大学基础物理学

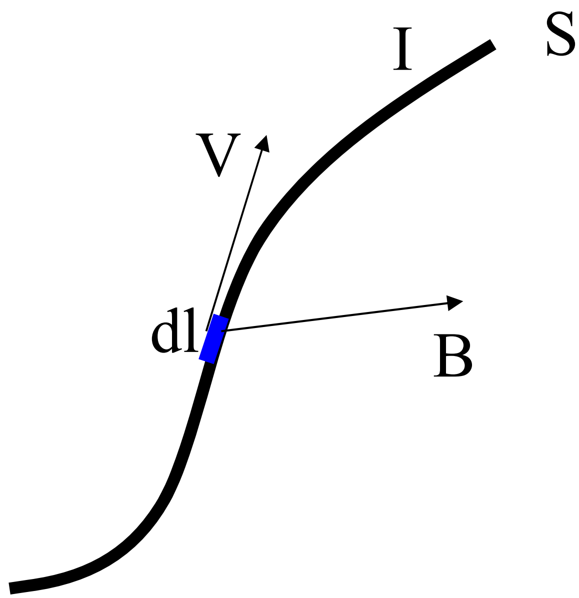
University Fundamental Physics

电子工程系@华东师范大学

李波

2019年

载流导线受力=等于每个载流子受力之和



dl段的载流子个数: nsdl

每个载流子受力: **qVxB**

载流子受力总和:

$$d\overline{F} = nsdlq\vec{v} \times \vec{B}$$

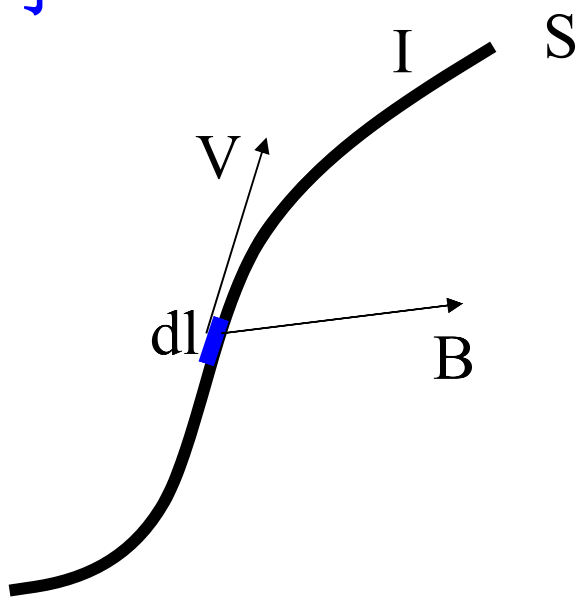
载流子受力总和:　$d\vec{F} = nsdlq\vec{v} \times \vec{B}$

$$dlq\vec{v} = d\vec{l}\,qv$$ **dl和V方向相同**

$$d\vec{F} = nsqvd\vec{l} \times \vec{B}$$

$$I = nsqv$$ 电流强度

$$d\vec{F} = Id\vec{l} \times \vec{B}$$



$$\vec{F} = \int_l d\vec{F} = \int_l Id\vec{l} \times \vec{B}$$

安培定律

位于磁场中某点处的电流元$I d\vec{l}$将受到磁场的作用力$d\vec{F}$，$d\vec{F}$的大小与电流强度I、电流元的长度dl、磁感应强度$\vec{B}$的大小以及$I d\vec{l}$与$\vec{B}$的夹角的正弦成正比。

