圈 $\boxed{\vec{M} = \vec{p}_m \times \vec{B}}$

(1) 线圈若有N 匝线圈 $\boxed{\vec{M} = N\vec{p}_m \times \vec{B}}$

(2) $\varphi = 0$ $\vec{M} = 0$ 稳定平衡

$\varphi = \pi$ $\vec{M} = 0$ 非稳定平衡



在M 的作用下，总是使线圈向着稳定平衡的状态旋转

(3) 非均匀磁场中的平面电流环

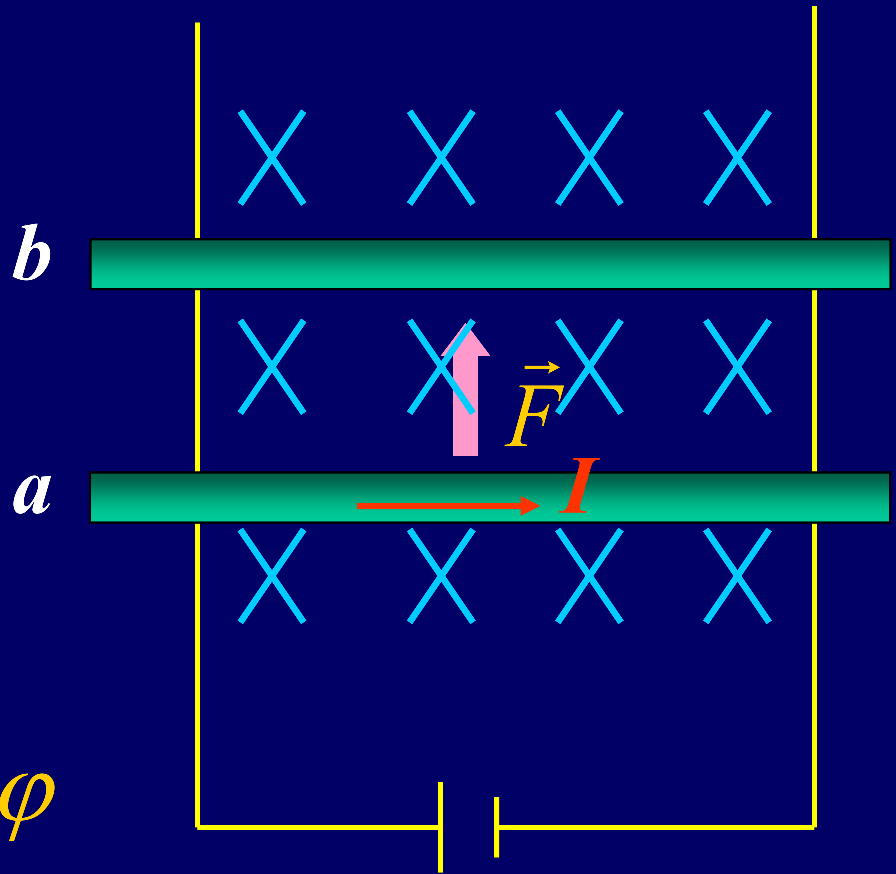
$\sum \vec{F}_i \neq 0$ $\vec{M} \neq 0$ 线圈有平动和转动

三. 磁场力的功

1.载流导线在均匀磁场中

$$A = F \cdot \overline{ab} = BIL \cdot \overline{ab}$$

$$= BI\Delta S = I\Delta\Phi_m$$



2.平面载流线圈在均匀磁场中

$$\mathrm{d}A = -M\mathrm{d}\varphi = -BIS\sin\varphi\mathrm{d}\varphi$$

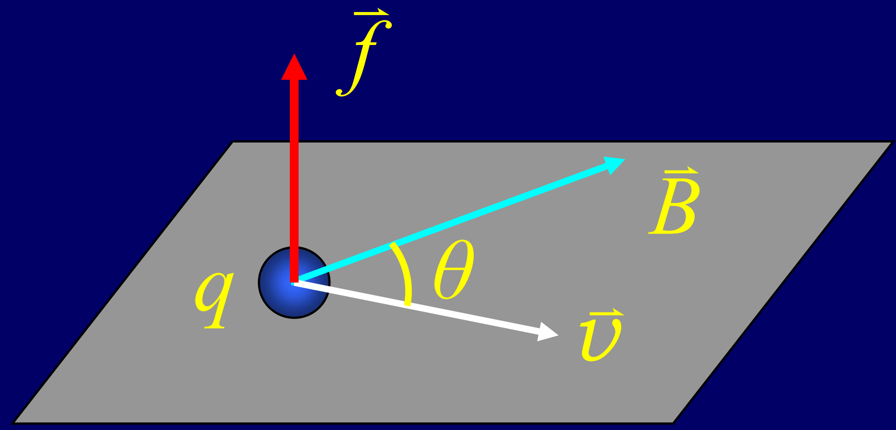
$$= I\mathrm{d}(BS\cos\varphi) = I\mathrm{d}\Phi_m$$

