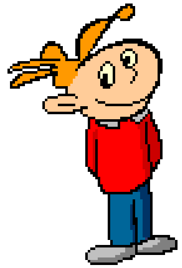
7-1　磁场　磁感强度

一　磁 场



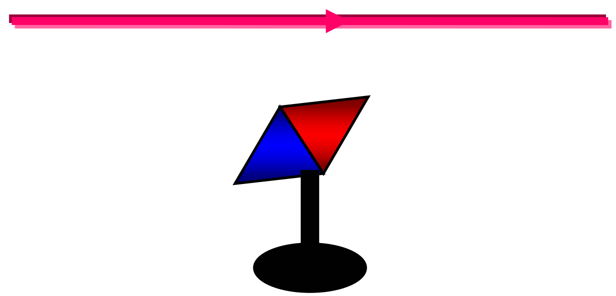
1 磁铁的磁场

N、S极同时存在；

同名磁极相斥，异名磁极相吸.

磁　铁 $\Leftrightarrow$ 磁场 $\Leftrightarrow$ 磁　铁

2 电流的磁场

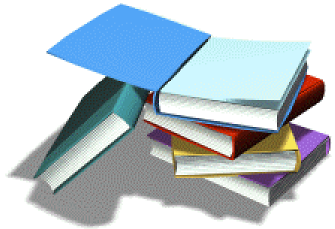


奥斯特实验

电　流 ⟷ 磁场 ⟷ 电　流

3 磁现象的起源

运动电荷 ⟷ 磁场 ⟷ 运动电荷



4　磁场的重要表现

- 力的表现　　磁场对运动电荷或者载流导线有力的作用
- 功的表现　　载流导线在磁场中运动时，磁场施于载流导线的力做功

二、磁场的描述

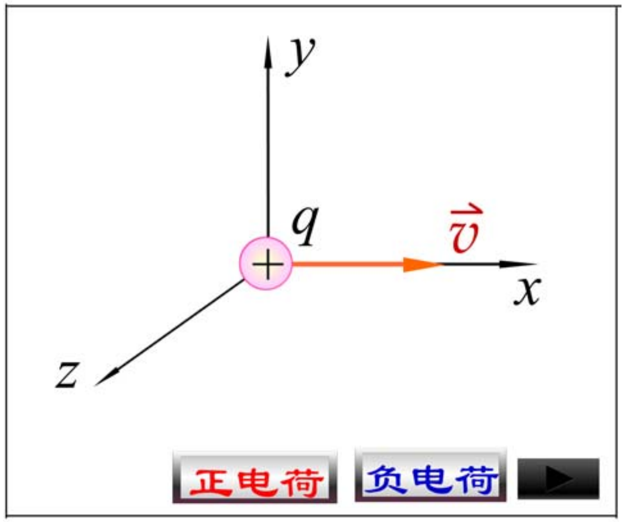
根据运动电荷在磁场中受力情况来描述磁场。

实验结论：

1. $\vec{v}=0$ 则 $\vec{F}=0$，$\vec{v}\neq 0$ 一般 $\vec{F}\neq 0$，

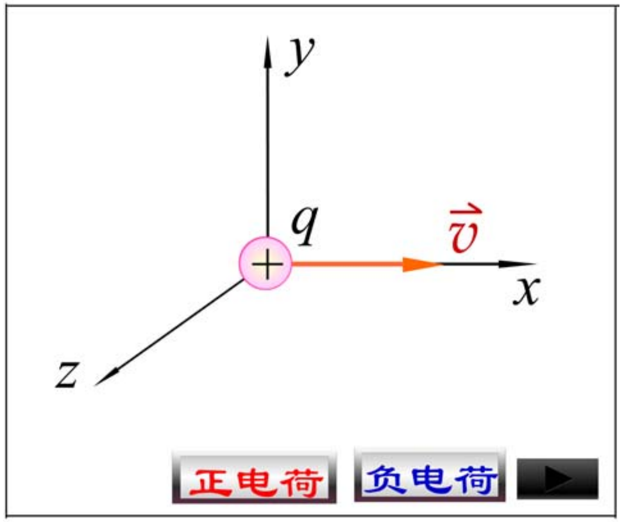
但（**p**点）沿某特定直线运动，则 ，$\vec{F}=0$

规定 $\vec{B}_{//_p}$ 该直线（零力线）



2. $\vec{F} \perp \vec{v}$, $\vec{F} \perp \vec{B}$. 即 $\vec{F} \perp \vec{v}, \vec{B}$ 构成之平面。

$$q \to -q \Rightarrow \vec{F} \to -\vec{F}$$

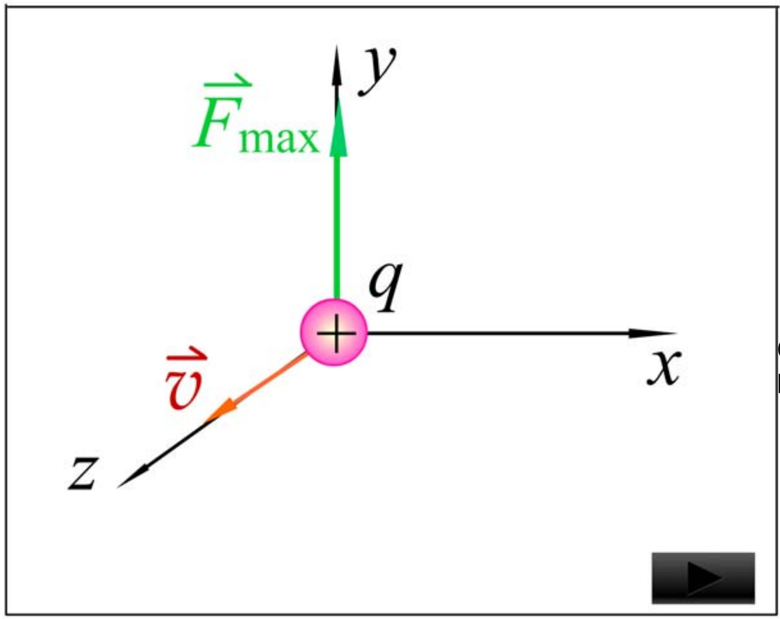


3. $\left|\vec{F}\right| \propto qv\sin\theta$

$\dfrac{\left|\vec{F}\right|}{qv\sin\theta}$ 与 q, v, θ 无关，只与位置有关。

磁感强度 $\vec{B}$ 的定义：

当正电荷垂直于 特定直线运动时,受力 $\vec{F}_{\max}$ 将 $\vec{F}_{\max}\times\vec{v}$ 在磁场中的方向定义为该点的 $\vec{B}$ 的方向，与静止在该处的小磁针N极所指方向一致



磁感强度大小：

$$\boxed{B=\frac{F_{\max}}{qv}}$$

SI 中 B 之单位为特斯拉 (T)

$$1\mathrm{T}=1\mathrm{N}/(\mathrm{A}\cdot\mathrm{m})$$

7-2 毕奥—萨伐尔定律

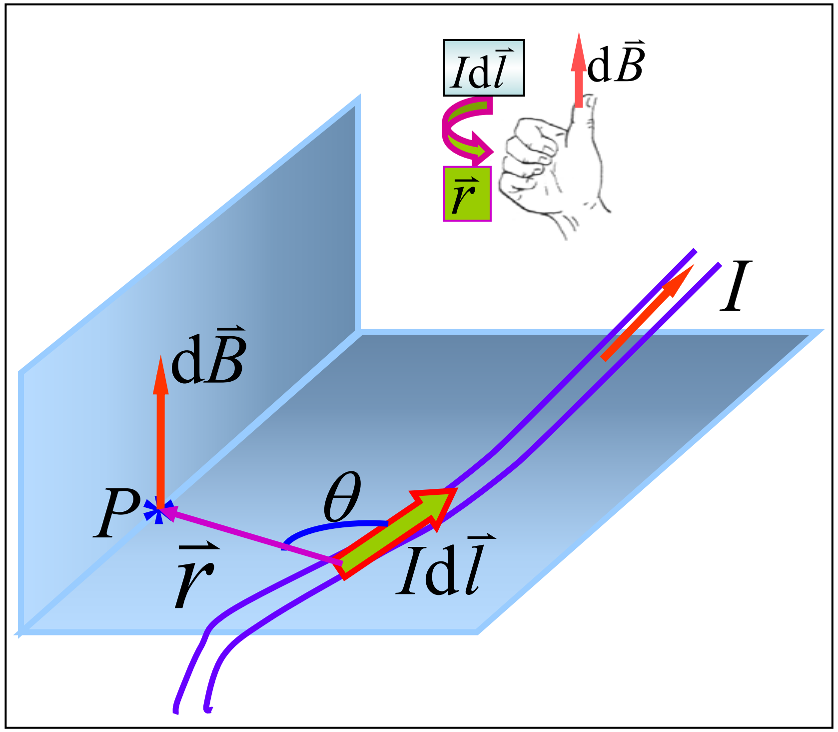
一　定律内容

(电流元在空间产生的磁场)

$$\mathrm{d}\vec{B}=\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\mathrm{d}\vec{l}\times\vec{r}}{r^3}$$

真空磁导率

$$\mu_0=4\pi\times10^{-7}\ \mathrm{N\cdot A^{-2}}$$



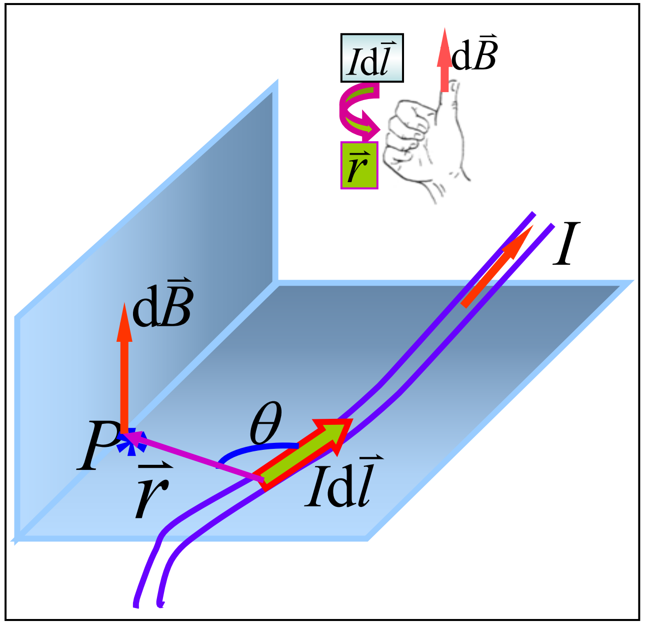
1）磁感强度的大小

$$\mathrm{d}B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\mathrm{d}l\sin\theta}{r^2}$$

