第十次课学习要求：

1、结合课件“恒定磁场**-3-2020**”，观看金课建设平台上的**8.12-8.19**视频**.**

2、要求掌握以下知识点

（**1**）洛伦兹力和洛伦兹关系及其应用；

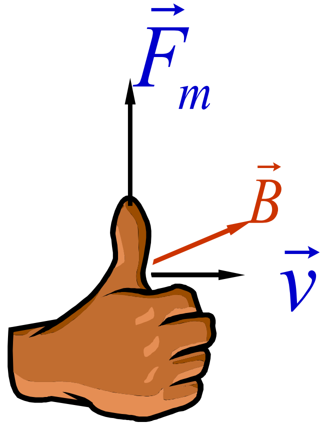
（**2**）安培定律的理解及应用；

（**3**）磁场对载流线圈的作用力矩，区分开磁矩、磁通量、磁力矩。

§2-3 带电粒子在磁场中的运动

运动电荷在磁场中受到的磁场力称为洛仑兹力

$\vec{F}_m = q\vec{v}\times\vec{B}$　其大小为：$F_m = qvB\sin\theta$



其方向为：垂直于$q\vec{v}$ 与 $\vec{B}$所确定的平面

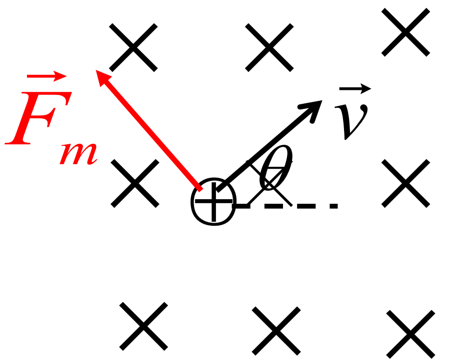
用右手螺旋关系判断

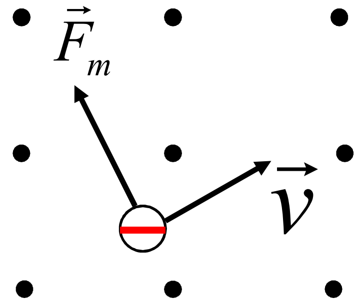
洛仑兹力的特点：

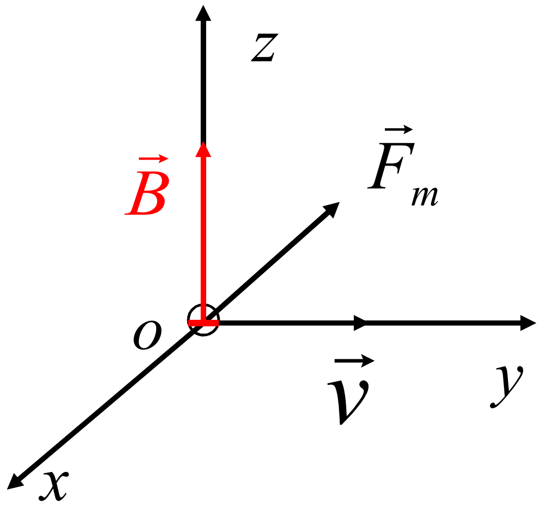
洛仑兹力始终与运动电荷的速度垂直，洛仑兹力不做功，只改变电荷的运动方向，不改变其大小。

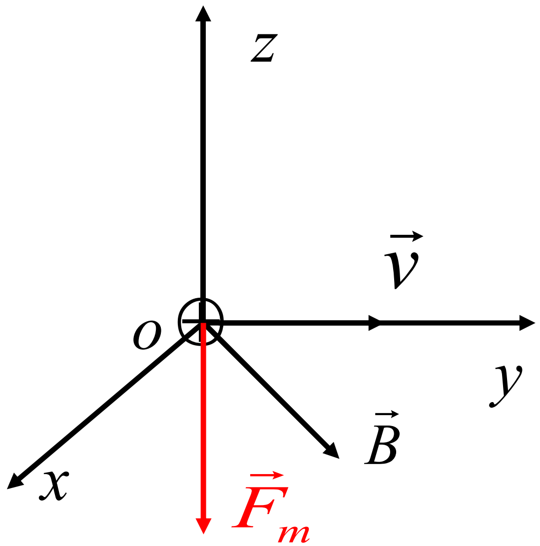
若空间中既有电场又有磁场，则运动电荷受到的力为

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


$\vec{F}_m$
$\vec{v}$
θ

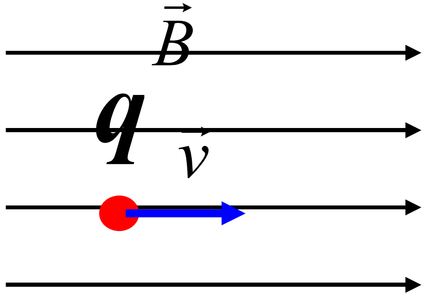

$\vec{F}_m$
$\vec{v}$


z
$\vec{B}$
$\vec{F}_m$
o
$\vec{v}$
y
x


z
$\vec{v}$
o
y
$\vec{B}$
x
$\vec{F}_m$

一、带电粒子在均匀磁场中的运动

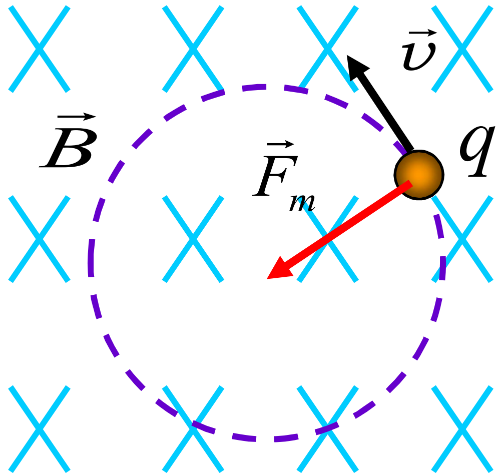
(1) $\vec{v} \,//\, \vec{B} \Rightarrow \vec{F}_m = 0$



匀速直线运动

(2) $\vec{v} \perp \vec{B}$　磁力提供向心力。

$$qvB\sin\frac{\pi}{2} = m\frac{v^2}{R} \Rightarrow R = \frac{mv}{qB}$$



粒子回转周期与频率

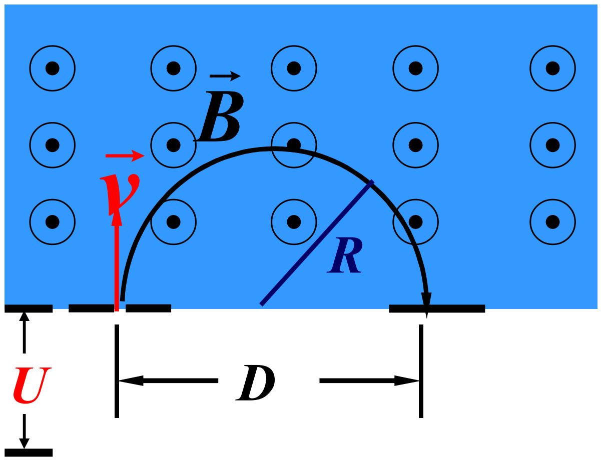
$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB} \Rightarrow \nu = \frac{qB}{2\pi m}$$

匀速率圆周运动

周期和频率与速度无关.