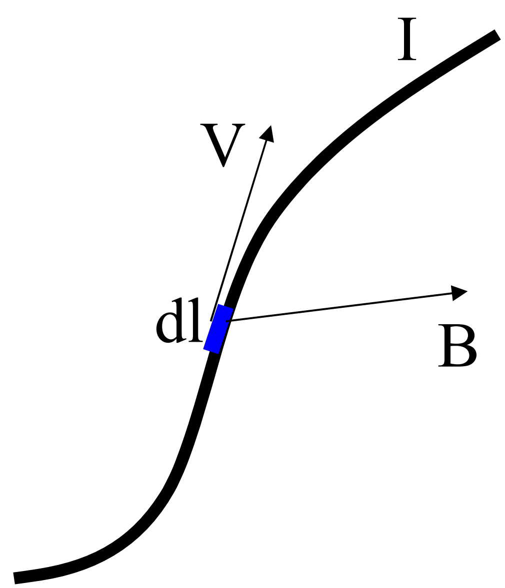
即：$dF = BIdl\sin(Idl, B)$

$d\vec{F}$为$I d\vec{l}$与$\vec{B}$的右旋方向。

写成矢量式：$\boxed{d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}}$

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

安培定律



一段载流导线受到的安培力：

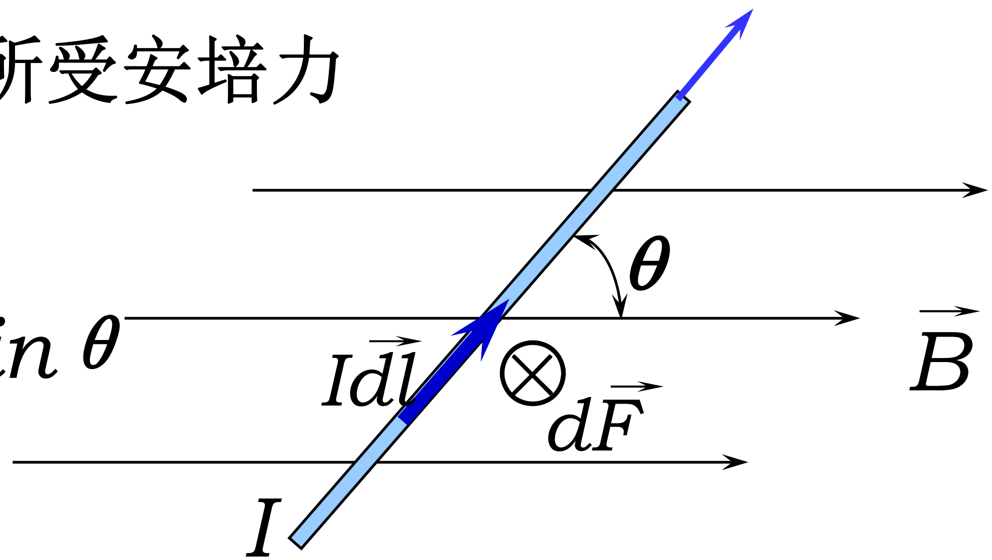
$$\vec{F}=\int d\vec{F}=\int_L I d\vec{l}\times\vec{B}$$