磁感强度的方向　由右手螺旋关系确定

2）当电流元与位置矢量在同一直线上时，磁感为零

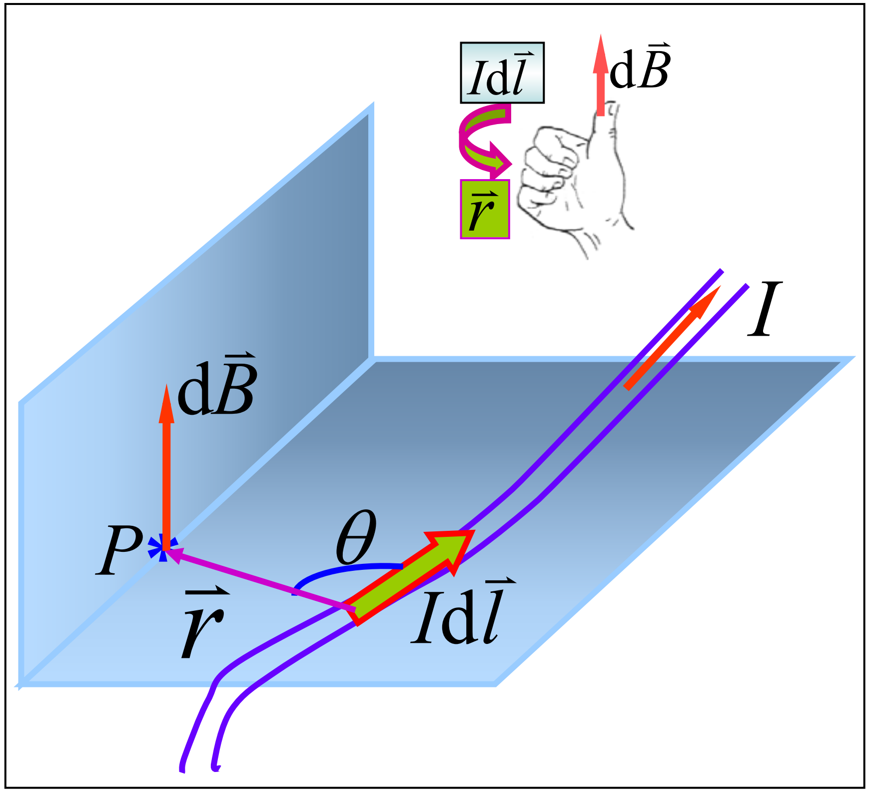
3）定律无法直接用实验来验证



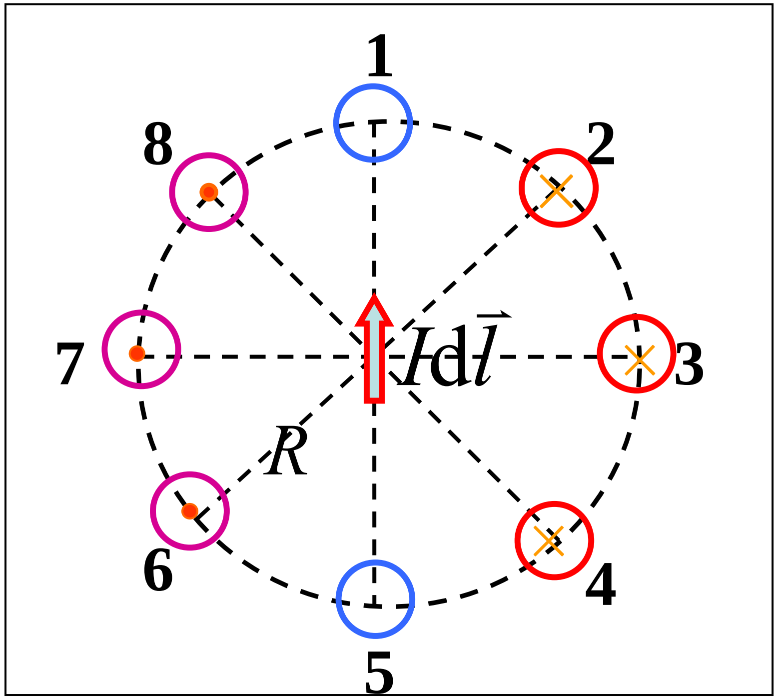
4） 任意载流导线在点 P 处的磁感强度

$$\vec{B}=\int \mathrm{d}\vec{B}$$

$$=\int \frac{\mu_0 I}{4\pi}\frac{\mathrm{d}\vec{l}\times\vec{r}}{r^3}$$



例 判断下列各点磁感强度的大小.



1、5点： $\mathrm{d}B = 0$

3、7点： $\mathrm{d}B = \dfrac{\mu_0 I\mathrm{d}l}{4\pi R^2}$

2、4、6、8 点：

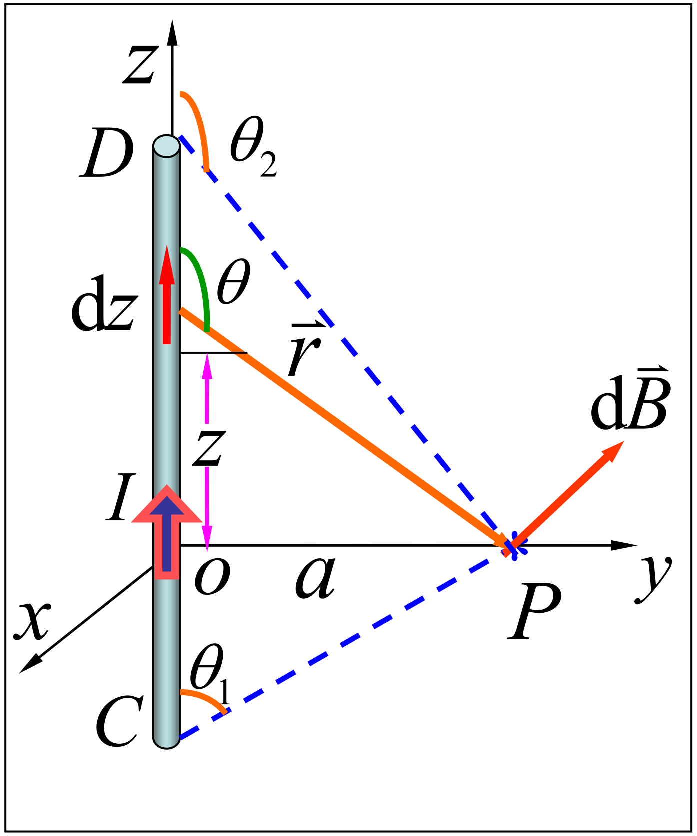
$$\mathrm{d}B = \frac{\mu_0 I\mathrm{d}l}{4\pi R^2}\sin 45^0$$

$$\mathrm{d}\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\mathrm{d}\vec{l}\times\vec{r}}{r^3}$$

毕奥－萨伐尔定律

二　毕奥—萨伐尔定律应用举例

例　载流长直导线的磁场.

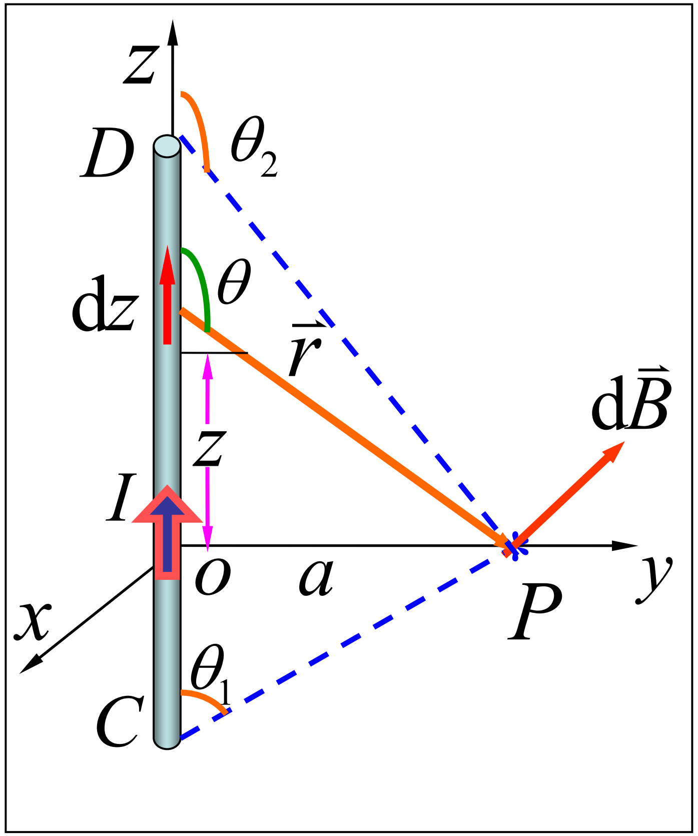


解　$$\mathbf{d}B=\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\mathbf{d}z\sin\theta}{r^2}$$

$\mathrm{d}\vec{B}$ 方向均沿 x 轴的负方向

$$B=\int\mathbf{d}B=\frac{\mu_0}{4\pi}\int_{CD}\frac{I\mathbf{d}z\sin\theta}{r^2}$$

$$B=\int \mathrm{d}B=\frac{\mu_0}{4\pi}\int_{CD}\frac{I\mathrm{d}z\sin\theta}{r^2}\quad z=-a\cot\theta, r=a/\sin\theta$$



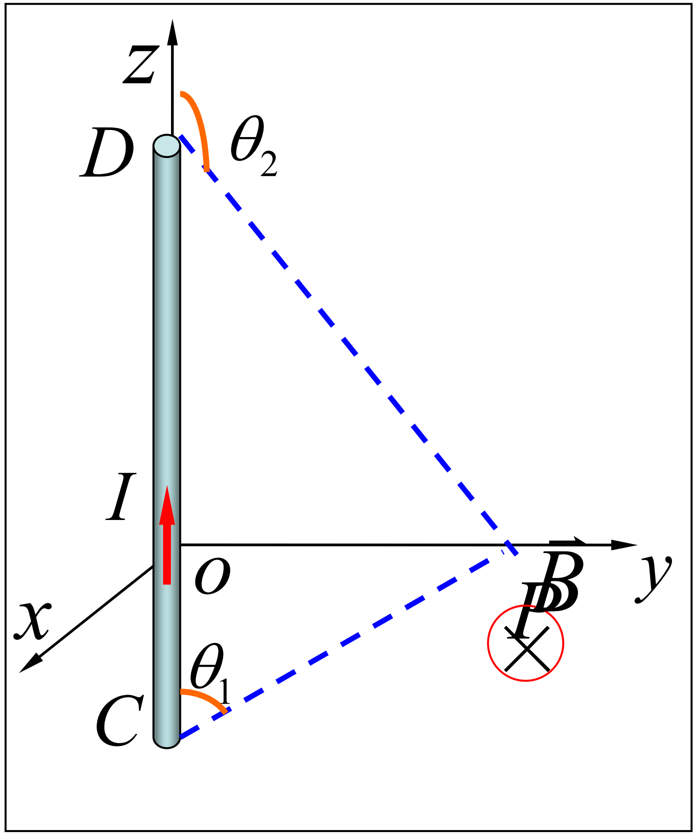
$$\mathrm{d}z=a\mathrm{d}\theta/\sin^2\theta$$