$$\left|\vec{M}\right| = \left|\vec{p}_m \times \vec{B}\right| = BIS\sin\varphi$$

$$\boxed{A = \int_{\Phi_{m1}}^{\Phi_{m2}} I\mathrm{d}\Phi_m = I(\Phi_{m2} - \Phi_{m1}) = I\Delta\Phi_m}$$

§ 11.6 带电粒子在磁场中的运动

一. 洛伦兹力公式



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

$$I\mathrm{d}\vec{l} = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t}\mathrm{d}\vec{l} = nsqv\mathrm{d}\vec{l}$$

$$= \mathrm{d}N \cdot q\vec{v}$$

$$\mathrm{d}\vec{F} = \mathrm{d}Nq\vec{v} \times \vec{B}$$

一个电荷受到的磁场力 $\vec{f} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{F}}{\mathrm{d}N} = q\vec{v} \times \vec{B}$

讨论

(1)洛伦兹力对电荷不作功

(2) 电场和磁场同时存在

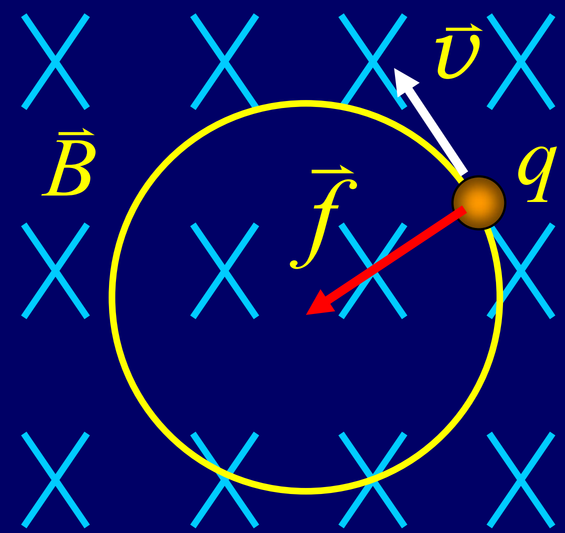
$$\boxed{\vec{F} = \vec{f}_{\mathrm{e}} + \vec{f}_{\mathrm{m}} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}}$$

二. 带电粒子在均匀磁场中的运动

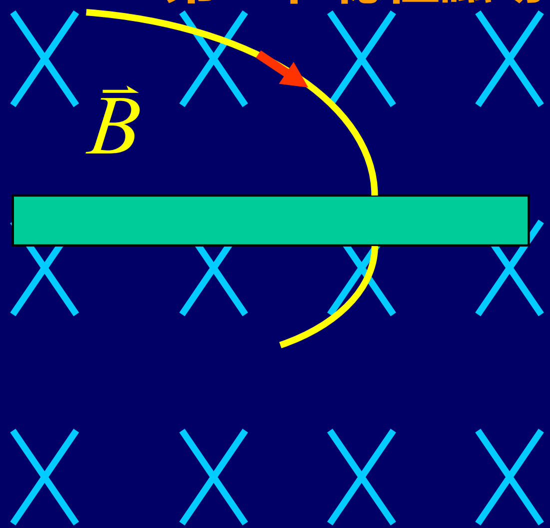
1. $\vec{\upsilon}//\vec{B}$ 情况 $\left|\vec{f}\right|=\left|q\vec{\upsilon}\times\vec{B}\right|=0$ 匀速直线运动

2. $\vec{\upsilon}\perp\vec{B}$ 情况 $\vec{f}\perp\vec{\upsilon}$ 匀速圆周运动

$$q\upsilon B\sin\frac{\pi}{2}=m\frac{\upsilon^2}{R} \Rightarrow R=\frac{m\upsilon}{qB}$$