*均匀磁场中载流直导线所受安培力

任取电流元 $I d\vec{l}$

受力大小 $dF = BIdl\sin\theta$

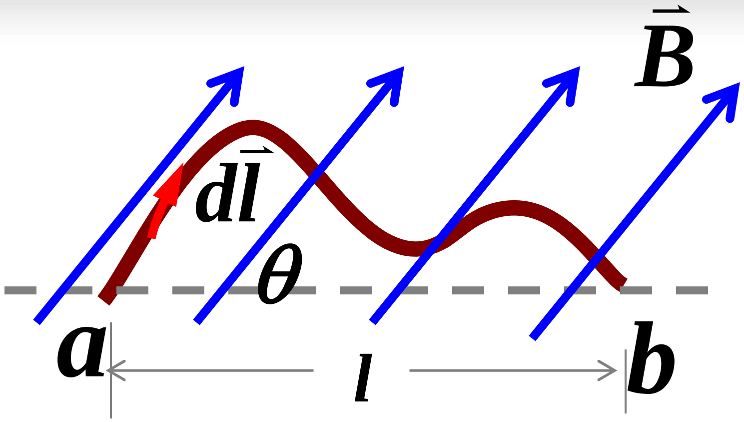
受力方向 $\otimes$



积分 $F=\int_L BIdl\sin\theta = BIL\sin\theta$

即： $\boxed{F = BIL\sin\theta}$

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



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

$$\therefore F = IlB\sin\theta$$

矢量和 $\int_a^b d\vec{l} = \vec{l}$

$\vec{l}$ 与磁感应强度$\vec{B}$在同一平面内

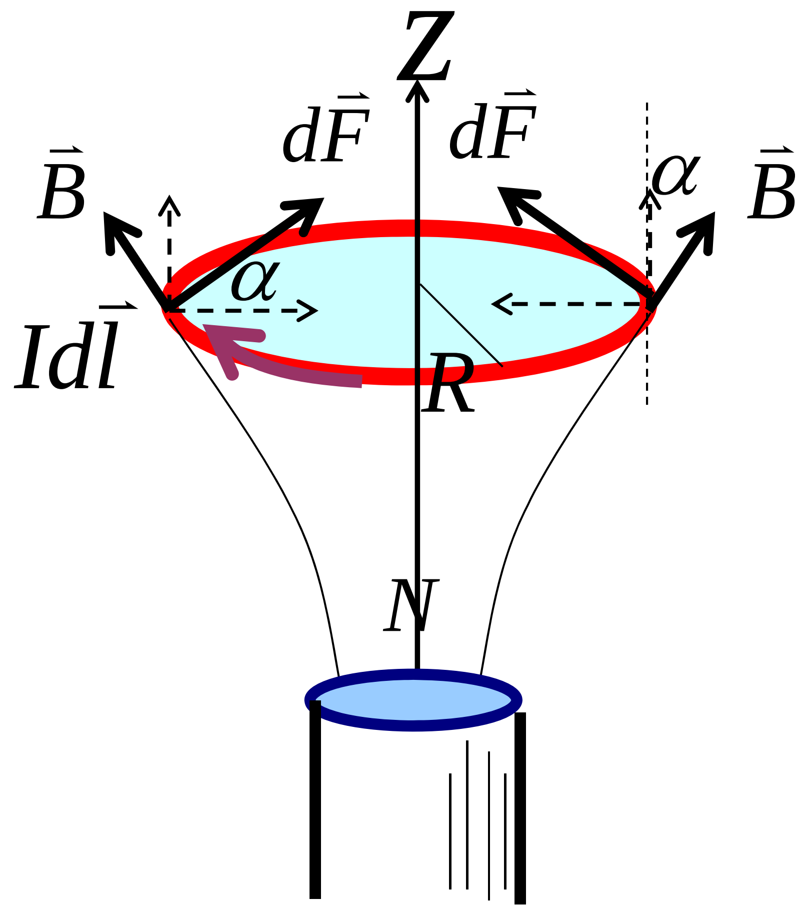
所以，该力方向垂直于纸面向外。

若是闭合回路， $\vec{l} = 0 \quad \rightarrow F = 0$

闭合回路在均匀磁场中受力为**0**。

例2. 圆柱形磁铁 **N** 极上方水平放置一个载流导线环，求其受力。

已知在导线所在处磁场**B**的方向与竖直方向成α角



对称性分析可知：

$$\vec{F} = F_z \hat{k}$$

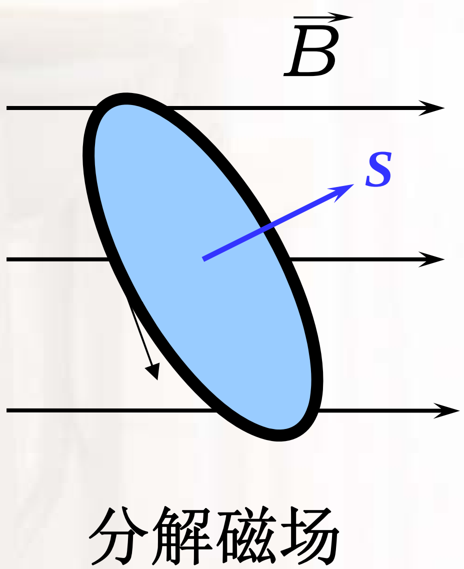
$$F_z = \int dF_z = \int dF \sin\alpha$$

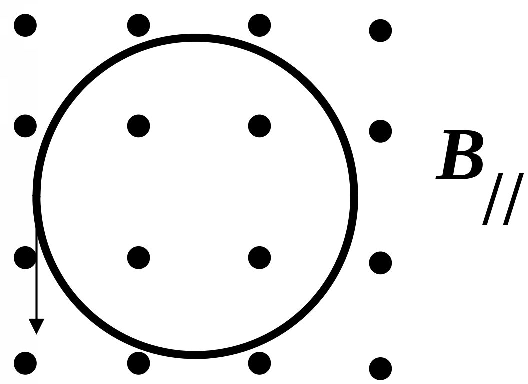
$$= \int_o^{2\pi R} IB \sin\alpha \cdot dl$$

$$= 2\pi RIB \sin\alpha$$

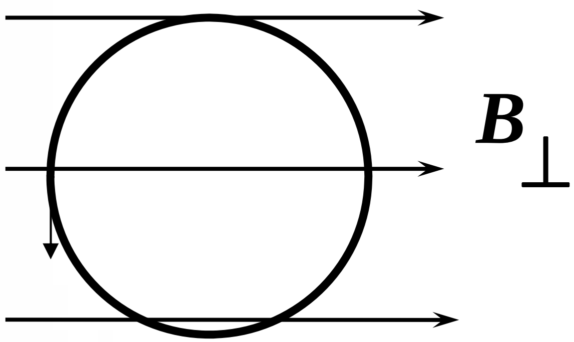
方向铅直向上

磁场对载流线圈的作用





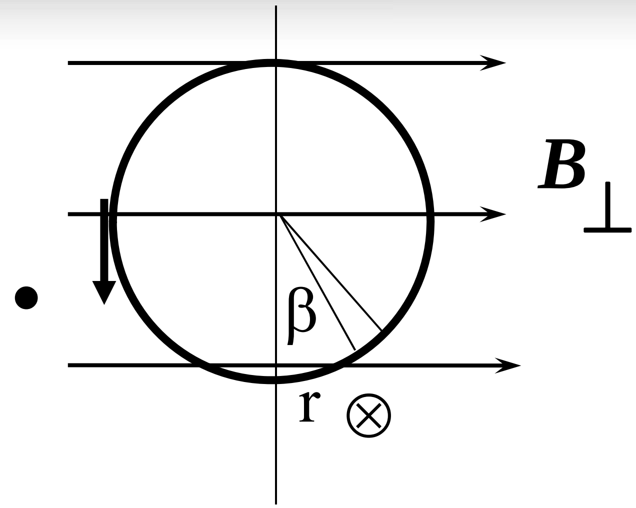
合力为零
合力矩为零



合力为零
合力矩不为零

磁场对载流线圈的作用

1、均匀磁场对载流线圈的作用



合力为零　　合力矩不为零

$$dF = B_{\perp} Idl \sin\beta$$

$$\boldsymbol{dM = dFr = B_{\perp} Idlr \sin\beta}$$

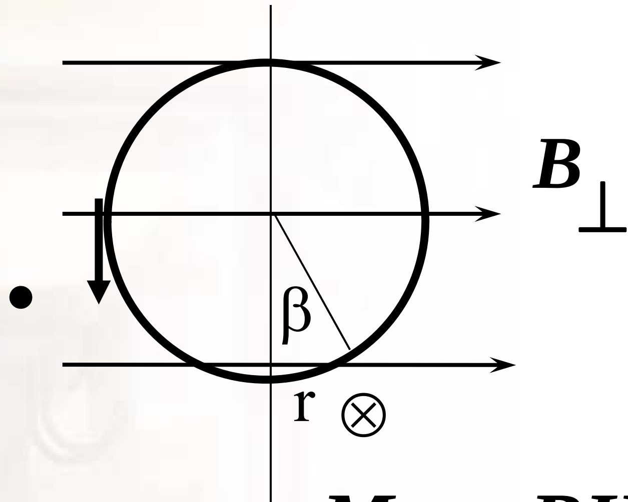
$$\boldsymbol{dl = Rd\beta, r = R\sin\beta}$$

$$dM = B_{\perp} IR^2 \sin^2\beta d\beta$$

$$M = \int dM = \int_0^{2\pi} B_{\perp} IR^2 \sin^2\beta d\beta = \pi B_{\perp} IR^2$$

$$\boldsymbol{M = \pi B_{\perp} IR^2 = \pi BIR^2 \sin\theta}$$

磁场对载流线圈的作用



$$M = \pi B_\perp IR^2 = \pi BIR^2 \sin\theta$$

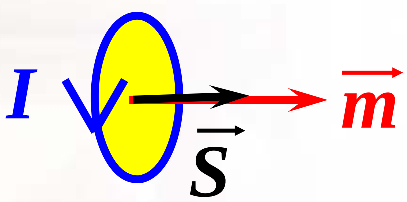
方向: ?旋转

$$M = \pi BIR^2 \sin\theta = SBI \sin\theta = ISe_n \times B$$

力矩 $M = m \times B \quad m = ISe_n$

载流线圈的磁偶极矩(磁矩)