$$B=\frac{\mu_0 I}{4\pi a}\int_{\theta_1}^{\theta_2}\sin\theta\mathrm{d}\theta$$

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

$\vec{B}$ 的方向沿 x 轴的负方向

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



无限长载流长直导线

$\theta_1 \to 0$

$\theta_2 \to \pi$

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

半无限长载流长直导线

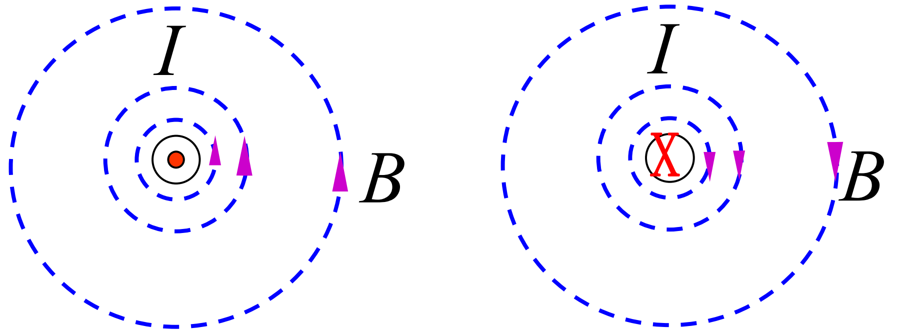
$\theta_1 \to \frac{\pi}{2}$

$\theta_2 \to \pi$

$$\boxed{B_P=\frac{\mu_0 I}{4\pi a}}$$

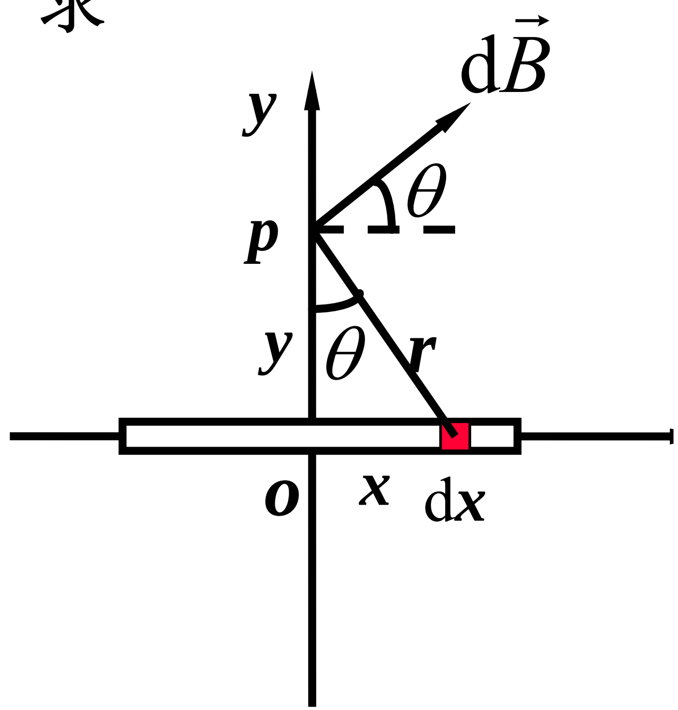
◆ 无限长载流长直导线的磁场

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



◆ 电流与磁感强度成右螺旋关系

[例] 无限长薄铜片，宽为a，电流I，求铜片中心线上方之B。



解：一个细窄条相当于一个直电流

$$\mathrm{d}B = \frac{\mu_0 \mathrm{d}I}{2\pi r} = \frac{\mu_0}{2\pi r}\frac{I\mathrm{d}x}{a}$$

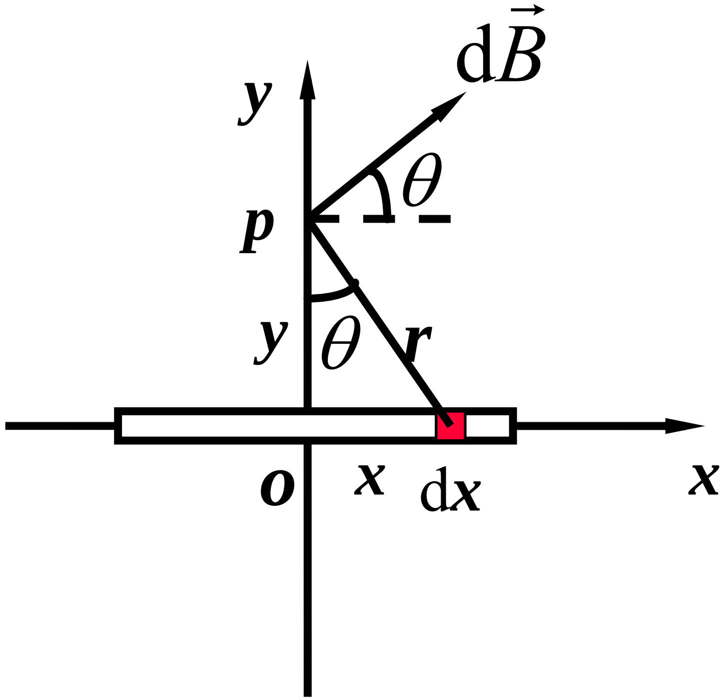
$$B = \int \mathrm{d}B_x = \int \mathrm{d}B \cdot \cos\theta$$

$$= \int \frac{\mu_0}{2\pi r}\frac{I\mathrm{d}x}{a} \cdot \cos\theta$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \qquad \cos\theta = y \Big/ \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$B=\frac{\mu_0 I y}{2\pi a}\int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}}\frac{\mathrm{d}x}{x^2+y^2}$$

$$=\frac{\mu_0 I}{\pi a}\arctan\frac{a}{2y}$$



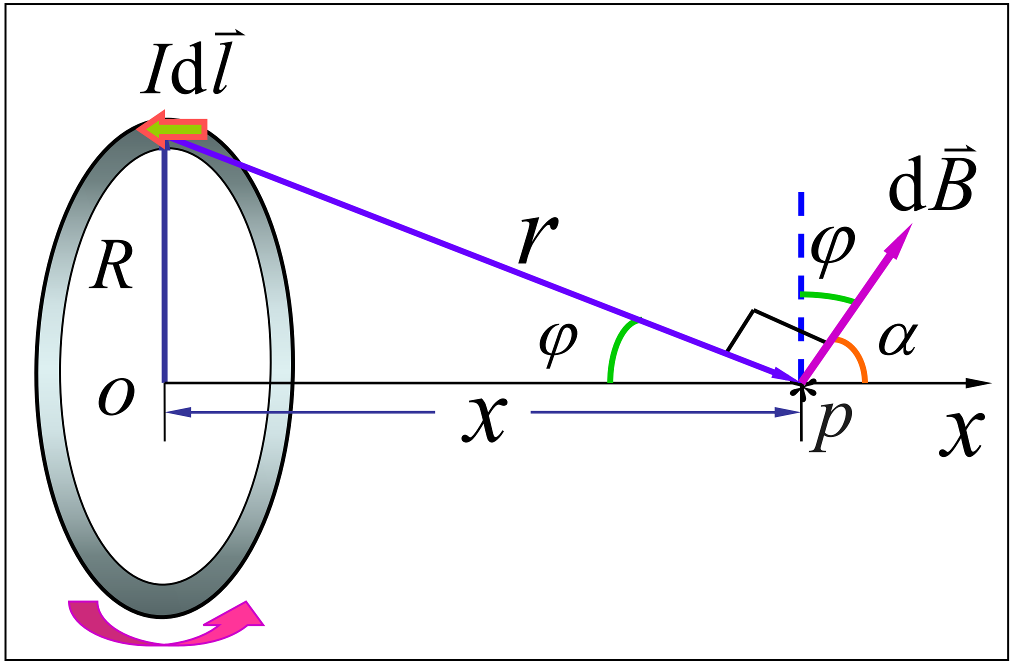
$$y<<a$$

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

对应于无限大面电流产生的磁场！

例 圆形载流导线轴线上的磁场.

解 $B = B_x = \int \mathrm{d}B \sin\varphi$



$$\cos\alpha = R/r$$

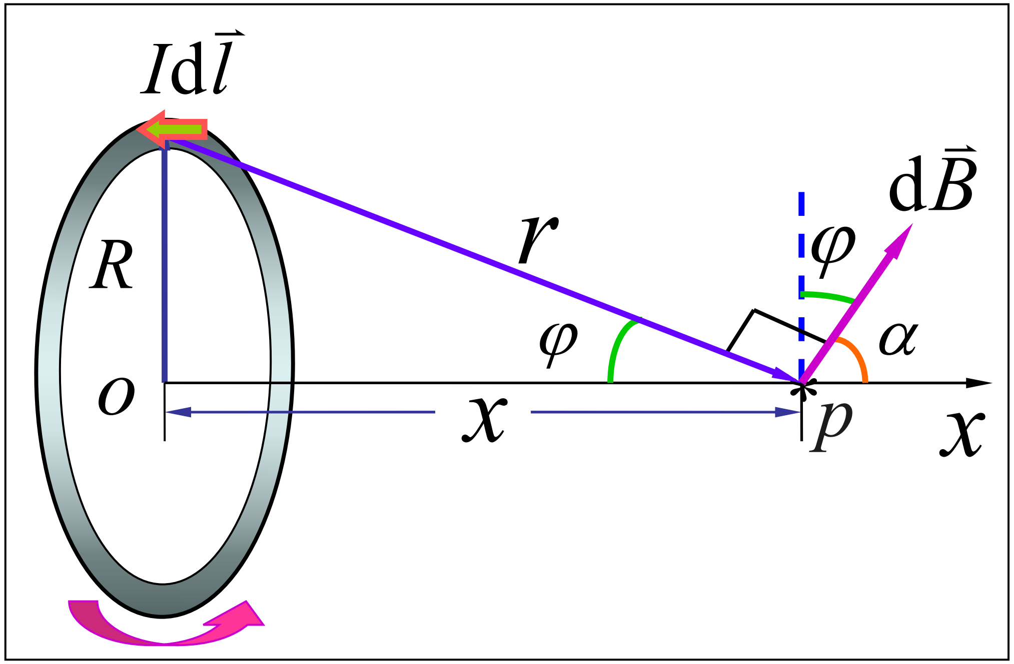
$$r^2 = R^2 + x^2$$

$$\mathrm{d}B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\mathrm{d}l}{r^2}$$

$$\mathrm{d}B_x = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\cos\alpha\,\mathrm{d}l}{r^2}$$

$$\mathrm{d}B_x = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\cos\alpha\mathrm{d}l}{r^2}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\int_l \frac{\cos\alpha\mathrm{d}l}{r^2}$$



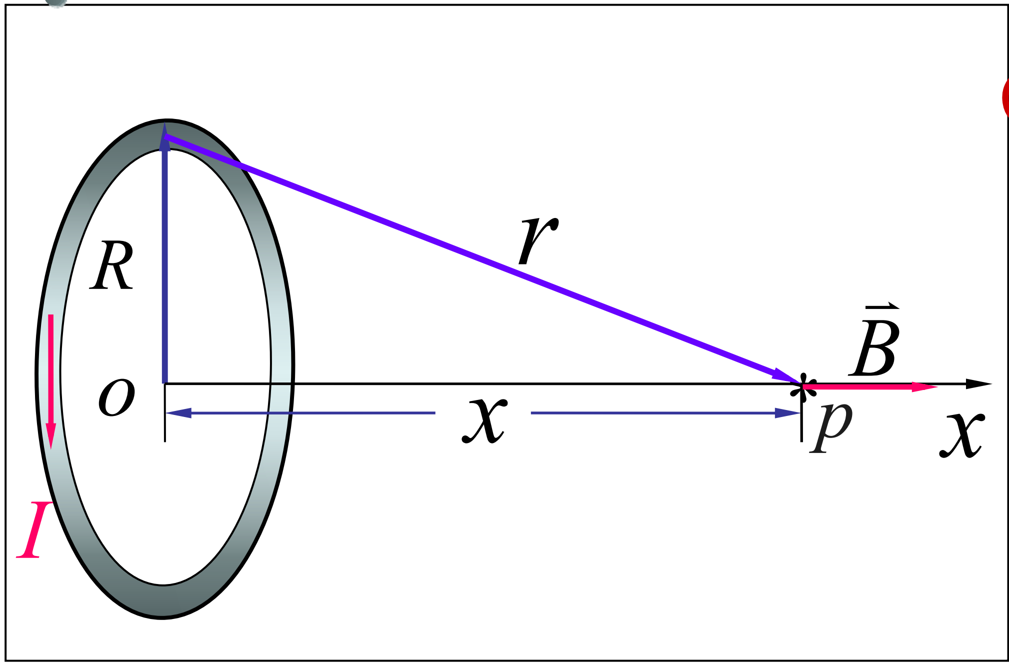
$$B = \frac{\mu_0 IR}{4\pi r^3}\int_0^{2\pi R}\mathrm{d}l$$