质谱仪

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



粒子进质谱仪时动能

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

进磁场后做匀速率圆周运动，

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

$$2R = D$$

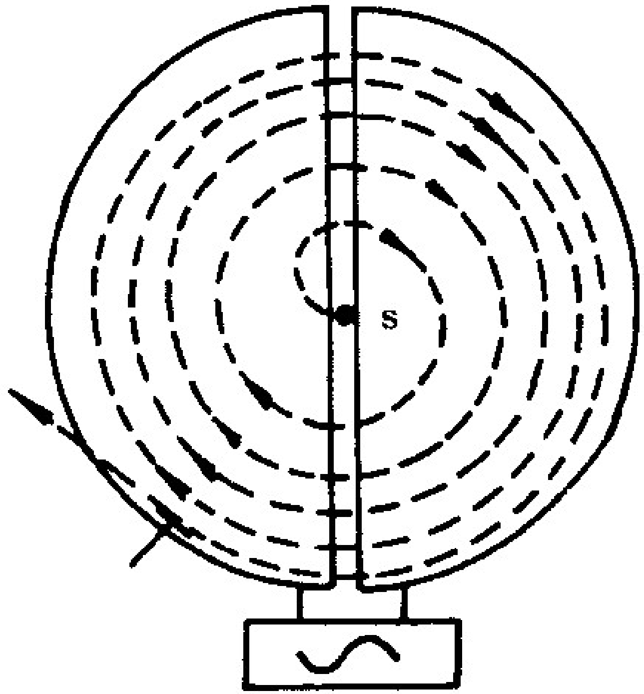
$$\left(QB\frac{D}{2}\right)^2 = 2QUm$$

测定荷质比 $\dfrac{Q}{m} = \dfrac{8U}{(BD)^2}$

分离同位素 $m = \dfrac{(BD)^2}{8U}Q$

回旋加速器（cyclotron）

电子回旋周期与速度无关，所以带电粒子每次经过缝隙（电场区域）均被加速。



交变电场 $\sim 10^5 V$

$$v_{\max} = \omega R = \frac{qBR}{m}$$

$$E_T = \frac{q^2 B^2 R^2}{2m}$$

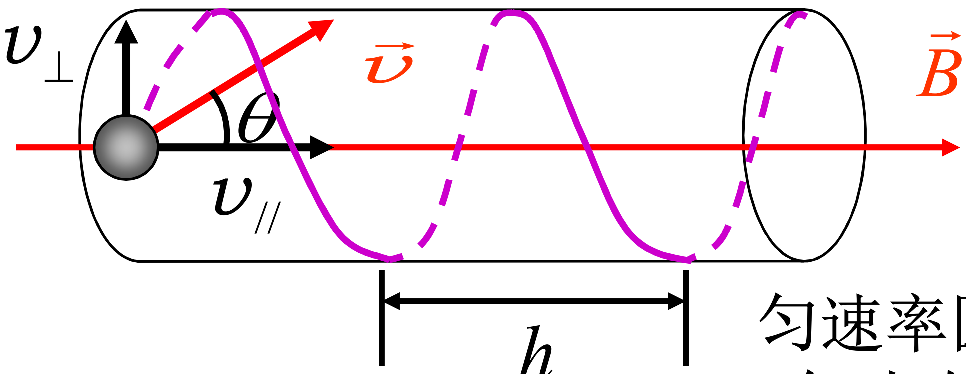
所加的交流电的频率必须与带电粒子的回旋频率相等

巴特维亚同步加速器，质子可以在其中加速到**500～1000GeV**

(3) $\widehat{\vec{v}\,\vec{B}}=\theta$

$$v_{//}=v\cos\theta$$

$$v_{\perp}=v\sin\theta$$



匀速率圆周运动
+匀速直线运动
= 螺旋运动

半径 $\boxed{R=\dfrac{mv_{\perp}}{qB}}$

周期 $\boxed{T=\dfrac{2\pi R}{v_{\perp}}=\dfrac{2\pi m}{qB}}$

螺距 $\boxed{h=Tv_{//}=\dfrac{2\pi m}{qB}v_{//}}$

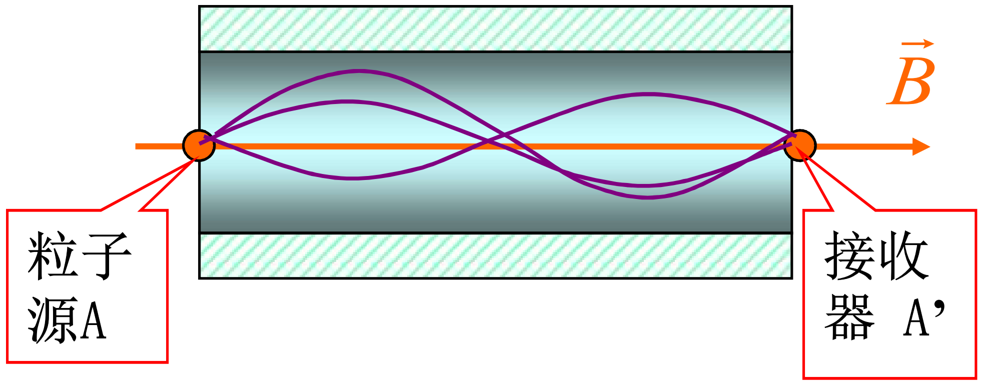
周期与速度无关.

磁聚焦原理

从磁场中某一点*A*发射出一束很窄的带电粒子流，它们的荷质比相同，各粒子的运动速率接近相等，速度方向与磁场方向之间的夹角各不相同，但θ都很小时

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

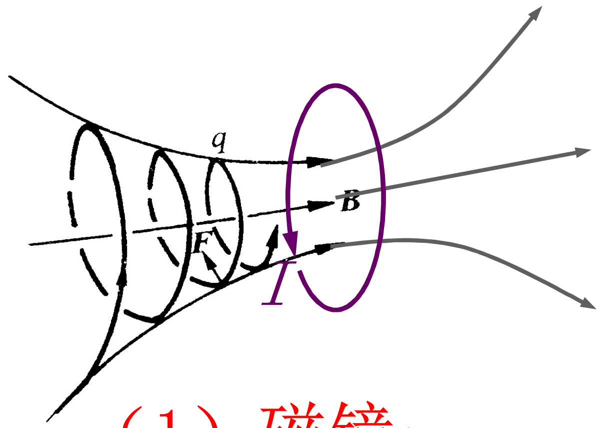
$$h = \upsilon_{//} T \approx \frac{2\pi m\upsilon}{qB}$$