对圆电流圈（或任意平面电流线圈）：



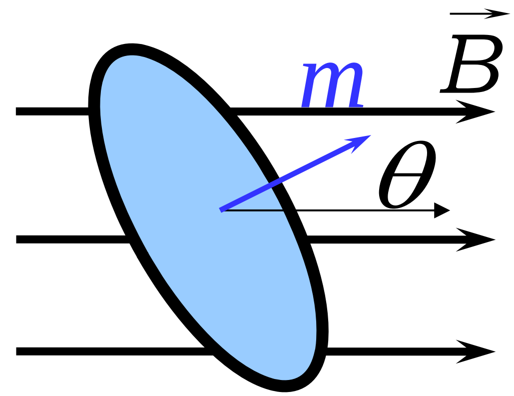
$$\boxed{\vec{M} = I\vec{S} \times \vec{B} = \vec{m} \times \vec{B}}$$

$$\boldsymbol{m = ISe_n}$$ 载流线圈的磁偶极矩(磁矩)

不只是载流线圈有磁矩，原子、电子、质子等微观粒子也有磁矩。磁矩是粒子本身的特征之一。

电子的自旋磁矩: **1.60x10^{-23}J/T**

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



$$M = mB\sin\theta = ISB\sin\theta$$

外力克服磁力矩做功为

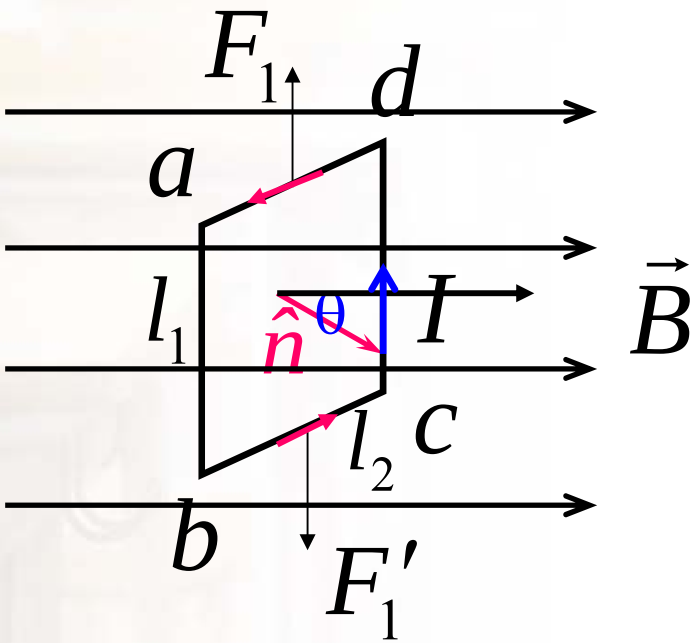
$$dA = Md\theta = Bm\sin\theta d\theta$$

$$A = \int_{\theta 1}^{\theta 2} Md\theta = mB(\cos\theta_1 - \cos\theta_2)$$

选θ为π/2的位置为势能零点

磁矩的势能为 $W_m = -mB\cos\theta = -m \bullet B$

当磁矩与磁场平行时,势能最小-mB,当磁矩与磁场反平行时,势能最大mB,



电流线圈的右旋法线方向为 $\hat{n}$

$\overline{da}$、$\overline{bc}$ 受力情况：

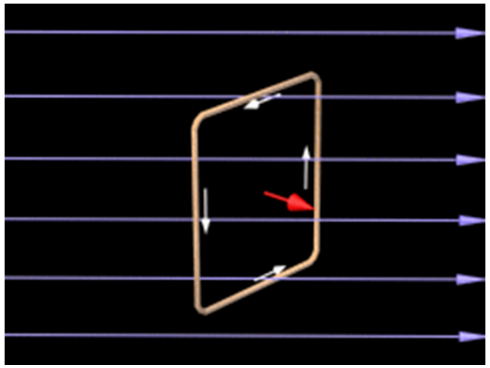
***da*段** $F_1 = I B l_2 \cos\theta$

***bc*段** $F_1' = I B l_2 \cos\theta$

$F_1 = F_1'$ 方向相反

线圈可视为刚性，两力抵消

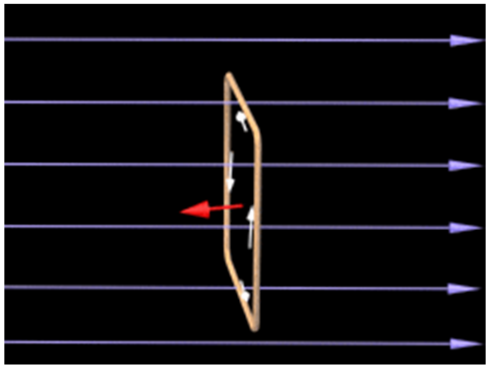
载流线圈在磁场中的状态与n 和B 的夹角θ 有关



当$\theta=0$时　　相应$M=0$，这时线圈处于平衡。

此时如果给线圈一微扰？

线圈会回到原来位置，这种平衡称为稳定平衡。这时线圈处于稳定平衡状态。



当$\theta=\pi$时　　相应$M=0$，这时线圈处于平衡。

此时如果给线圈一微扰？

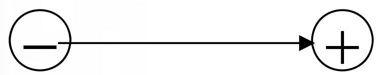
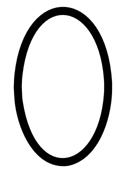
线圈不会回到原来位置，这种平衡称为不稳定平衡。这时线圈处于不稳定平衡状态。