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

讨论

（1）若线圈有 N 匝

$$B=\frac{\boxed{N}\,\mu_0 IR^2}{2(x^2+R^2)^{3/2}}$$



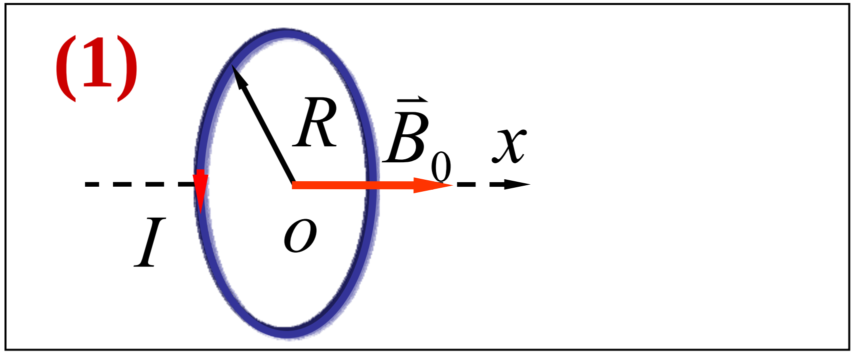
（2）$x=0$ $\quad B=\dfrac{\mu_0 I}{2R}$

（3）$x>>R$

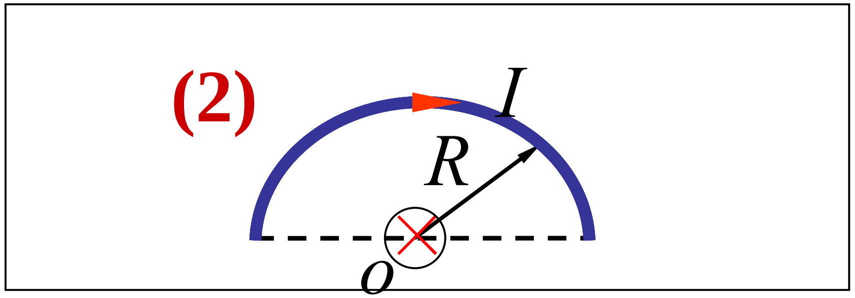
$$B=\frac{\mu_0 IR^2}{2x^3},$$

$$B=\frac{\mu_0 IS}{2\pi x^3}$$

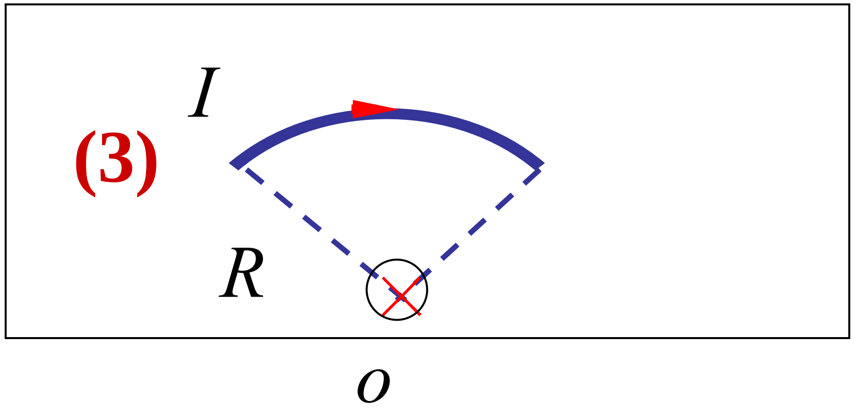
推广组合



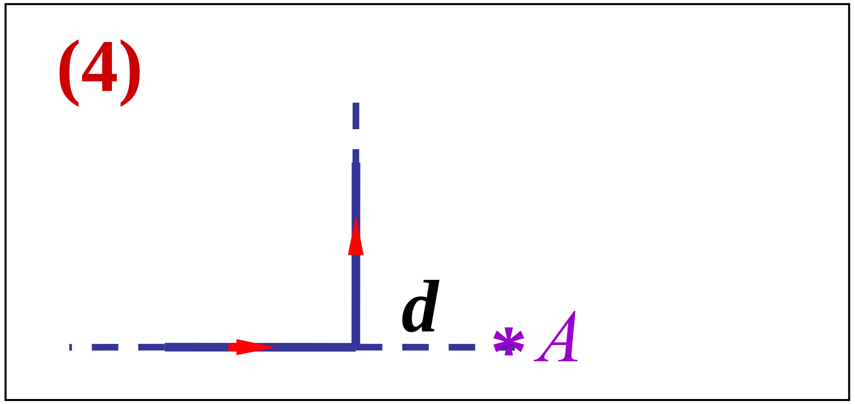
$$B_0 = \frac{\mu_0 I}{2R}$$



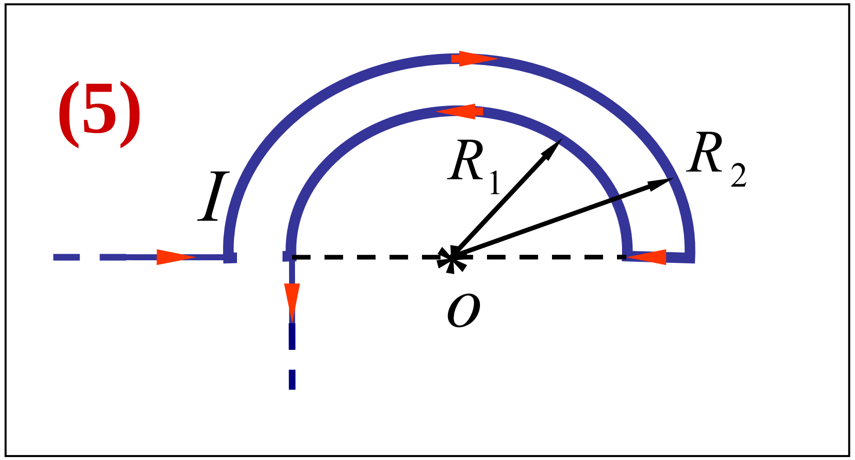
$$B_0 = \frac{\mu_0 I}{4R}$$



$$B_0 = \frac{\mu_0 I \theta}{2R 2\pi}$$



$$B_A = \frac{\mu_0 I}{4\pi d}$$



$$B_0 = \frac{\mu_0 I}{4R_2} - \frac{\mu_0 I}{4R_1} - \frac{\mu_0 I}{4\pi R_1}$$

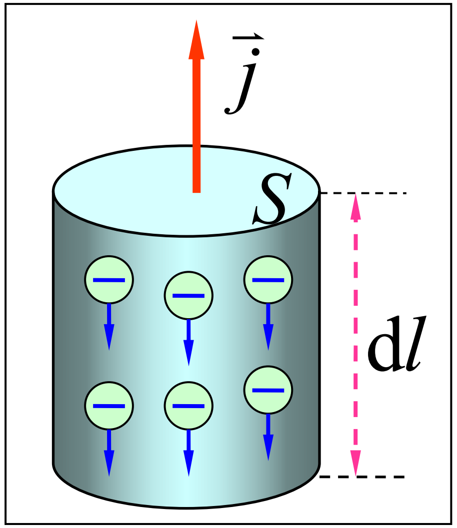
三　运动电荷的磁场

$$\mathrm{d}\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\mathrm{d}\vec{l}\times\vec{r}}{r^3}$$

$$I\mathrm{d}\vec{l} = \vec{j}S\mathrm{d}l = nS\mathrm{d}lq\vec{v}$$

$$\mathrm{d}\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{nS\mathrm{d}lq\vec{v}\times\vec{r}}{r^3}$$

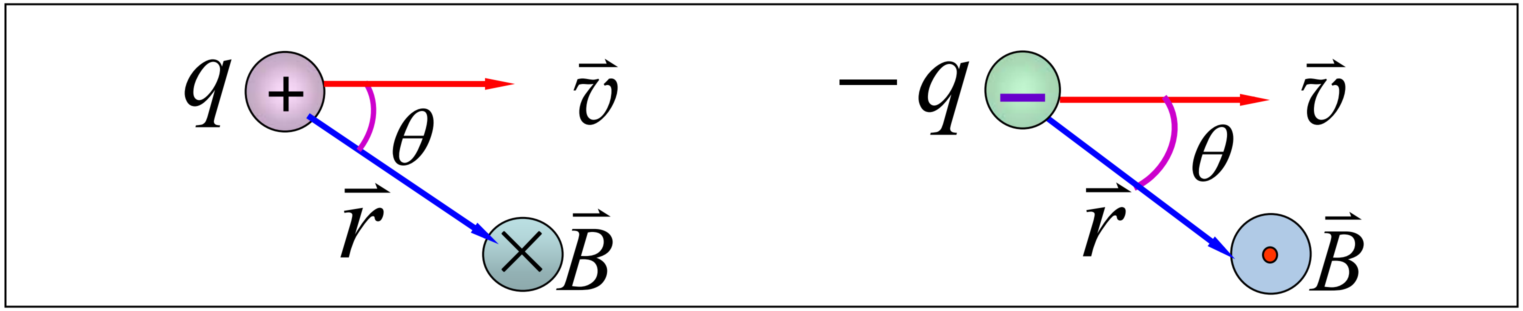
$$\mathrm{d}N = nS\mathrm{d}l$$

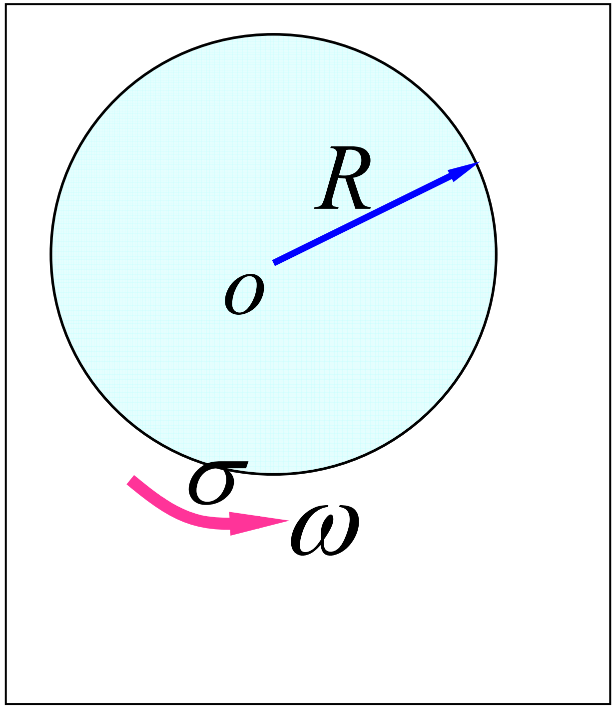


运动电荷的磁场

$$\boxed{\vec{B}=\frac{\mathrm{d}\vec{B}}{\mathrm{d}N}=\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{q\vec{v}\times\vec{r}}{r^3}}$$

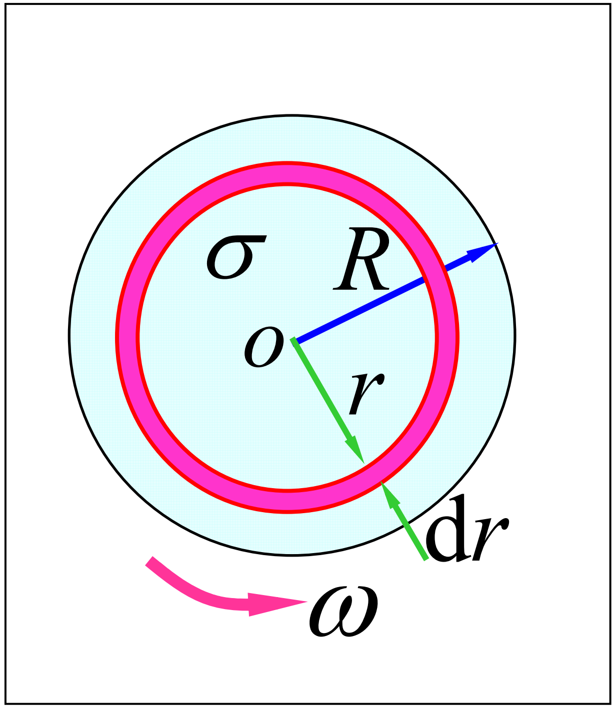
适用条件 $v \ll c$





例　半径为 R 的带电薄圆盘的电荷面密度为 σ, 并以角速度 ω 绕通过盘心垂直于盘面的轴转动，求圆盘中心的磁感强度.