粒子回转周期 $T=\dfrac{2\pi R}{\upsilon}=\dfrac{2\pi m}{qB}$



负电荷

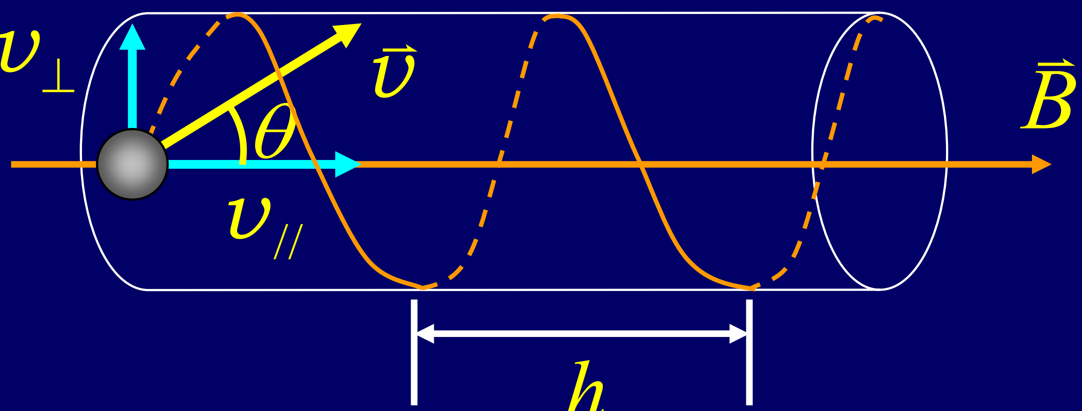
$$R = \frac{m\upsilon}{qB}$$

- 3. 一般情况

$$\upsilon_{//} = \upsilon\cos\theta$$

$$\upsilon_{\perp} = \upsilon\sin\theta$$

带电粒子作螺旋运动



$$R = \frac{m\upsilon_{\perp}}{qB} = \frac{m\upsilon\sin\theta}{qB}$$

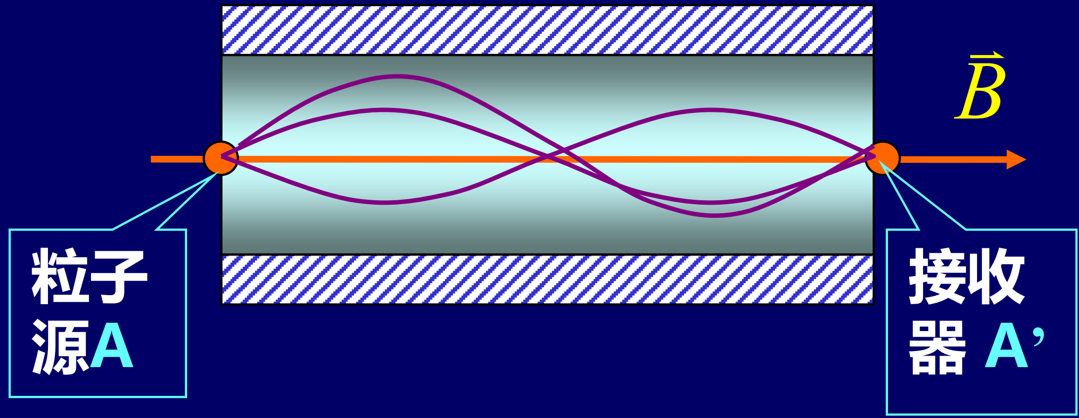
$$h = \upsilon_{//}T = \frac{2\pi m\upsilon\cos\theta}{qB}$$

- 磁聚焦原理

θ很小时

$$\upsilon_{//} \approx \upsilon \qquad \upsilon_{\perp} \approx \upsilon\theta$$