推广：对均匀磁场中的任意形状

线圈皆成立

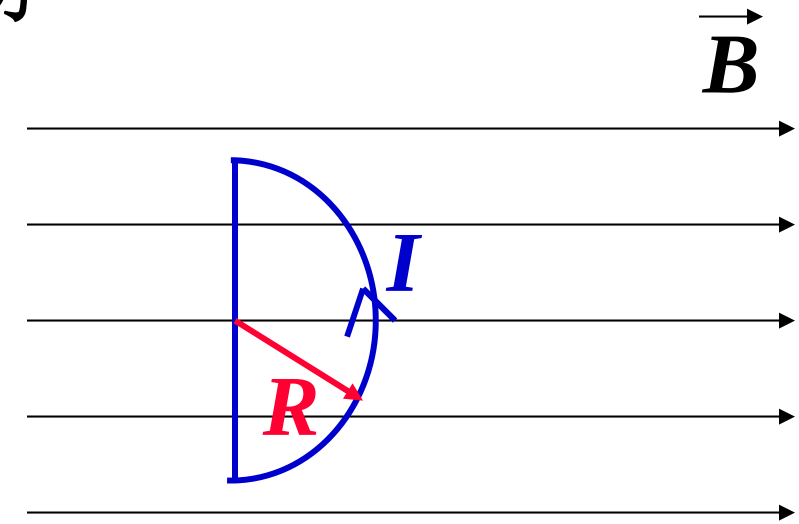
- N匝载流线圈磁矩 $\vec{m} = NIS\hat{n}$
- 合力 $\boxed{\vec{F}_{合} = 0}$ 线圈不平动
- 力矩 $\boxed{\vec{M} = \vec{m} \times \vec{B}}$

线圈将转动，使$\vec{m}$转向$\vec{B}$方向

	电偶极矩	磁偶极矩
		
电矩	$\vec{p} = q\vec{l}$	磁矩 $\boldsymbol{m} = IS\boldsymbol{e}_n$
力矩	$\boldsymbol{M} = \boldsymbol{p} \times \boldsymbol{E}$	$\boldsymbol{M} = \boldsymbol{m} \times \boldsymbol{B}$
势能	$W_e = -\boldsymbol{p} \bullet \boldsymbol{E}$	$W_m = -\boldsymbol{m} \bullet \boldsymbol{B}$