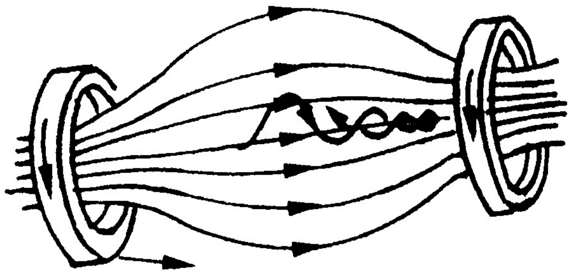
发散角不太大的带电粒子束，经过一个周期后，重新会聚——磁聚焦

二、 非均匀磁场

（也是螺旋运动，*R* 、*h* 都在变化）

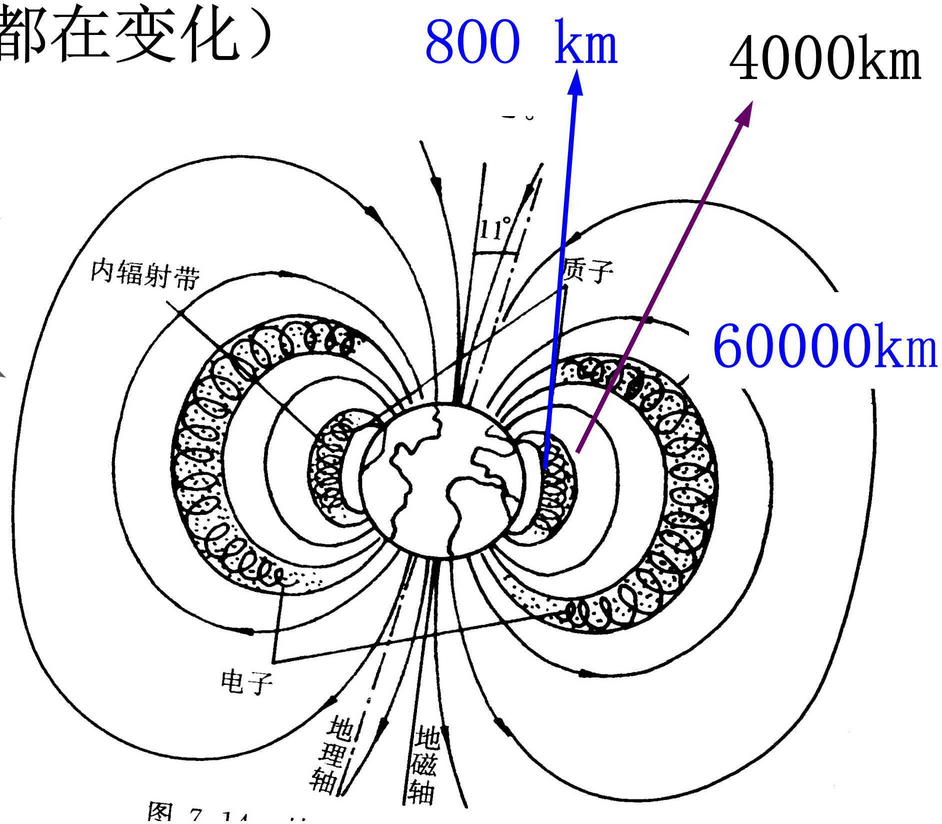


（1）磁镜



（2）磁瓶

用于高温等离子磁约束

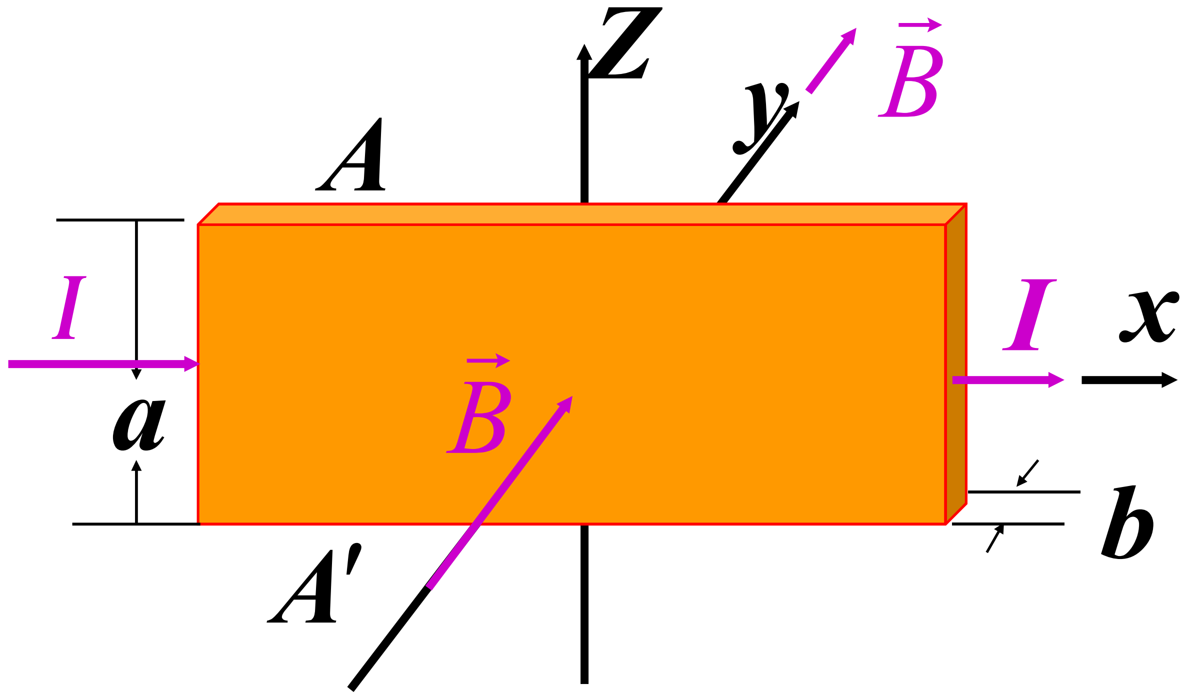


（3）地磁场内

的范艾仑辐射带

三、霍尔效应

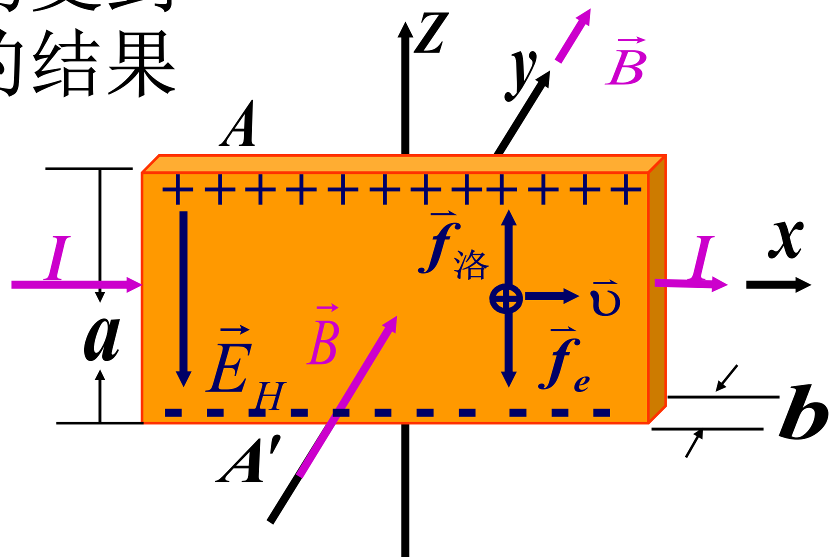
厚度b,宽为a的导电薄片，沿x轴通有电流强度I，当在y轴方向加以匀强磁场B时，在导电薄片两侧（A, A'）产生一电势差U_H，这一现象称为霍尔效应



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

R_H---霍尔系数

<u>霍尔效应原理</u>——导体中的载流子（形成电流的运动电荷）在磁场受到洛仑兹力作用而发生横向漂移的结果



$q>0$

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

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

$$f_m = f_e \Rightarrow E_H = vB \qquad F_{合} = 0$$

此时载流子将作匀速直线运动，同时A, A'两侧停止电荷的继续堆积，从而在A, A两侧建立一个稳定的电势差

$$E_H = \frac{U_H}{a} \qquad U_H = avB$$

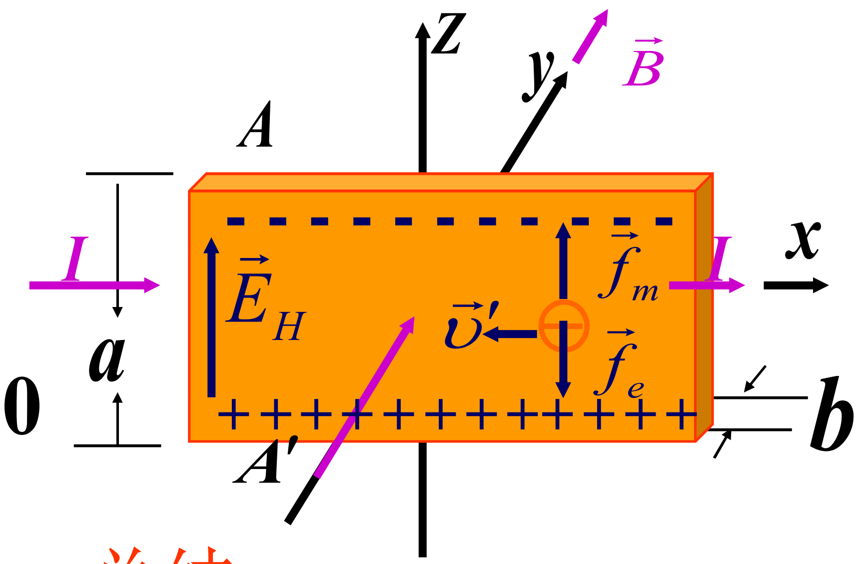
$$\because I = nqvab \therefore U_H = \frac{1}{nq}\frac{IB}{b}$$