$$h = \upsilon_{//} T \approx \frac{2\pi m\upsilon}{qB}$$



发散角不太大的带电粒子束，经过一个周期后，重新会聚

- 磁约束原理

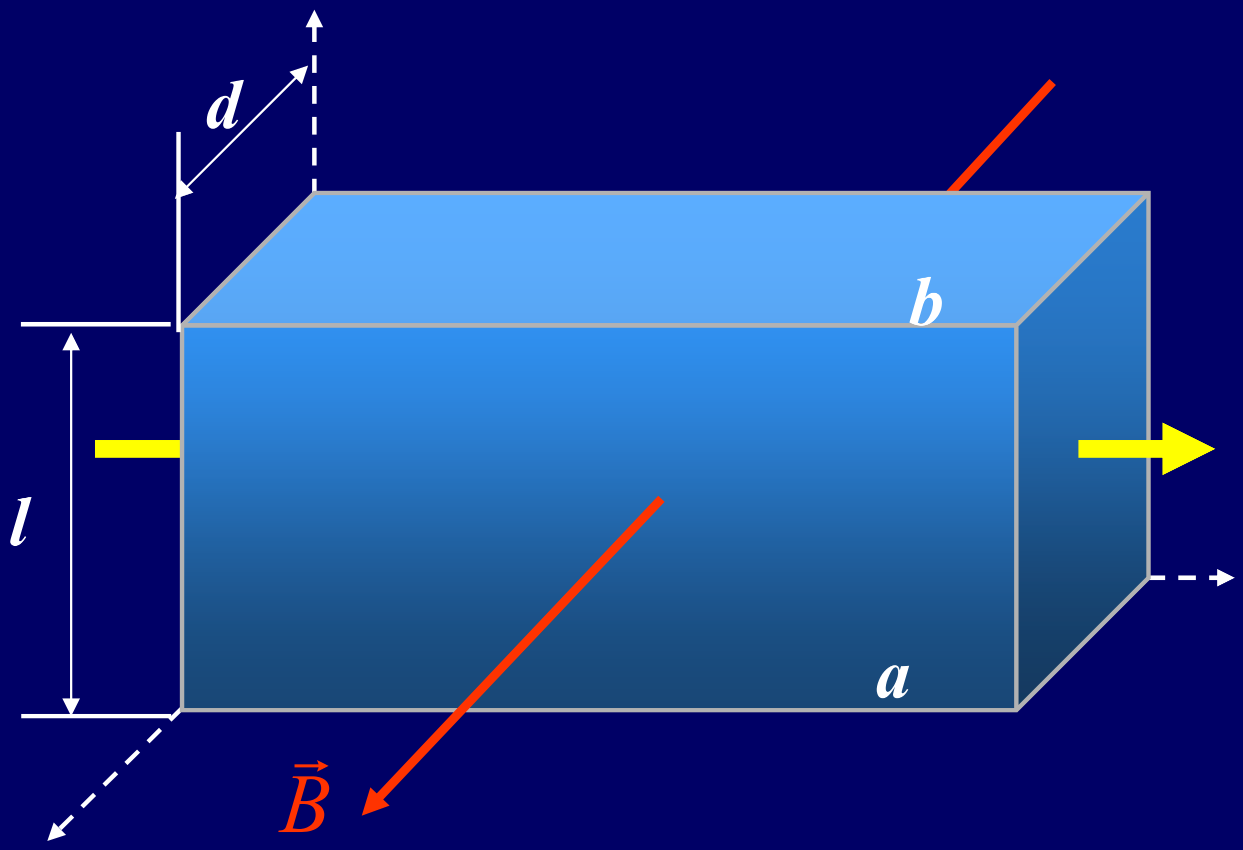
$$\boxed{R = \frac{m\upsilon_{\perp}}{qB} = \frac{m\upsilon \sin\theta}{qB}}$$

磁场增强，运动半径减少

强磁场可约束带电粒子在一根磁场线附近

—— 横向磁约束

三. 霍尔效应



实验结果

$$U_{ab} = K\,IB/d$$ 霍尔电势差

K **霍耳系数**

受力分析

洛伦兹力:

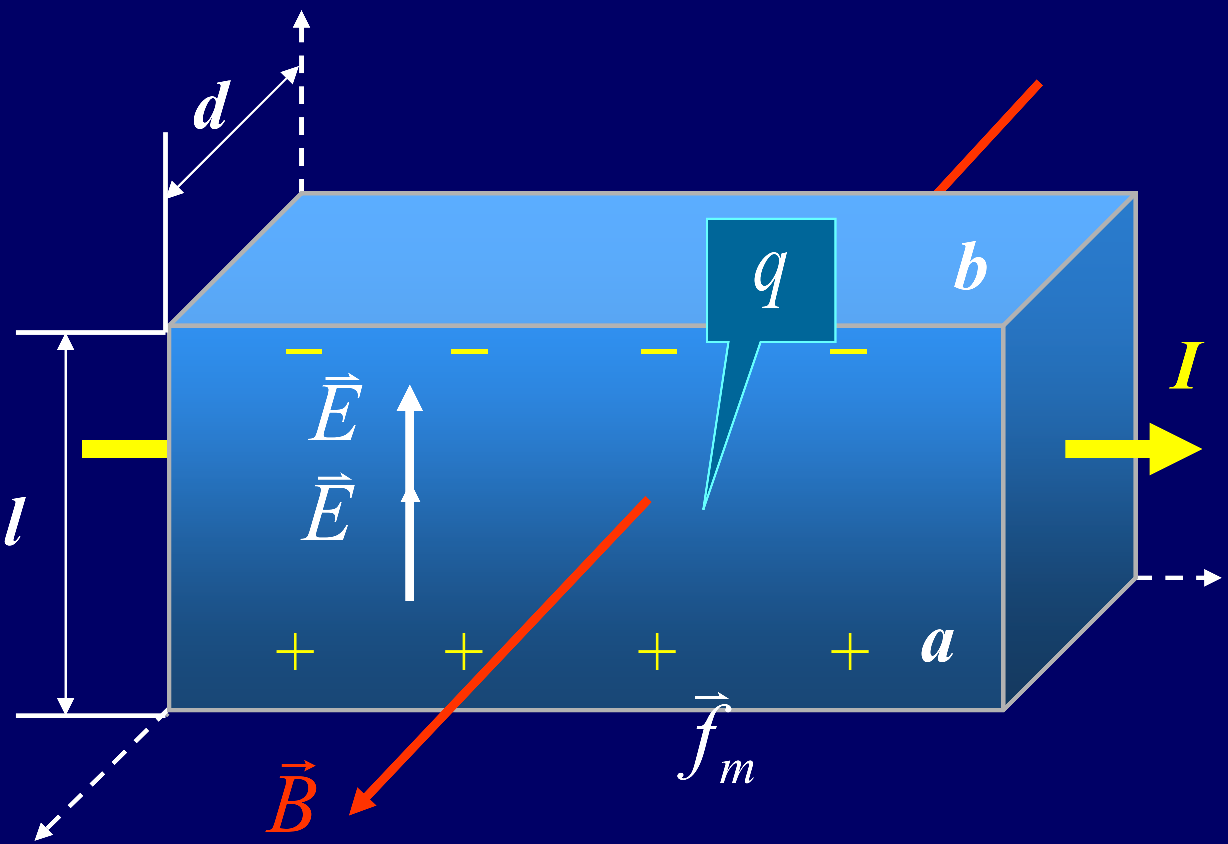
$$\vec{f}_m = q\vec{v}\times\vec{B}$$

(方向向下)

横向电场力:

$$\vec{f}_e = q\vec{E}$$

(方向向上)



当达到动态平衡时: $q\vec{E} + (q\vec{v}\times\vec{B}) = 0$

$$\left.\begin{aligned} E_h &= vB \\ u_{ab} &= E_h l = vBl \\ I &= nqvS = nqvld \end{aligned}\right\} U_{ab} = \frac{IB}{nqd} \Rightarrow K = \frac{1}{nq}$$

(霍耳系数)

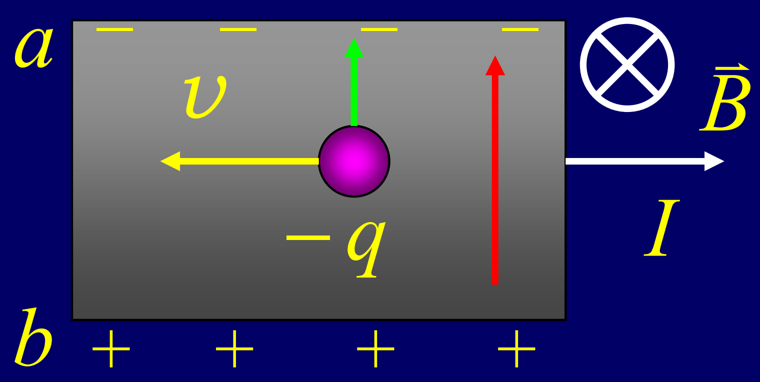
$$K = \frac{1}{nq}$$

讨论

(1) 通过测量霍尔系数可以确定导电体中载流子浓度

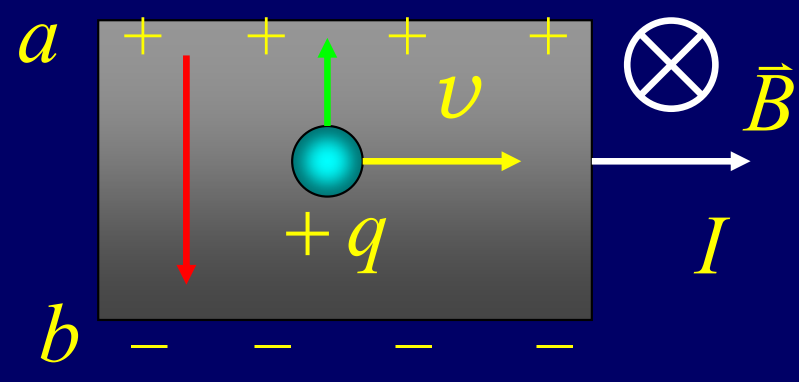
(2) 区分半导体材料类型

—— 霍尔系数的正负与载流子电荷性质有关



N 型半导体

$u_a < u_b \qquad K < 0$



P 型半导体

$u_a > u_b \qquad K > 0$