例3：求 1）线圈受磁力；2）磁力矩；

3）线圈如何运动



解：

1）$\sum \vec{F} = 0$

2）$\vec{M} = \vec{m} \times \vec{B}$

$$m = I\frac{\pi R^2}{2}$$

$$M = \frac{\pi R^2}{2} IB$$

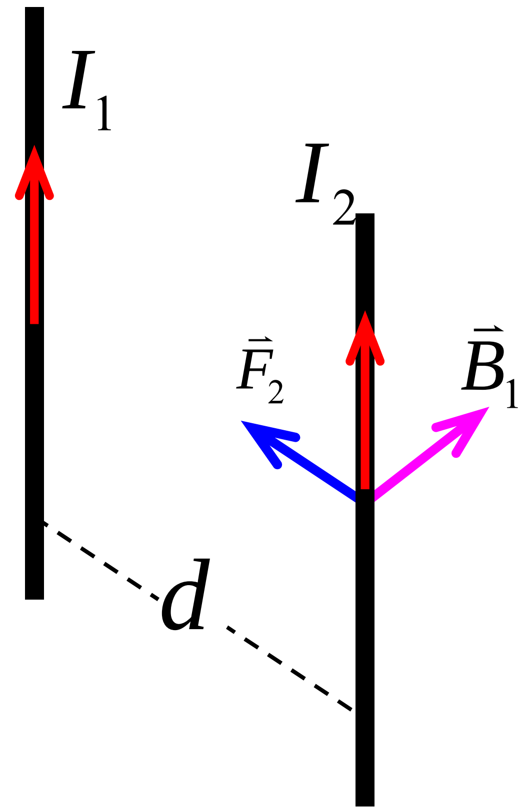
$\odot$

3）线圈不平动，从上往下看，将逆时针转动。

平行电流间的相互作用力

如图所示长直电流I_1和电流I_2平行共面，相距为d。

？考虑每根导线单位长度线度受另一电流的磁场的作用力



电流 I_1在电流 I_2处所产生的磁场为：

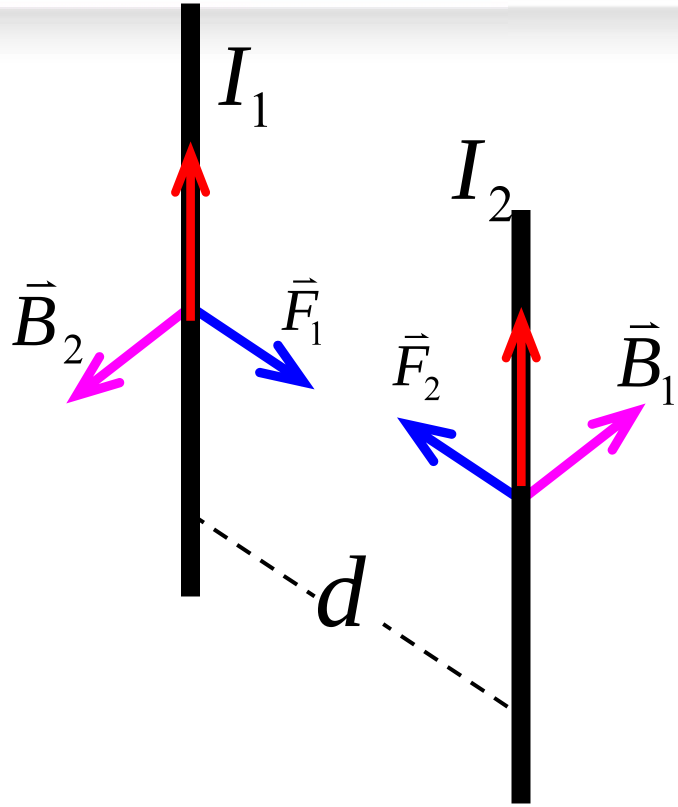
$$B_1 = \frac{\mu_o I_1}{2\pi d}$$ 方向如图

导线2单位长度受力 $$F_2 = B_1 I_2 = \frac{\mu_o I_1 I_2}{2\pi d}$$ 方向如图

电流 I_2在电流 I_1 处所产生的磁场为:

$$B_2 = \frac{\mu_o I_2}{2\pi d}$$

方向如图



导线1单位长度受力

$$F_1 = B_2 I_1 = \frac{\mu_o I_2 I_1}{2\pi d}$$

方向如图

同向电流相互吸引

$$F_1 = F_2 = \frac{\mu_o I_2 I_1}{2\pi d}$$

国际单位制中电流强度的单位

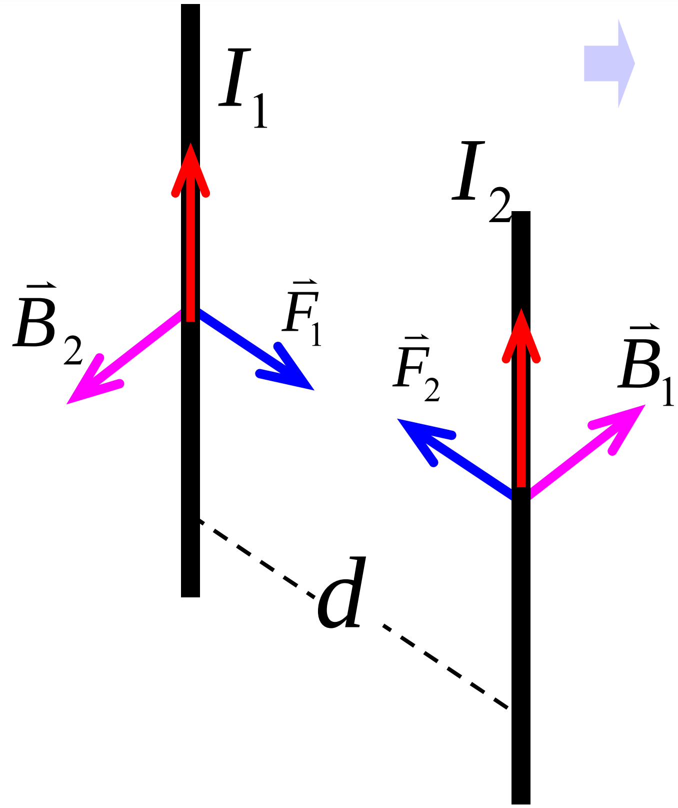
当 $d = 1m$，　$I_1 = I_2$

$F_1 = F_2 = 2\times 10^{-7}\,N$ 时

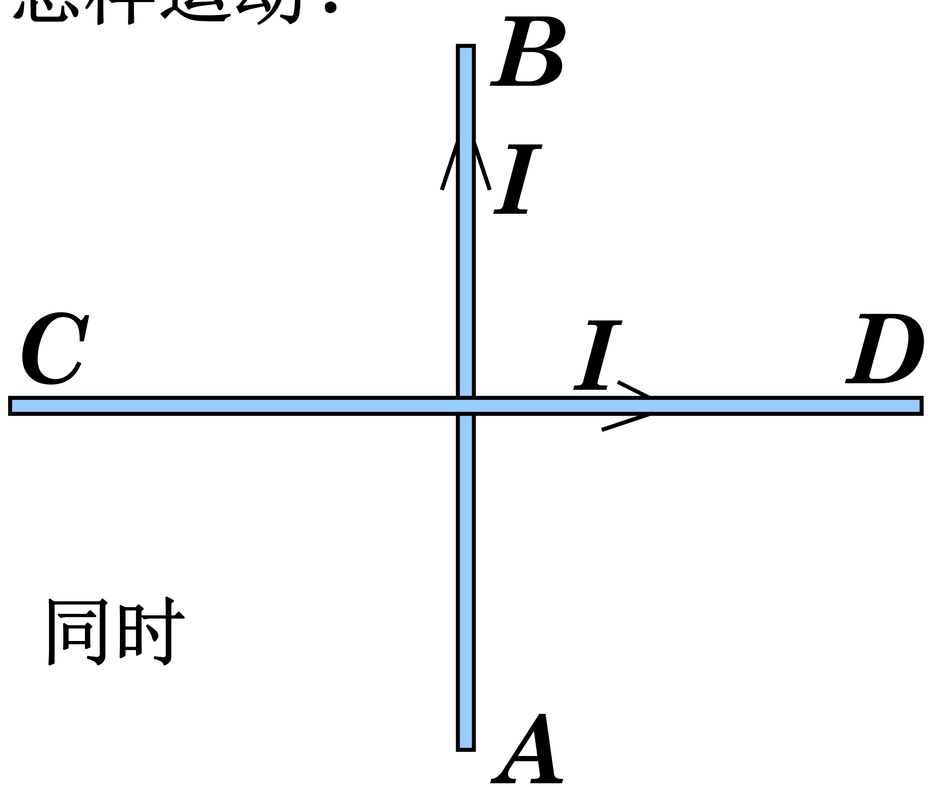
定义：　$I_1 = I_2 = 1A$

所以在国际单位制中真空磁导率为：

$$\mu_o = \frac{2\pi F d}{I^2} = 4\pi \times 10^{-7}\ N/A^2$$

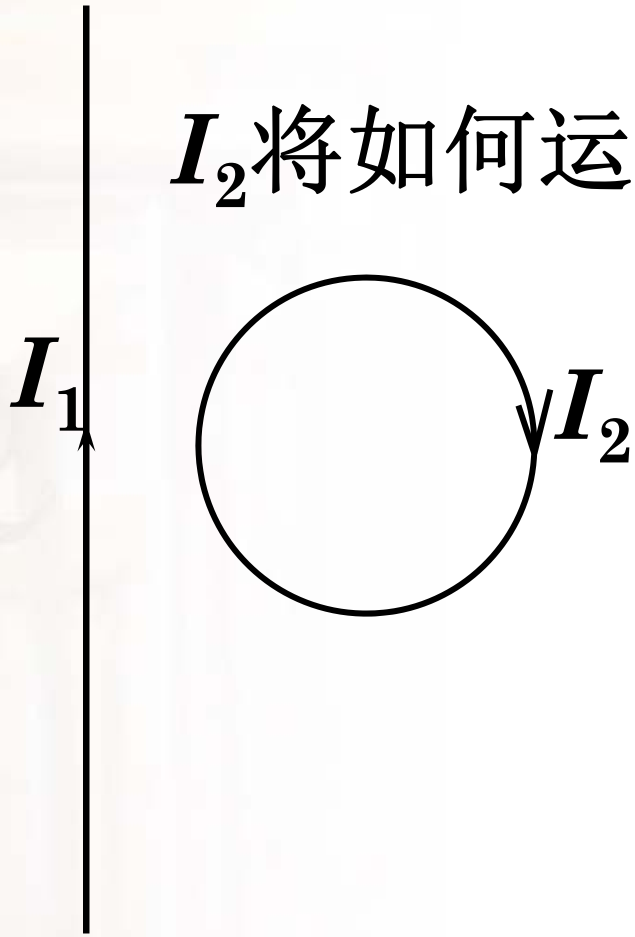


例.两条直导线AB、CD互相垂直，如图所示，但相隔一个小的距离。其中导线CD能够以中点为轴自由转动。当直流电流按图中所示方向通入两条导线时，导线CD将怎样运动？



逆时针方向转动，同时靠近导线AB

I_2将如何运动



圆线圈向直导线平移

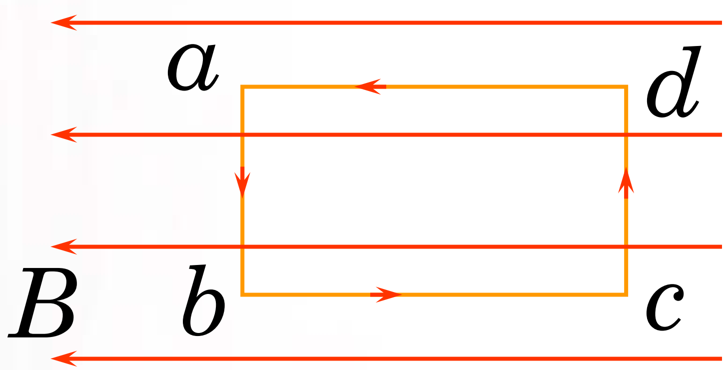
1.如图，匀强磁场中有一矩形通电线圈，它的平面与磁场平行，在磁场作用下，线圈发生转动，其方向是