$q<0$

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

$$\vec{f}_e = -|q|\vec{E}_H$$

$$f_m = f_e \Rightarrow E_H = v'B \quad F_{合} = 0$$



$$E_H = \frac{U_H}{a} \quad U_H = av'B$$

$$\because I = nqv'ab$$

$$\therefore U_H = \frac{1}{nq}\frac{IB}{b}$$

总结

(1) $q>0$时，$R_H>0$,

$$\therefore U_H > 0$$

(2) $q<0$时，$R_H<0$,

$$\therefore U_H < 0$$

霍尔效应的应用

$$U_H = \frac{1}{nq}\frac{IB}{b}$$

1、确定半导体的类型

n型半导体载流子为电子

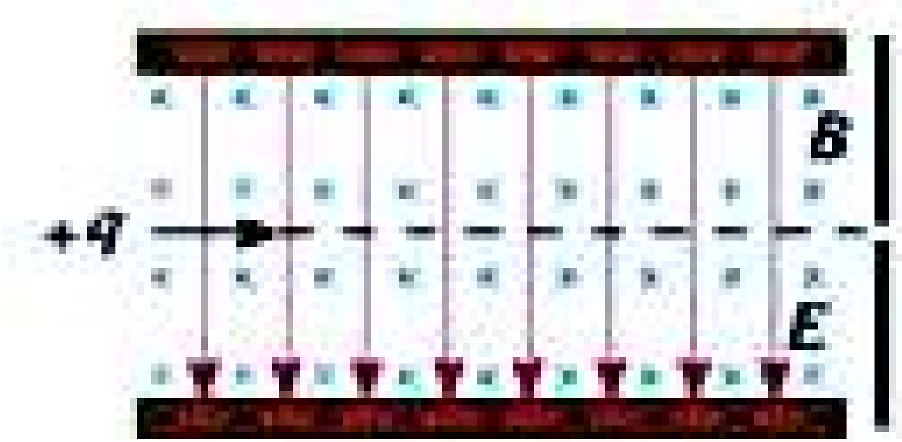
p型半导体载流子为带正电的空穴

2、根据霍尔系数的大小的测定，

可以确定载流子的浓度

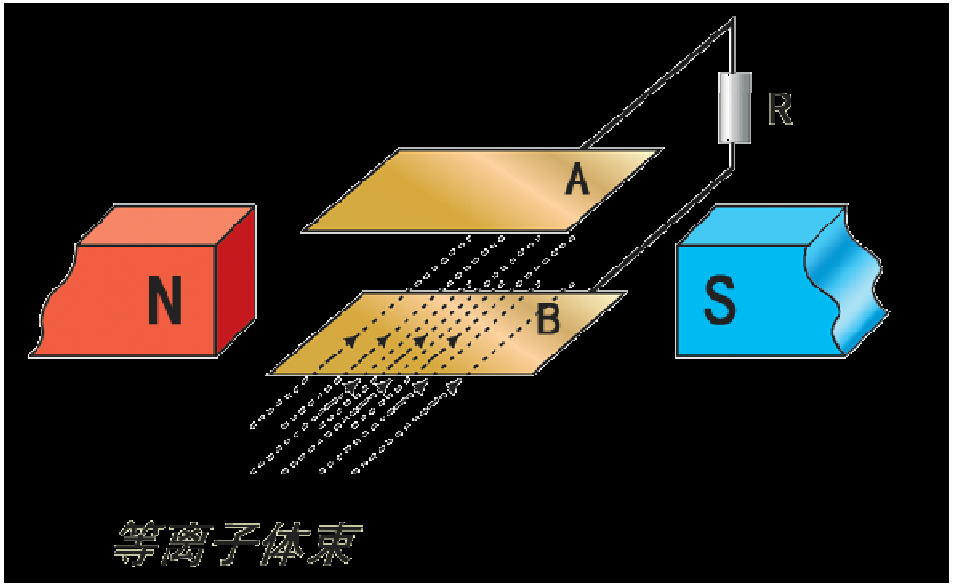
3、根据霍尔电势差来测磁感应强度、电流

速度选择器

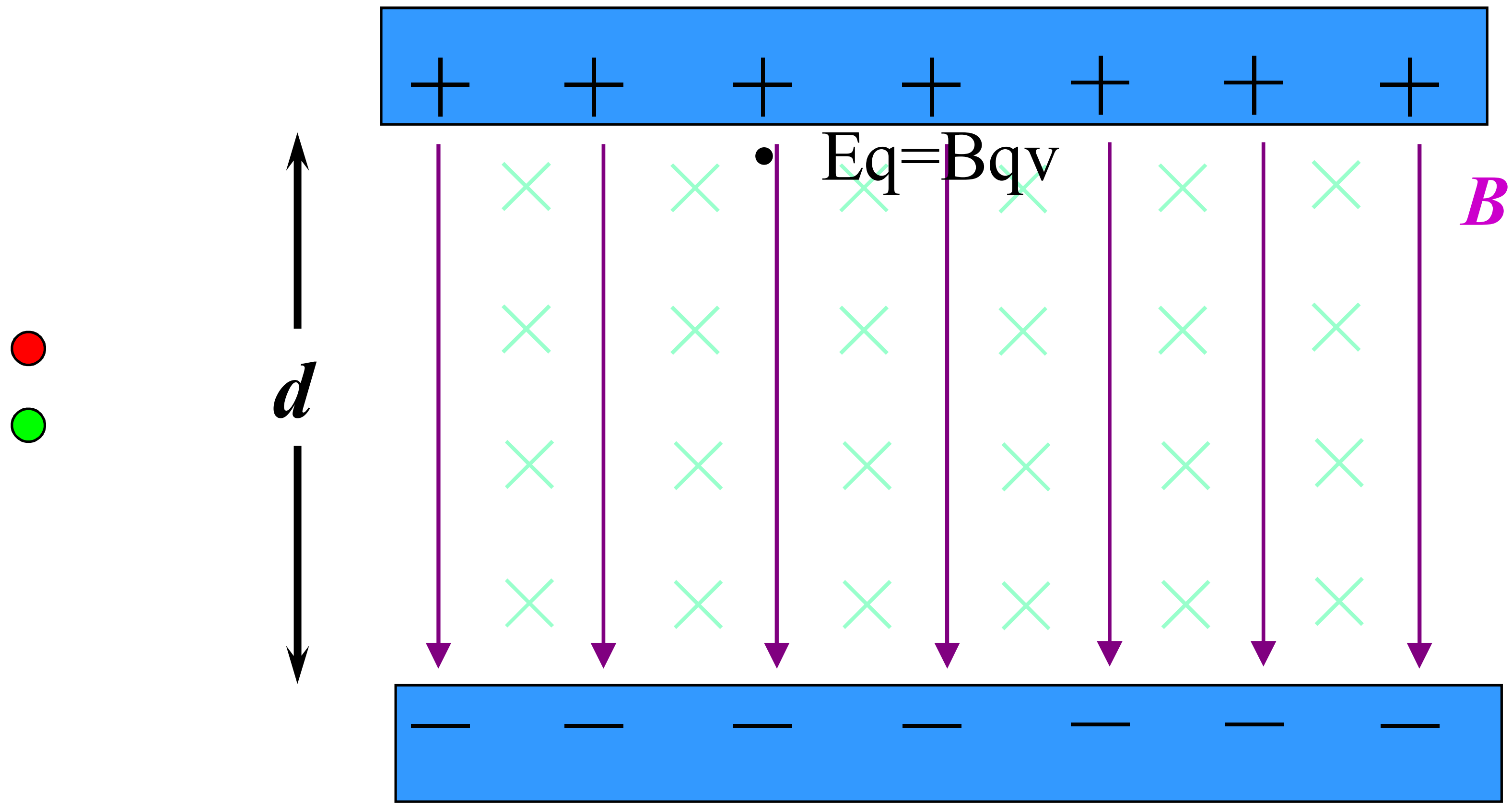


磁流体发电机

磁流体发电是一项新兴技术，它可以把物体的内能直接转化为电能。将混有易电离的碱金属化合物的气体加热到很高温度，气体会高度电离成为正、负离子数相等的等离子体。在平行金属板A、B之间有一个很强的磁场，使等离子体以一定速度喷入磁场。最终，在洛伦兹力和电场力的共同作用下，A、B两板间便产生稳定电场。如果把AB与一外电路接通时，电路中就会形成电流。