解法一　圆电流的磁场



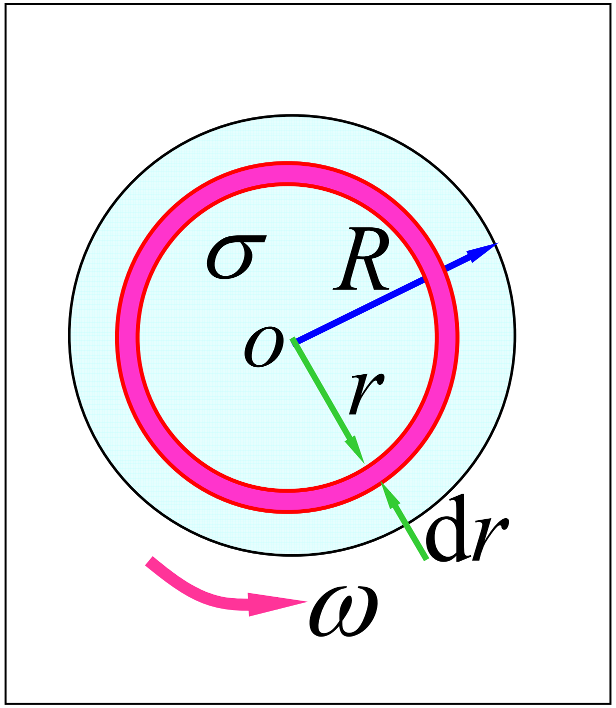
$$\mathrm{d}I=\frac{\omega}{2\pi}\sigma 2\pi r\mathrm{d}r=\sigma\omega r\mathrm{d}r$$

$$\mathrm{d}B=\frac{\mu_0\mathrm{d}I}{2r}=\frac{\mu_0\sigma\omega}{2}\mathrm{d}r$$

$$B=\frac{\mu_0\sigma\omega}{2}\int_0^R\mathrm{d}r=\frac{\mu_0\sigma\omega R}{2}$$

$\sigma>0,\ \vec{B}$ 向外　　　　$\sigma<0,\ \vec{B}$ 向内

解法二　　运动电荷的磁场



$$v = \omega r$$

$$\mathrm{d}B_0 = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{\mathrm{d}q v}{r^2}$$

$$\mathrm{d}q = \sigma 2\pi r \mathrm{d}r$$

$$\mathrm{d}B = \frac{\mu_0 \sigma \omega}{2}\mathrm{d}r$$

$$B = \frac{\mu_0 \sigma \omega}{2}\int_0^R \mathrm{d}r = \frac{\mu_0 \sigma \omega R}{2}$$

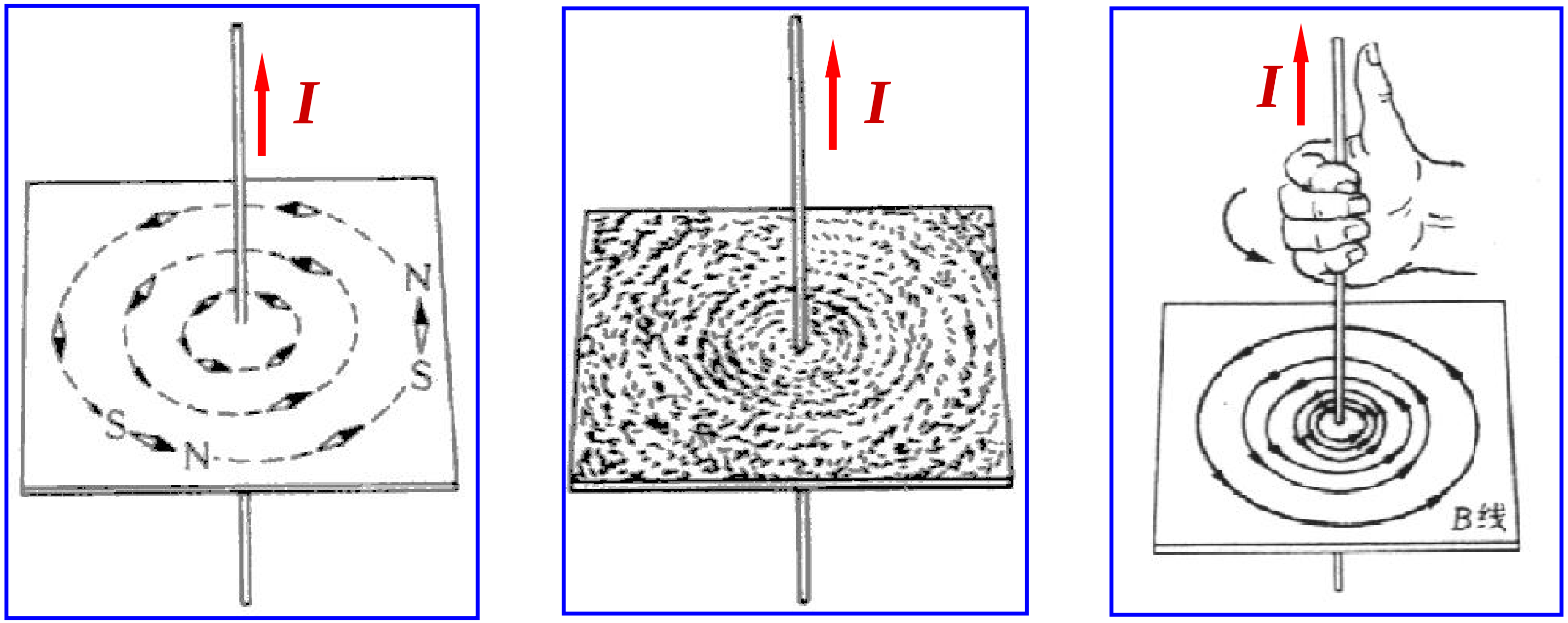
END

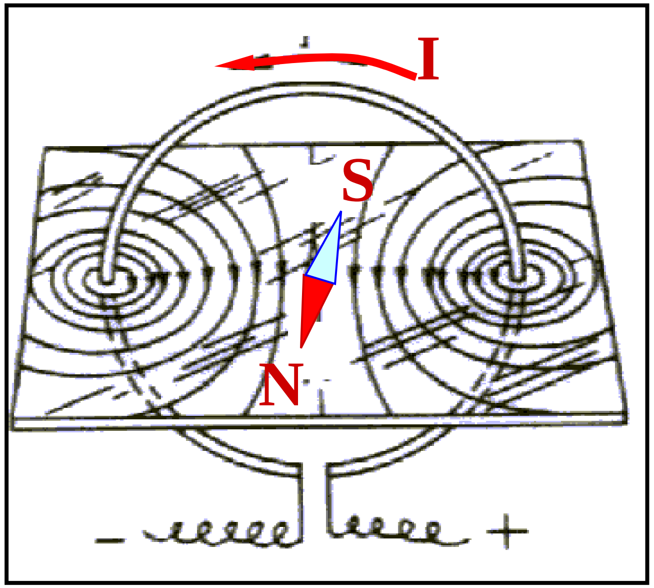
7-3　磁通量　磁场中的高斯定理

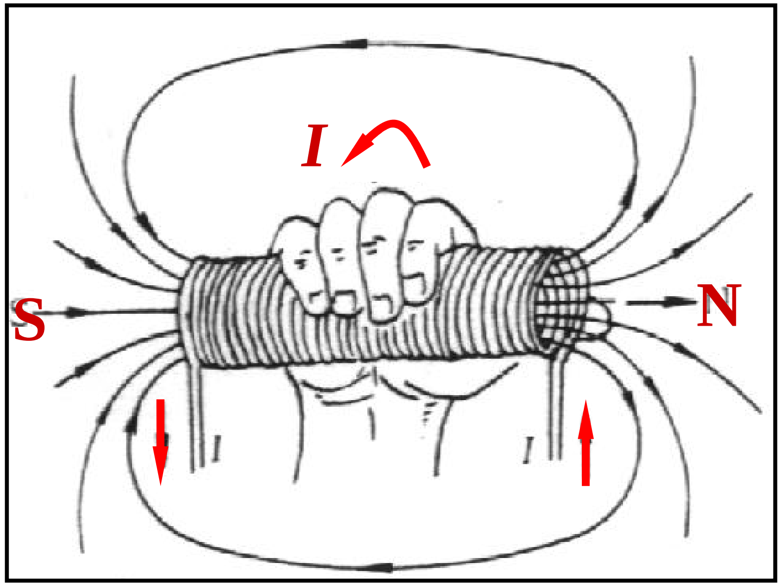
一　磁感线

切线方向—— $\vec{B}$的方向；

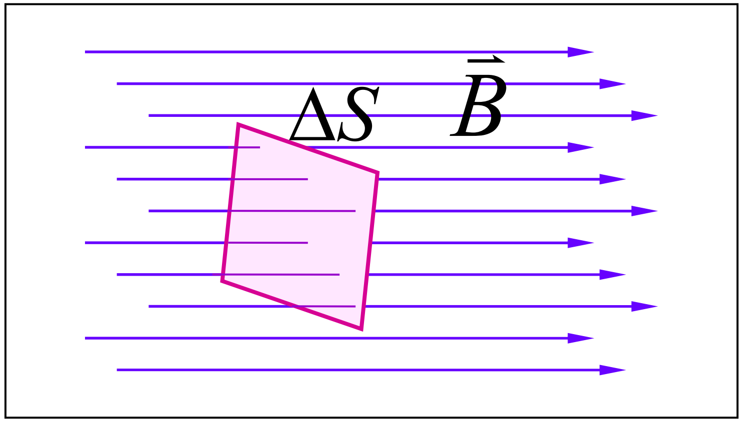
疏密程度—— $\vec{B}$的大小.