（A）ab边转入纸内，cd边转出纸外。

（B）ab边转出纸外，cd边转入纸内。

（C）ab边转入纸内，bc边转出纸外。

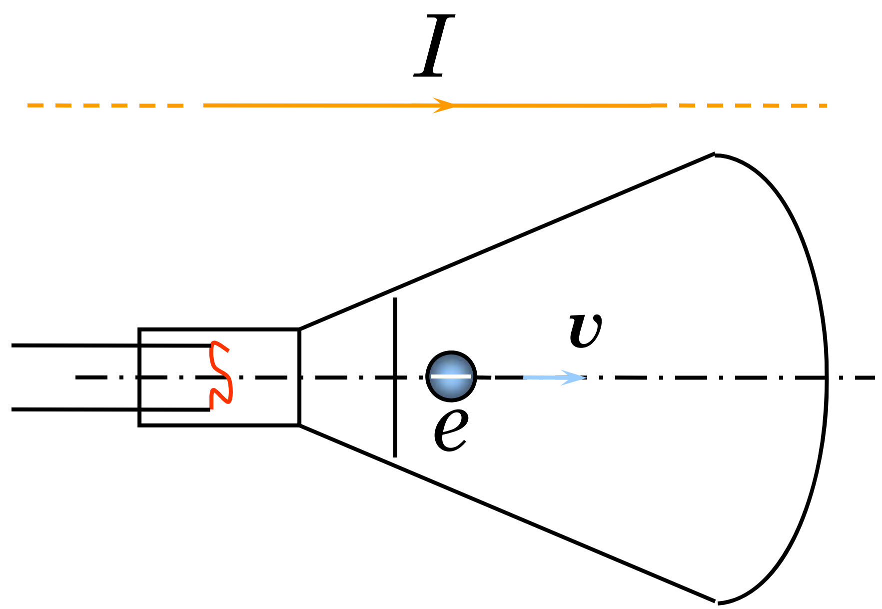
（D）ab边转出纸外，bc边转入纸内。



[A]

2.如图所示， I 是稳定的直线电流，在它下方有一电子射线管。欲使图中阴极所发射的电子束不偏转，可加上一电场。该电场的方向应是：

(A)竖直向上。
(B)竖直向下。
(C)垂直纸面向里。
(D)垂直纸面向外。

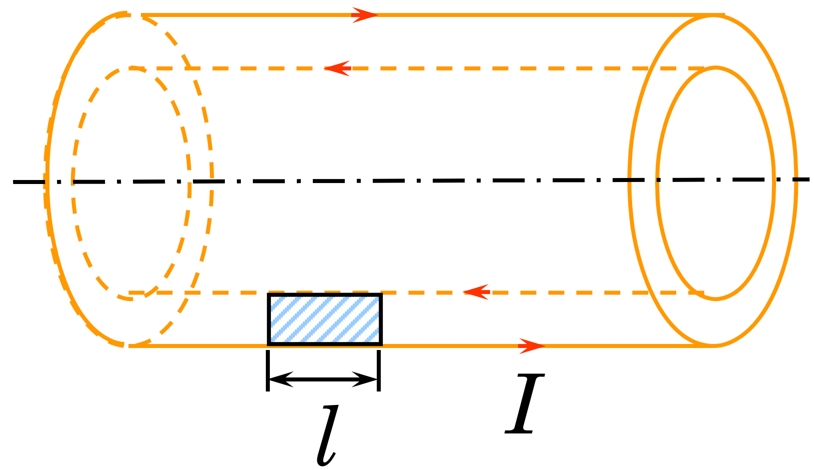


[B]

3例： 一对同轴的无限长空心导体圆筒,内、外半径分别为 R_1 和 R_2（筒壁厚度可以忽略不计）,电流 I 沿内筒流去,沿外筒流回,如图所示。

(1) 计算两圆筒间的磁感应强度；

(2) 求通过长度为 l 的一段截面(图中的斜线部分)的磁通量。

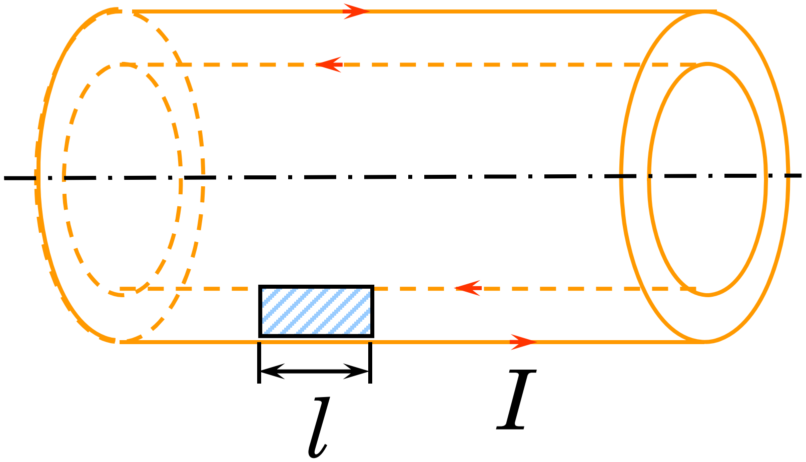


解:(1)由安培环路定理

$$\oint \boldsymbol{B} \cdot d\boldsymbol{l} = B \cdot 2\pi r = \mu_0 I$$

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

(2)在截面上 r 处,取宽为 dr ,长 l 的窄条,其面积



$$dS = l dr$$

则 $$d\phi_m = \boldsymbol{B} \cdot d\boldsymbol{S}$$

$$= \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \cdot l dr$$

$$\therefore \phi = \int_s d\phi_m = \int_{R_1}^{R_2} \frac{\mu_0 I l}{2\pi} \frac{dr}{r} = \frac{\mu_0 I l}{2\pi} \ln \frac{R_2}{R_1}$$

$$R=\frac{mv}{qB}\qquad T=\frac{2\pi m}{qB}\qquad h=\frac{2\pi mv\cos\theta}{qB}$$

带电粒子在均匀磁场中的运动

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

霍耳效应 **H**：霍耳系数

霍耳电压的正负和形成电流的载流子的正负有关

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

$$\boxed{\vec{M} = I\vec{S} \times \vec{B} = \vec{m} \times \vec{B}}$$

$$m = ISe_n$$

$$F_1 = F_2 = \frac{\mu_o I_2 I_1}{2\pi d}$$

谢谢！