原理

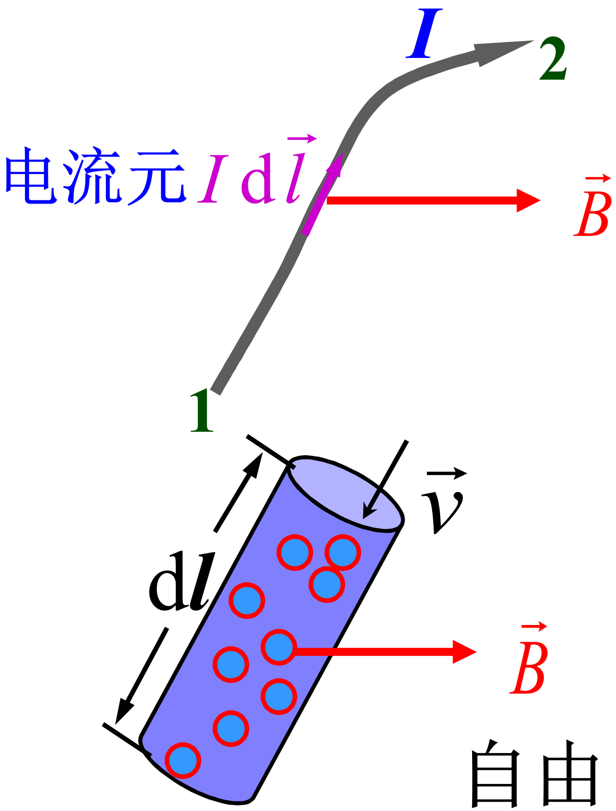


● 正电荷　　● 负电荷

§ 2-4 磁场对电流的作用

一、安培定律、安培力

1、安培力：载流导体在磁场中受到的磁力



1个电子受力 $\vec{F}_m = -e\vec{v}\times\vec{B}$

N个电子受力 $\vec{F} = N\vec{F}_m$

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

$$\mathrm{d}\vec{F} = \mathrm{d}N\vec{F}_m = -(nS\,\mathrm{d}l)e\vec{v}\times\vec{B}$$

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

自由电子运动的负方向为电流的方向

一、安培定律、安培力

2、安培定律

$$\mathrm{d}\vec{F} = I\mathrm{d}\vec{l} \times \vec{B}$$——安培定律

大小 $\mathrm{d}F = I\mathrm{d}lB\sin\theta \quad \theta = \arcsin(I\mathrm{d}\vec{l}, \vec{B})$

方向判断　　右手螺旋

载流导线受到的磁力

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

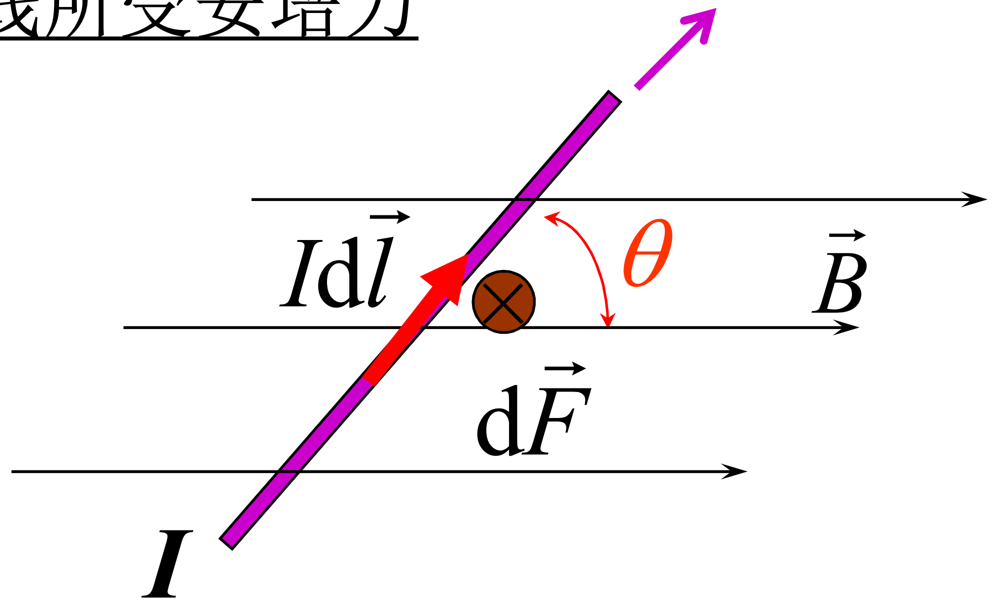
均匀磁场中载流直导线所受安培力

取电流元 $I\mathrm{d}\vec{l}$

受力大小

$$\mathrm{d}F = BI\mathrm{d}l\sin\theta$$

方向 ⊗

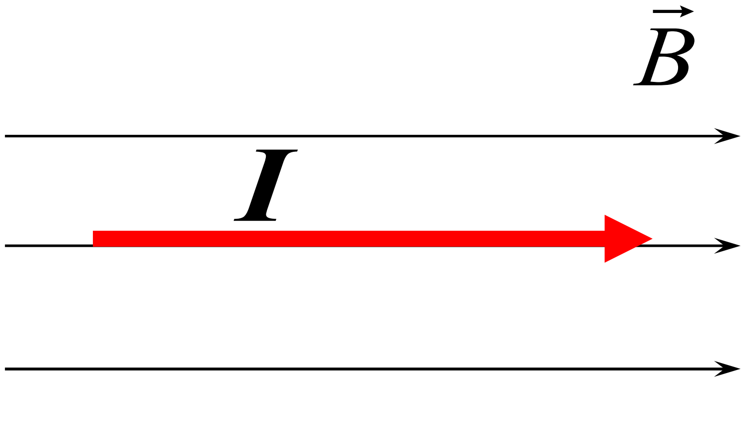


积分 $F = \int_L BI\mathrm{d}l\sin\theta = BIL\sin\theta$

结论 $F = BLI\sin\theta$ 方向 ⊗

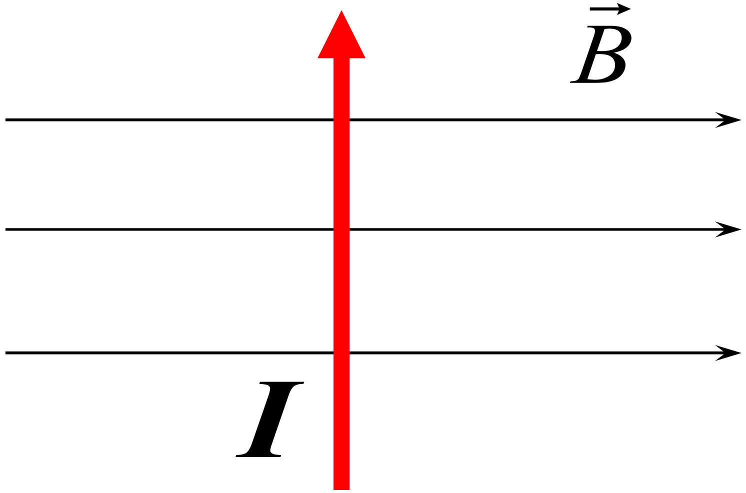
$$\theta = \begin{cases} 0 \\ \pi \end{cases}$$