I
S
N
–
+

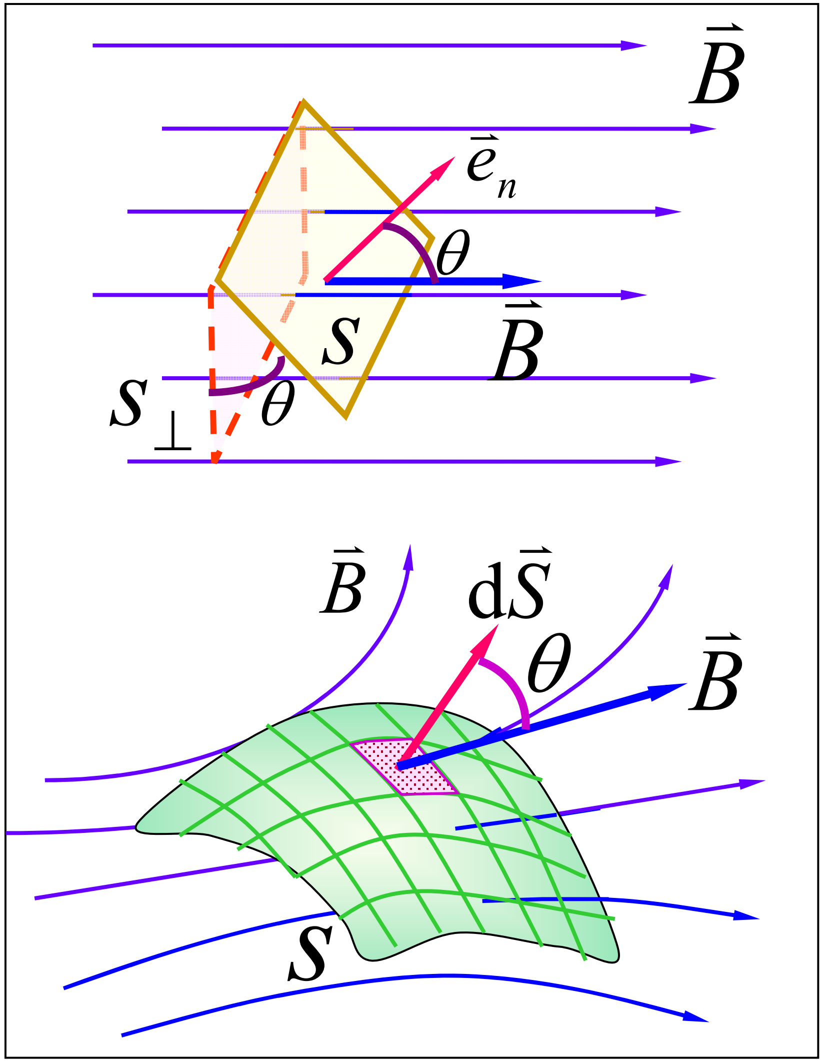

I
S
N
I
I

二　磁通量　磁场的高斯定理



$$B = \frac{\Delta N}{\Delta S_{\perp}}$$

磁场中某点处垂直 $\vec{B}$ 矢量的单位面积上通过的磁感线数目等于该点 $\vec{B}$ 的数值.



磁通量：通过某曲面的磁感线数

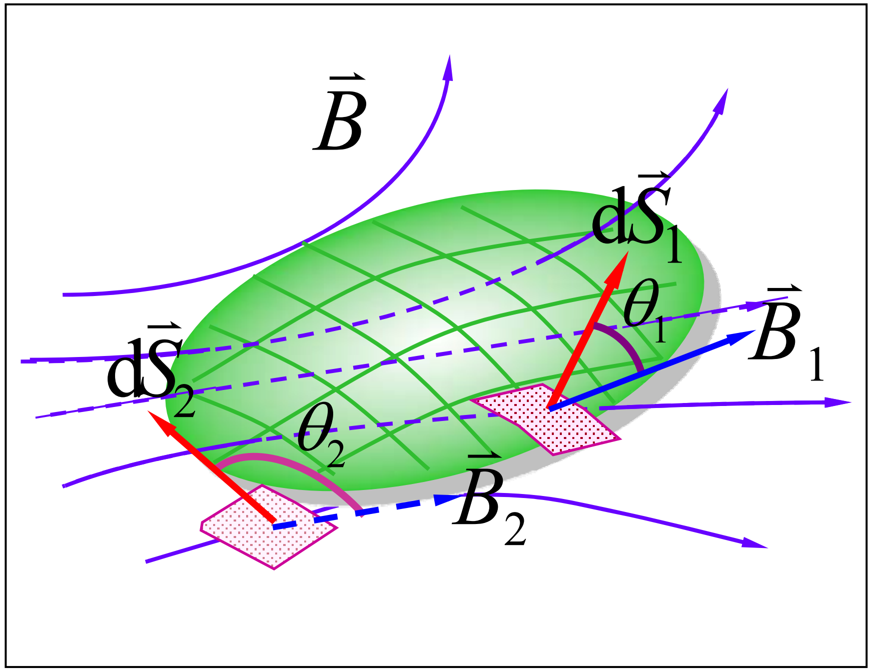
匀强磁场下，平面S的磁通量为：

$$\Phi = \vec{B}\cdot\vec{S} = \vec{B}\cdot\vec{e}_n S$$

$$\Phi = BS\cos\theta = BS_\perp$$

一般情况

$$\boxed{\Phi = \int_S \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{S}}$$



$$\mathrm{d}\Phi_1 = \vec{B}_1 \cdot \mathrm{d}\vec{S}_1 > 0$$

$$\mathrm{d}\Phi_2 = \vec{B}_2 \cdot \mathrm{d}\vec{S}_2 < 0$$

$$\oint_S B \cos\theta \mathrm{d}S = 0$$

◆ 磁场高斯定理

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

◆ **物理意义：**通过任意闭合曲面的磁通量必等于零（故磁场是**无源的**）．

磁场和电场的比较

$$\oiint_s \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{S} = q_{s内} / \varepsilon_0 \qquad \oiint_S \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{S} = 0$$

$\vec{E}$线出自正电荷，收于负电荷　　$\vec{B}$线无头无尾

静电场为有源场！　　磁场为无源场！

磁场与电场不同的原因：自然界无磁单极

计算磁通量的两种方法：

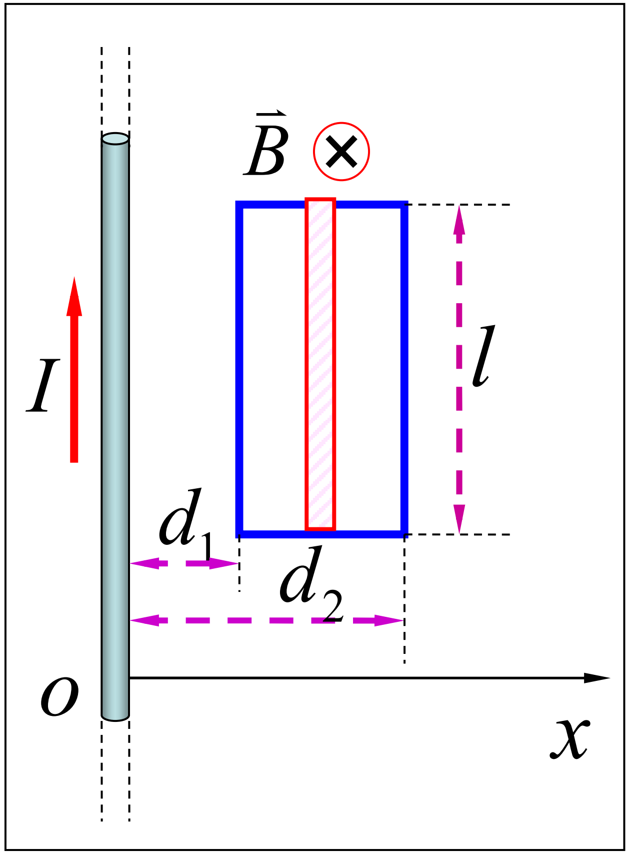
1）定义法（适用于规则平面）

$$\Phi = \int_{S} \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{S}$$

2）高斯定理法

$$\oint_{S} \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{S} = 0$$

例 如图载流长直导线的电流为 I，试求通过矩形面积的磁通量.



解

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

$$\mathrm{d}\Phi = B\,\mathrm{d}S = \frac{\mu_0 I}{2\pi x} l\,\mathrm{d}x$$

$$\Phi = \int_S \vec{B}\cdot\mathrm{d}\vec{S} = \frac{\mu_0 I l}{2\pi}\int_{d_1}^{d_2}\frac{\mathrm{d}x}{x}$$

$$\Phi = \frac{\mu_0 I l}{2\pi}\ln\frac{d_2}{d_1}$$

例 在一无限长直载流导线旁，放一直角三角形线圈与其共面，求通过该线圈的磁通量。

7- 4　安培环路定理

一、安培环路定理

$$\oint \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = \mu_0 \sum_{i=1}^{n} I_i$$

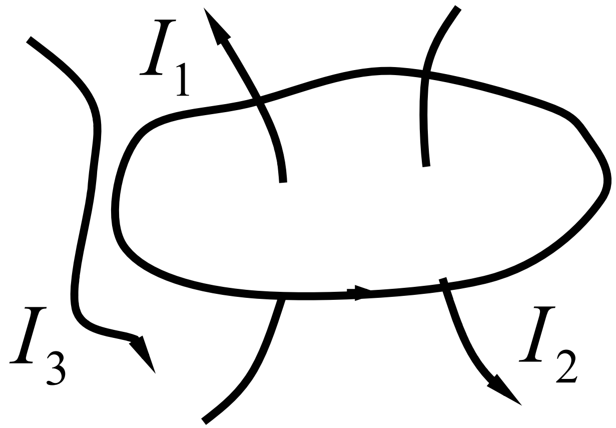
在真空的恒定磁场中，磁感强度 $\vec{B}$ 沿任一闭合路径的积分的值，等于 μ_0 乘以该闭合路径所穿过的各电流的代数和.

注意

电流 I 正负的规定：I 与 L 成右螺旋时，I 为正；反之为负.

注意：1.　$\vec{B}$ 由所有电流共同产生

但安培环路定理表达式中的电流强度是指穿过闭合曲线的电流，不包括闭合曲线以外的电流。

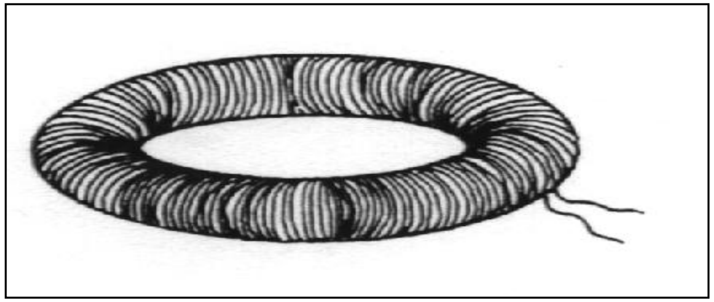


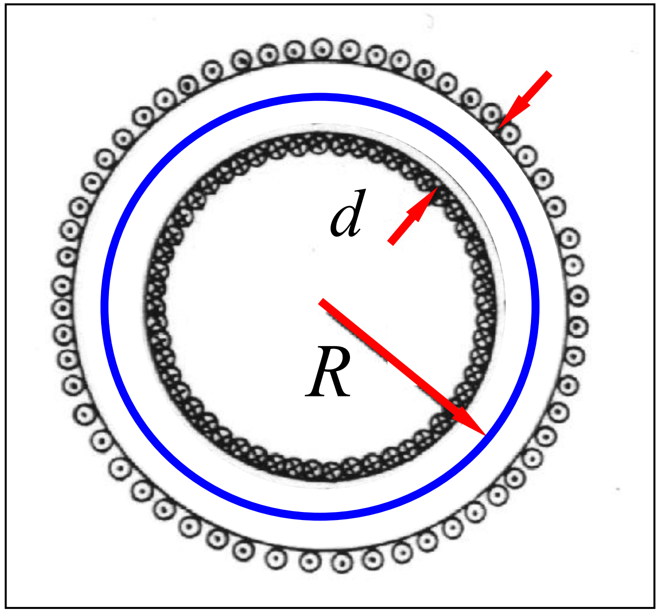
2. 仅适用稳恒电流产生的磁场

二　安培环路定理的应用举例

例　求载流螺绕环内的磁场

解　（1）对称性分析：环内 $\vec{B}$ 线为同心圆，环外 $\vec{B}$ 为零.