$$F = 0$$



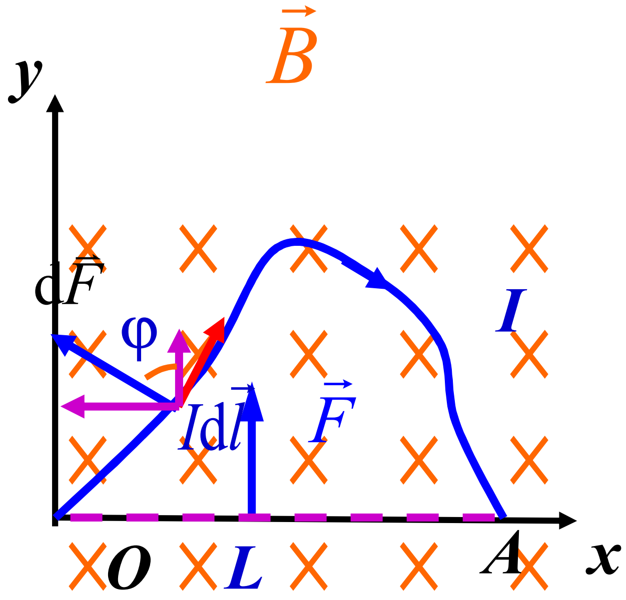
$$\theta = \begin{cases} \dfrac{\pi}{2} \\ \dfrac{3\pi}{2} \end{cases}$$

$$F_{\max} = BLI$$



例 在均匀磁场中放置一任意形状的导线，电流强度为I

求 此段载流导线受的磁力。



解 在电流上任取电流元 $I\mathrm{d}\vec{l}$

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

$$\mathrm{d}F_x = IB\mathrm{d}l\sin\varphi = IB\mathrm{d}y$$

$$\mathrm{d}F_y = IB\mathrm{d}l\cos\varphi = IB\mathrm{d}x$$

$$F_x = \int_0^0 IB\mathrm{d}y = 0$$

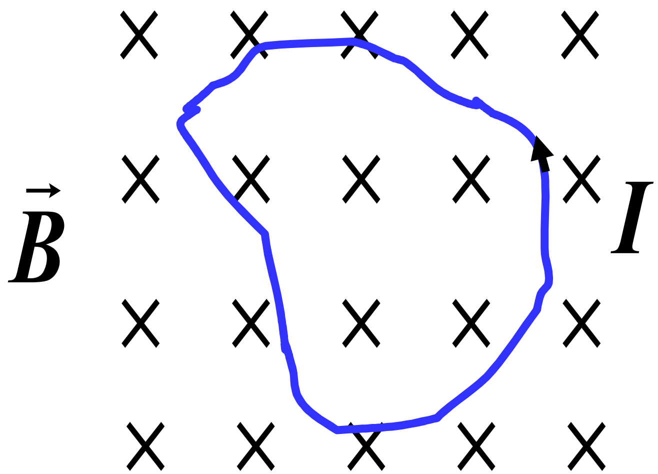
相当于载流直导线 $\overline{OA}$

$$F_y = \int_0^L IB\mathrm{d}x = IBL$$

在匀强磁场中受的力，方向沿 y 向。

推论

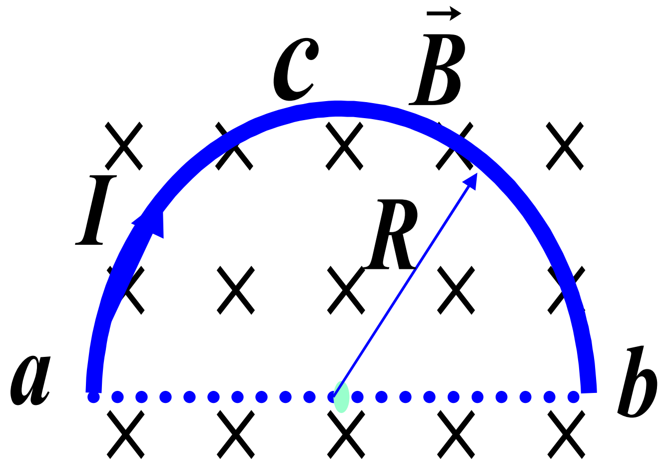
在均匀磁场中任意形状闭合载流线圈受合力为零



练习　如图　求半圆导线所受安培力

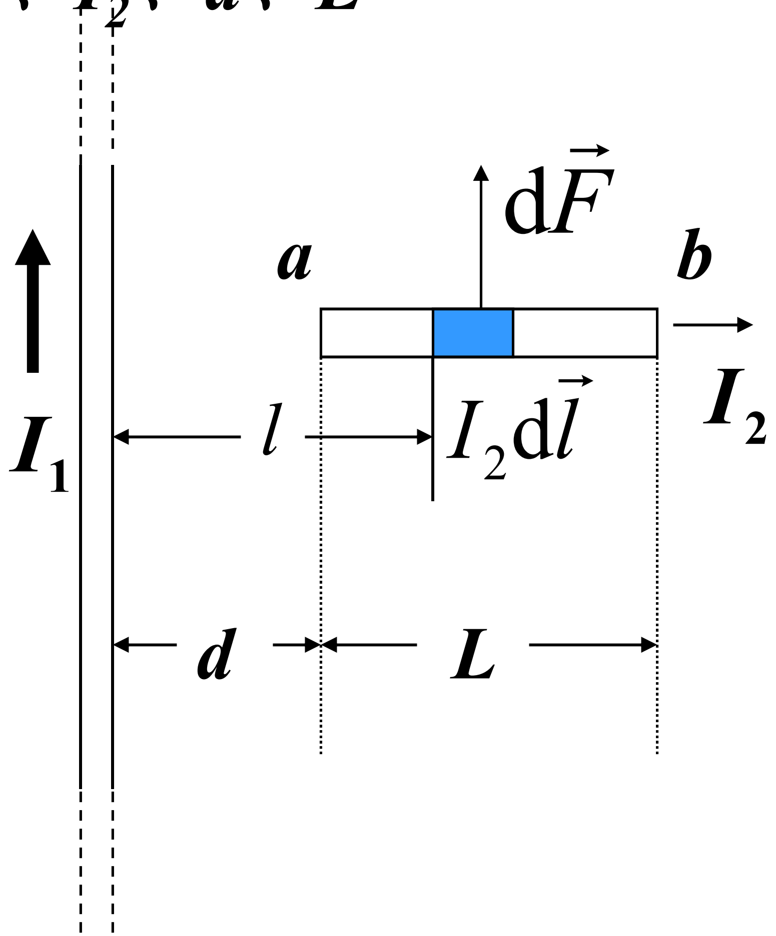
$$F = 2BIR$$

方向竖直向上



非均匀磁场中

例：求一无限长直载流导线的磁场对另一直载流导线*ab*的作用力。已知：I_1、I_2、d、L



解：$\mathrm{d}F = BI_2\mathrm{d}l = \dfrac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi l}\mathrm{d}l$

$$F = \int_L \mathrm{d}F = \int_d^{d+L} \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi l}\mathrm{d}l$$

$$= \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi}\ln\frac{d+L}{d}$$

二、磁场对载流线圈的作用

$$F_1 = F_1' = BIl_1 \sin\varphi$$

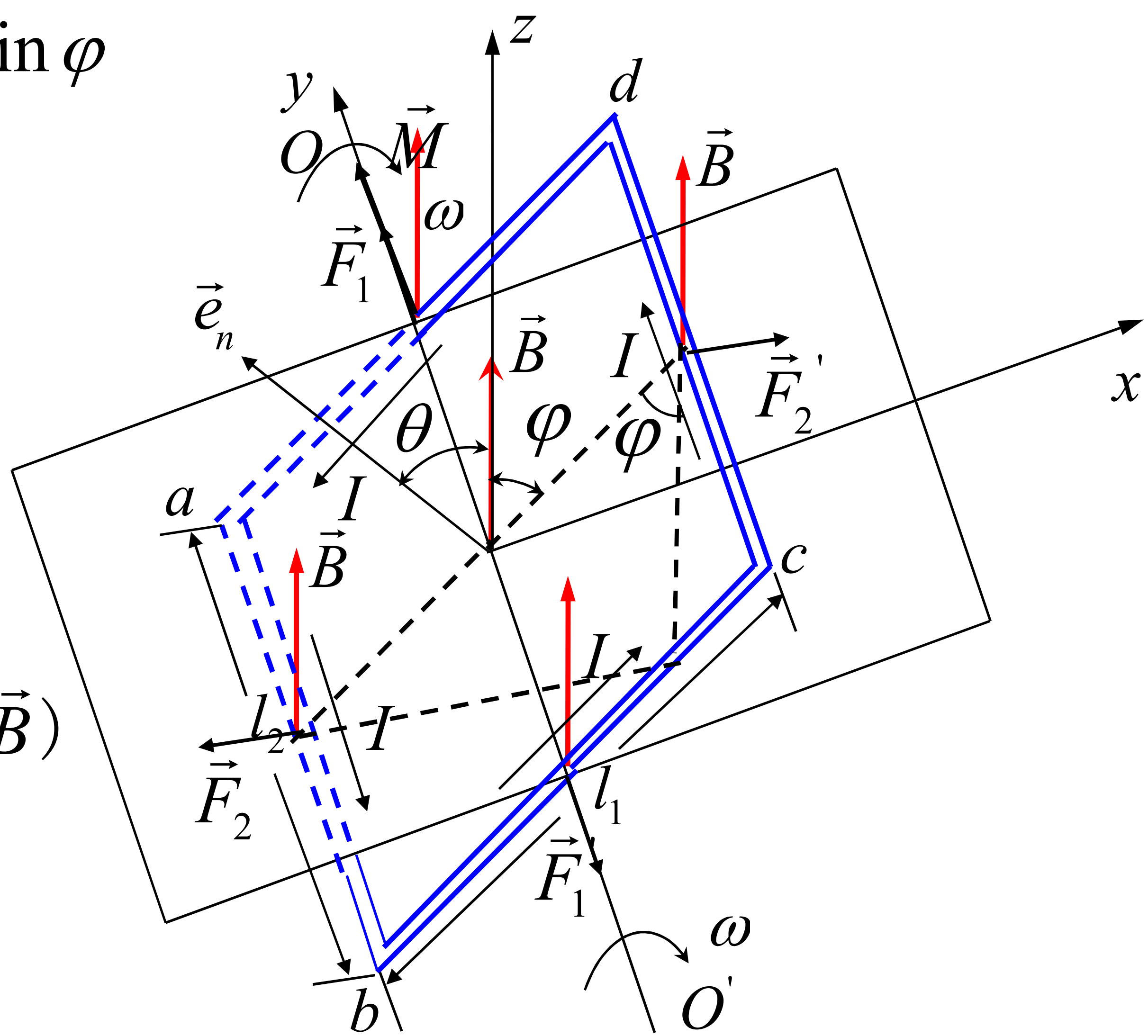
$$F_2 = F_2' = BIl_2$$

$$M = F_2 l_1 \sin\theta$$

$$= BIl_2 l_1 \sin\theta$$

$$= BIS \sin(\vec{e}_n, \vec{B})$$

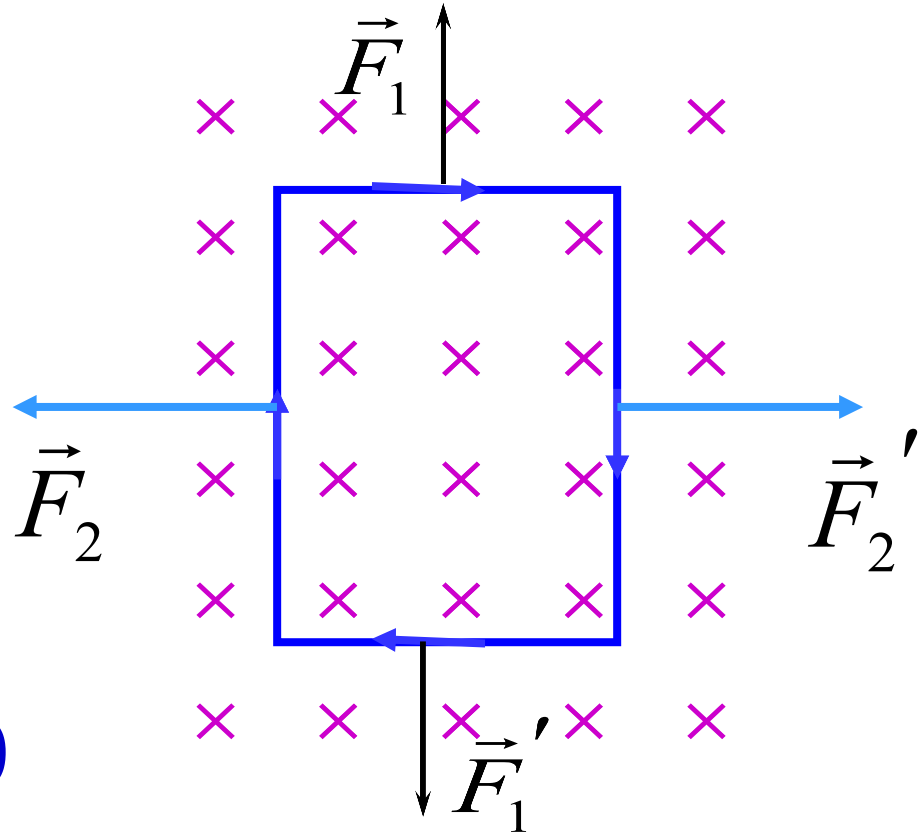
$$\vec{M} = \vec{m} \times \vec{B}$$



$$M = Bm\sin\theta$$

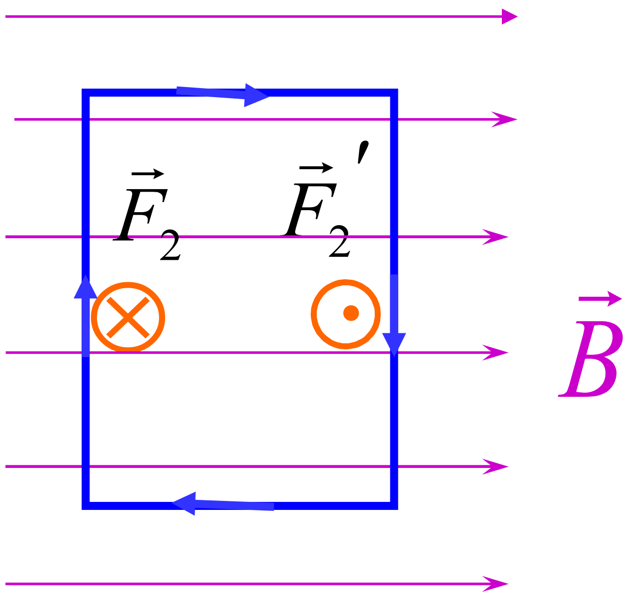
如果线圈为N匝 $\vec{m} = NIS\vec{e}_n$

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



讨论

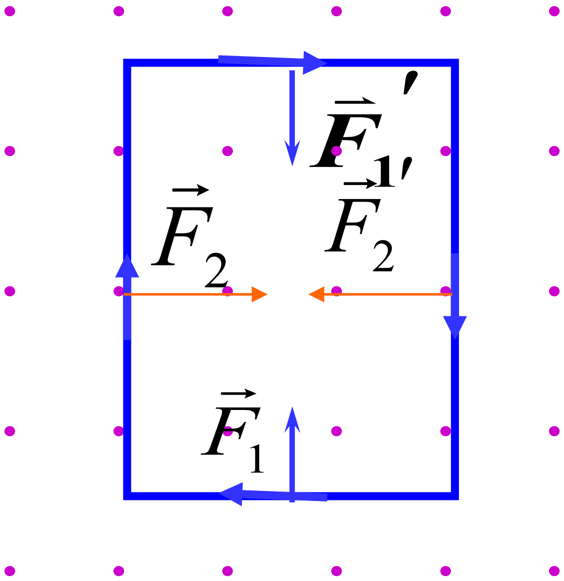
$\theta = 0$ $\vec{M} = 0$



$\theta = \frac{\pi}{2}$ $\vec{M} = \vec{M}_{max}$

$\theta = \pi$

$\vec{M} = 0$



(1) $\boldsymbol{M}$ 作用下，磁通量增加 $\theta = 0$ $\vec{M} = 0$ 稳定平衡

$\theta = \pi$ $\vec{M} = 0$ 非稳定平衡

(2) 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

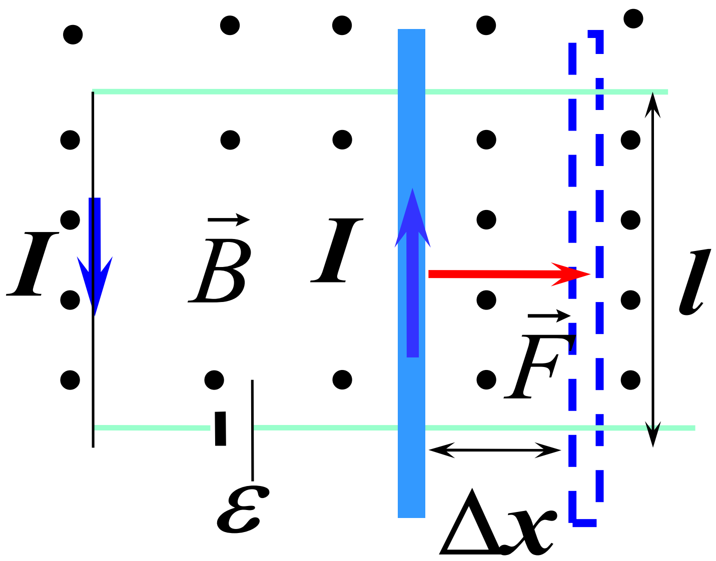
三、 磁力做功

1. 磁力对载流导线做功

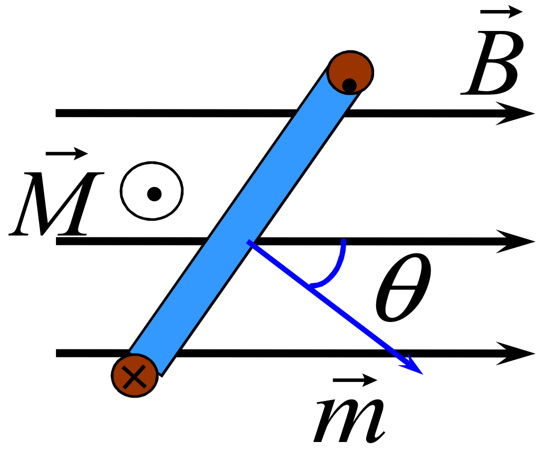
$$A = F\Delta x$$

$$= BIl\Delta x$$

$$= I\Delta\Phi_m$$



2. 磁力矩对转动载流线圈做功



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