（2）选回路

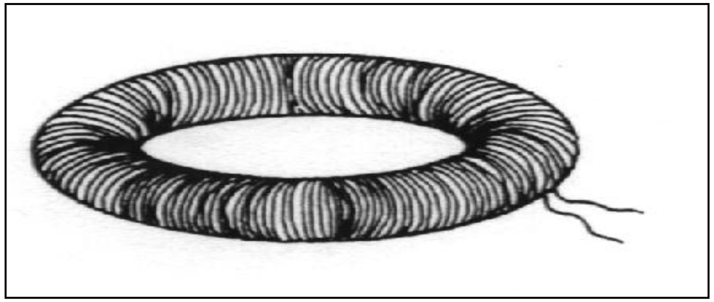
$$\oint_l \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{l} = 2\pi RB = \mu_0 NI$$

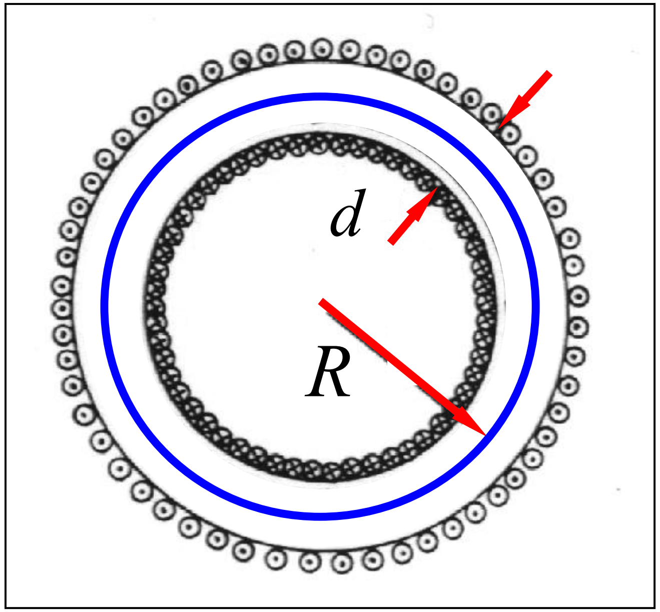
$$B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi R}$$

令 $L = 2\pi R$

$$\boxed{B = \mu_0 NI/L}$$

当 $2R >> d$ 时，螺绕环内可视为均匀场 .





例　无限长圆柱面电流的磁场。

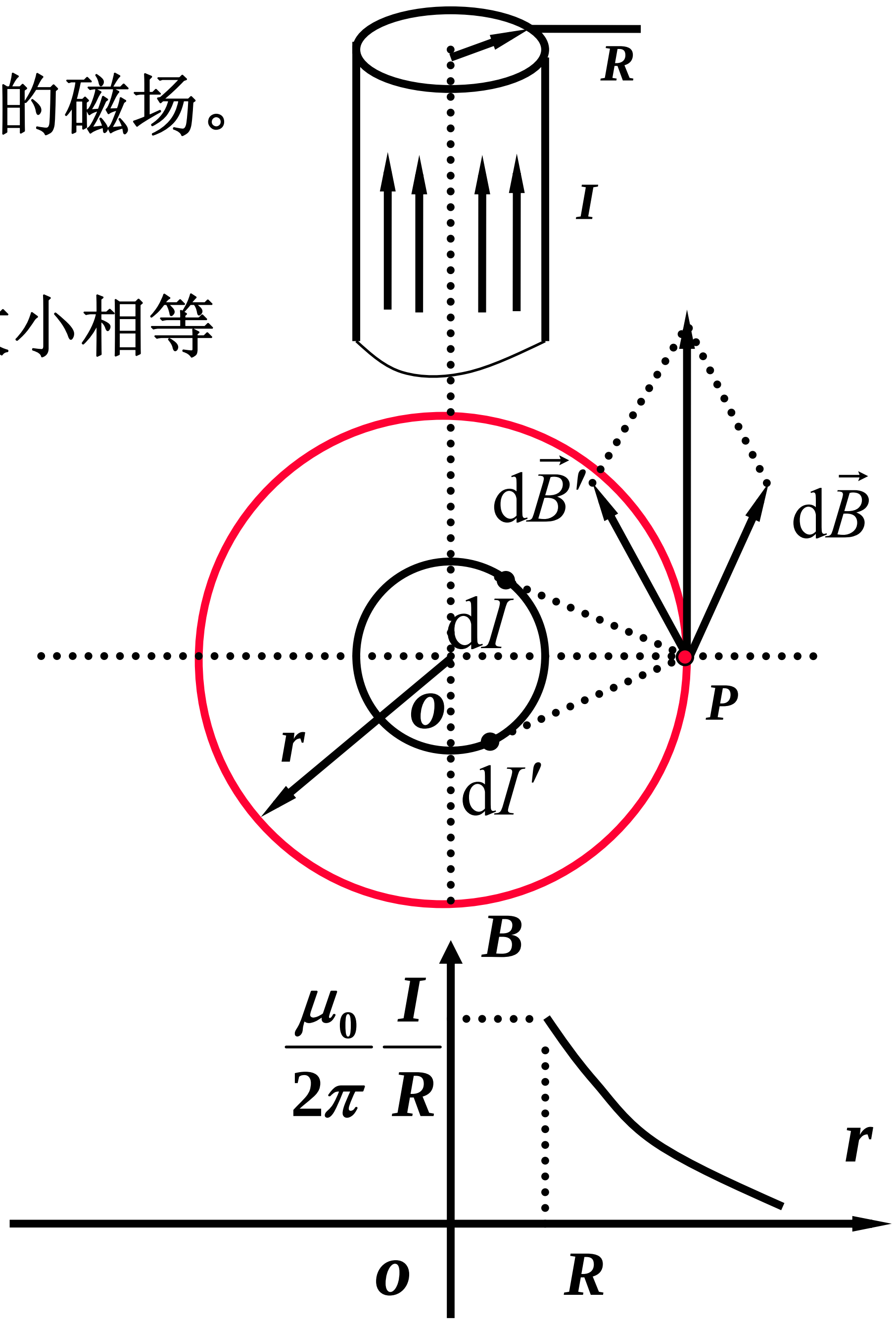
解：对称性分析结论：

磁场沿回路切线，各点大小相等

$$\oint_l \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{l} = B2\pi r = \mu_0 I$$

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I}{r}\ (r > R)$$

$$B = 0\ (r < R)$$



例 无限长载流圆柱体的磁场

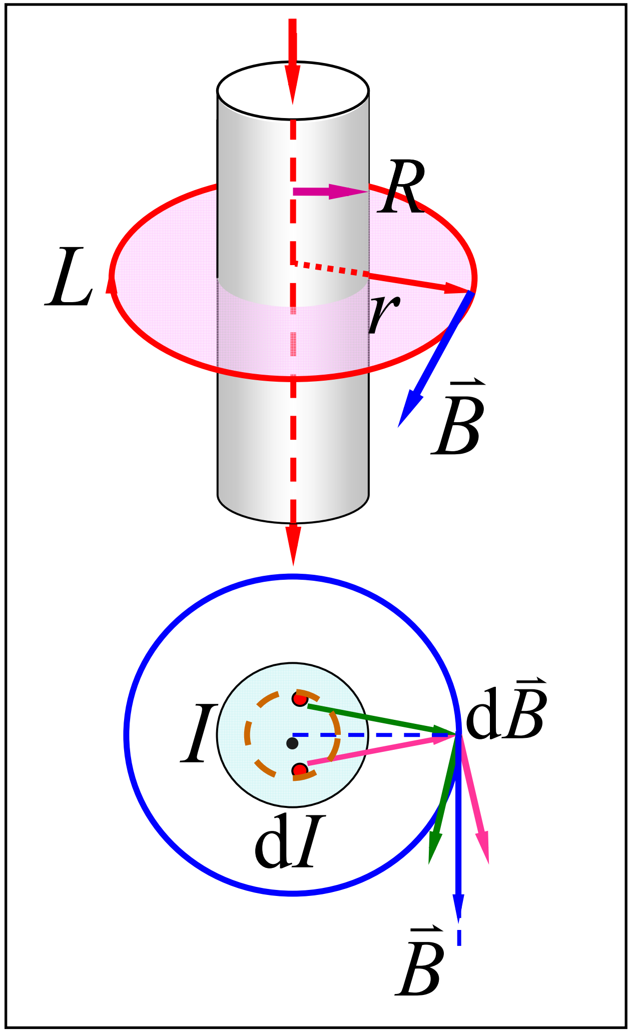
解 （1）对称性分析

（2）$r > R$

$$\oint_l \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = \mu_0 I \qquad B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

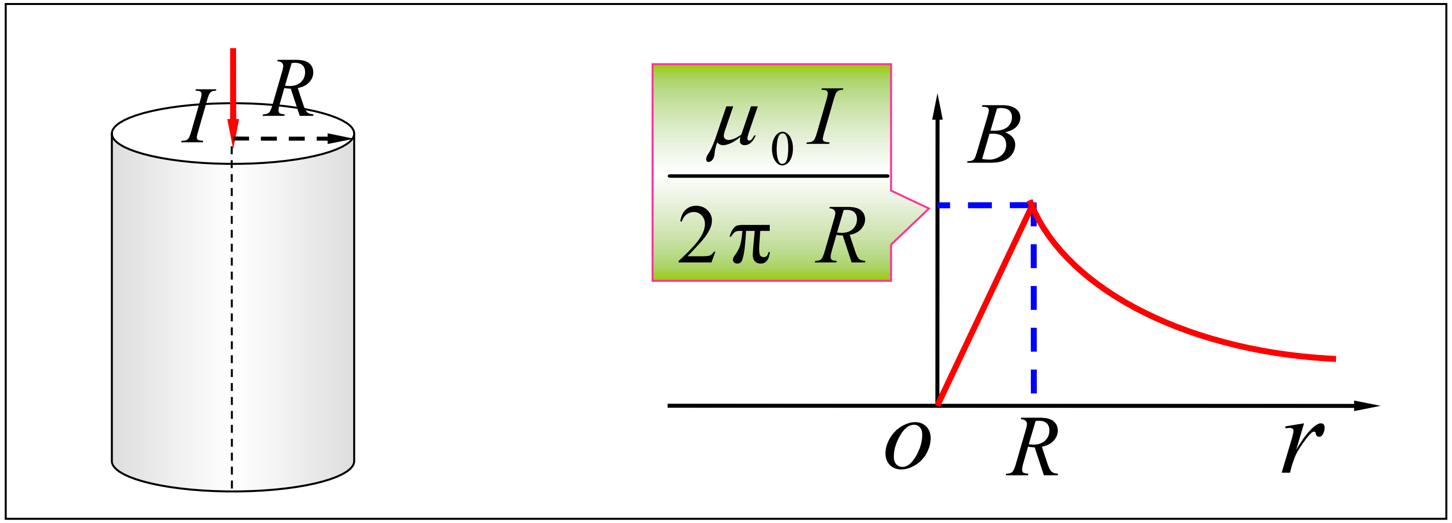
$0 < r < R$ $$\oint_l \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = \mu_0 \frac{\pi r^2}{\pi R^2} I$$