$$M = mB\sin\theta = \boldsymbol{ISB\sin\theta}$$

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

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

$$A = \int \mathrm{d}A = \int_{\Phi_{m1}}^{\Phi_{m2}} I\mathrm{d}\Phi_m = \boldsymbol{I\Delta\Phi_m}$$

$$A = \int_{\Phi_{m1}}^{\Phi_{m2}} I\mathrm{d}\Phi_m$$

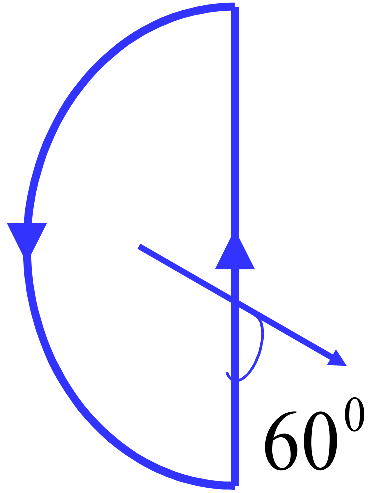
例：一半径为R的半圆形闭合线圈，通有电流I，线圈放在均匀外磁场B中，B的方向与线圈平面成30^0角，如右图，设线圈有N匝，问：

（1）线圈的磁矩是多少?

（2）此时线圈所受力矩的大小和方向?

（3）图示位置转至平衡位置时，

磁力矩做功是多少?



解：（1）线圈的磁矩

$$\vec{m} = NIS\vec{e}_n = NI\frac{\pi}{2}R^2\vec{e}_n$$

m的方向与B成60^0夹角

（2）此时线圈所受力矩的大小为

$$M = mB\sin 60^0 = \boldsymbol{NIB}\frac{\sqrt{3}\pi}{4}\boldsymbol{R}^2$$

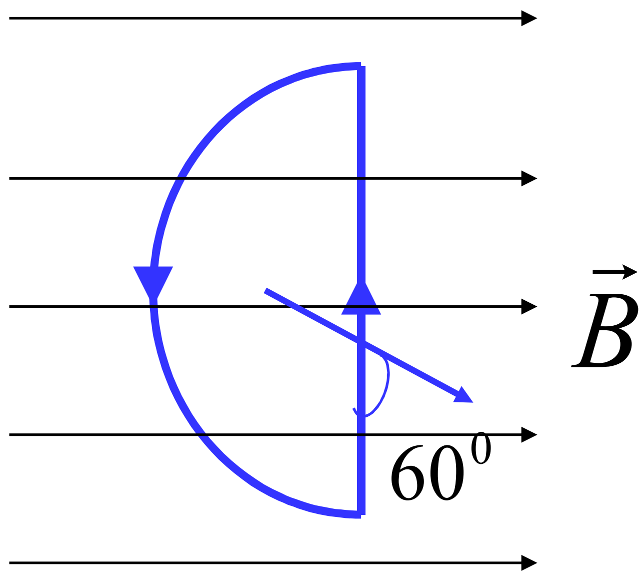
磁力矩的方向由 $\vec{m}\times\vec{B}$ 确定，为垂直于**B**的方向向上。即从上往下俯视，线圈是逆时针

（3）线圈旋转时，磁力矩做功为

$$\boldsymbol{A} = \boldsymbol{NI}\Delta\boldsymbol{\Phi}_m = \boldsymbol{NI}\left(\boldsymbol{\Phi}_{2m} - \boldsymbol{\Phi}_{1m}\right)$$

$$= NI\left(B\frac{\pi}{2}R^2 - B\frac{\pi}{2}R^2\cos 60^0\right)$$

$$= \boldsymbol{NIB}\frac{\pi}{4}\boldsymbol{R}^2$$



可见，磁力矩做正功