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

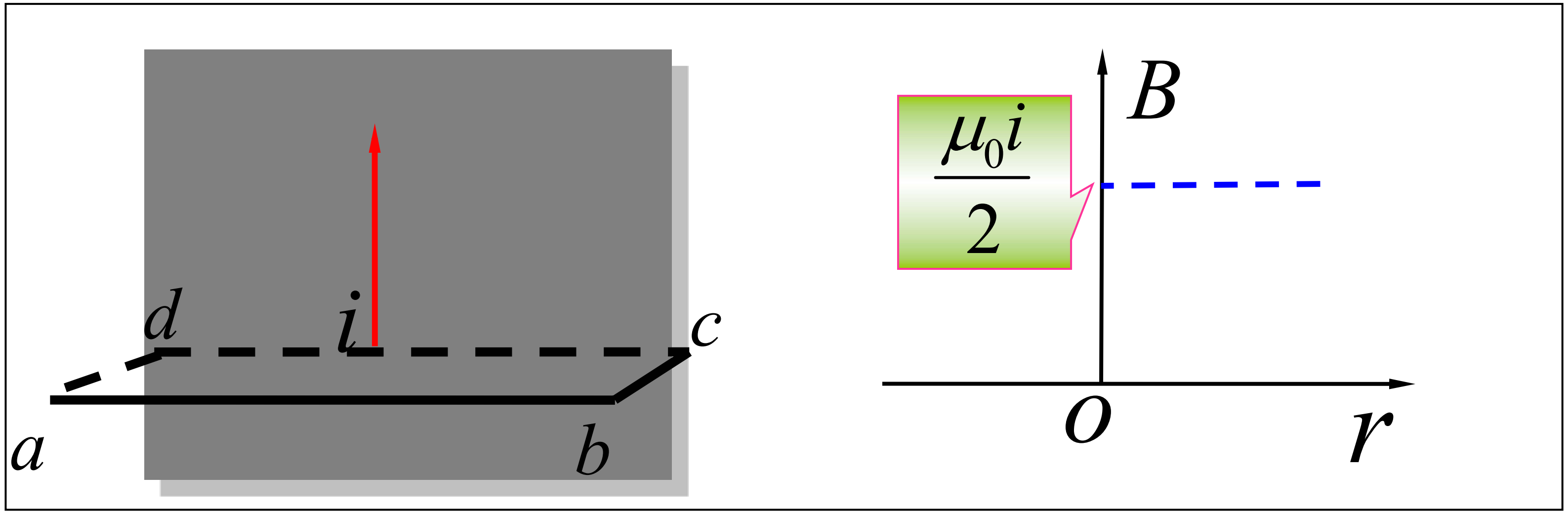


$\vec{B}$ 的方向与 I 成右螺旋

$$\begin{cases} 0<r<R, & B=\dfrac{\mu_0 Ir}{2\pi R^2} \\ r>R, & B=\dfrac{\mu_0 I}{2\pi r} \end{cases}$$



例　无限大均匀带电(线密度为i)平面的磁场



解

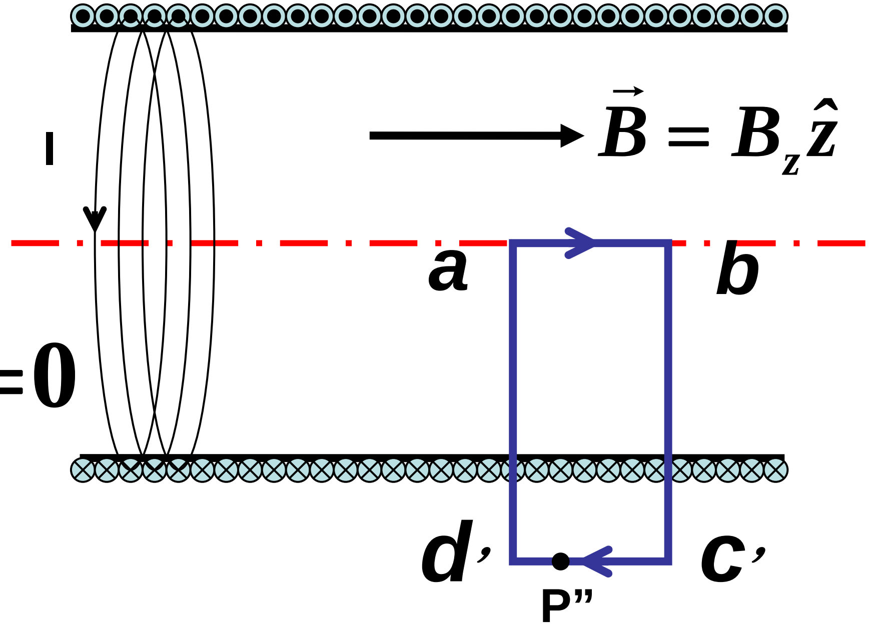
$$\oint_l \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{l} = 2\int_a^b B\cdot dl = 2B\overline{ab} = \mu_0 i\overline{ab}$$

$$B = \frac{\mu_0 i}{2}$$

END

例、求载流无限长直螺线管内任一点的磁场

取*L*矩形回路, *ab* 边在轴上，边*cd*与轴平行,另两个边垂直于轴。



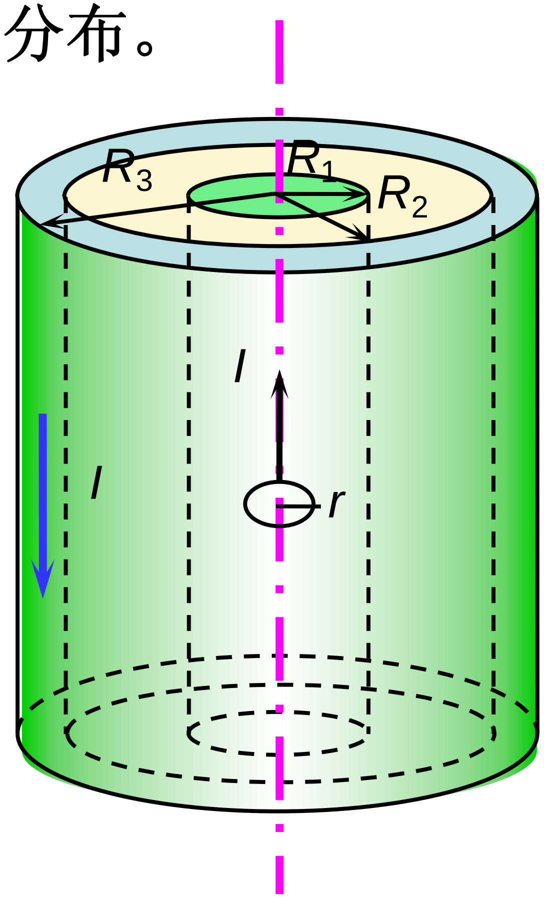
$$\oint_L \vec{B}\cdot d\vec{l} = B_{ab}\cdot\overline{ab} - B_{cd}\cdot\overline{cd} = 0$$

$$B_{ab} = B_{cd} = B$$

同理可证，无限长直螺线管外任一点的磁场为零。
选矩形回路*c’d’*边在管外。

$$\oint_L \vec{B}\cdot d\vec{l} = B\cdot\overline{ab} = \mu_0 nI\cdot\overline{ab}$$

例、同轴电缆的内导体圆柱半径为R_1，外导体圆筒内外半径分别为R_2、 R_3，电缆载有电流I，求磁场的分布。



解：同轴电缆的电流分布具有轴对称性在电缆各区域中磁力线是以电缆轴线为对称轴的同心圆。

$r < R_1$时, 取沿半径 r 的磁感应线为环路

$$\oint \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = \mu_0 \sum I$$

$$B\, 2\pi r = \mu_0 \frac{I}{\pi R_1^2} \pi r^2$$

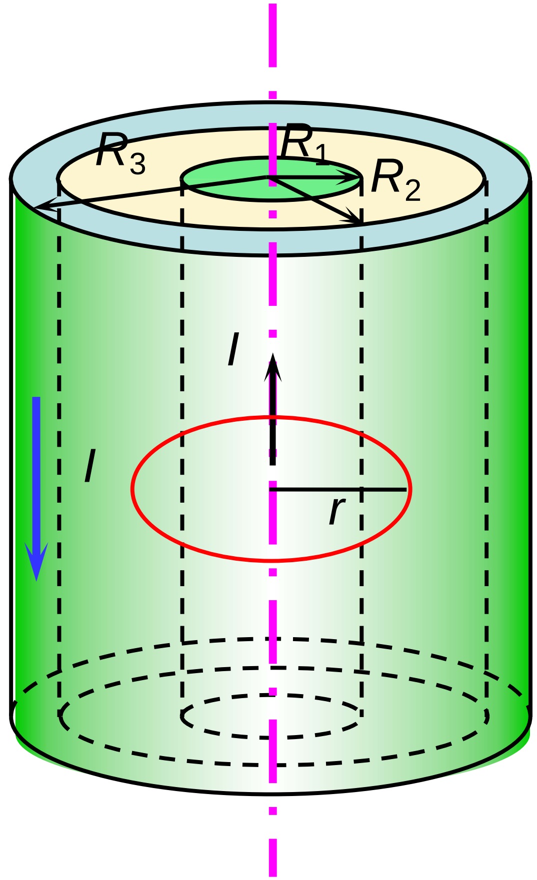
$$B = \frac{\mu_0 I r}{2\pi R_1^2}.$$

$R_1 < r < R_2$，同理

$$\oint \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = \mu_0 \sum I$$

$$B \cdot 2\pi r = \mu_0 I$$

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



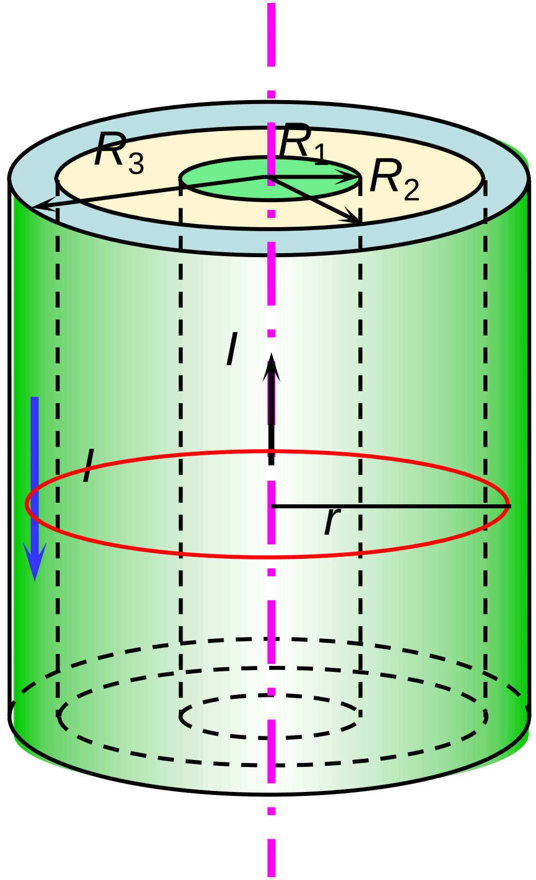
$R_2 < r < R_3$,

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum I$$

$$B \cdot 2\pi r$$

$$= \mu_0 \left[I - \frac{I\pi(r^2 - R_2^2)}{\pi(R_3^2 - R_2^2)} \right]$$

$$B = \frac{\mu_0 I (R_3^2 - r^2)}{2\pi r (R_3^2 - R_2^2)}$$

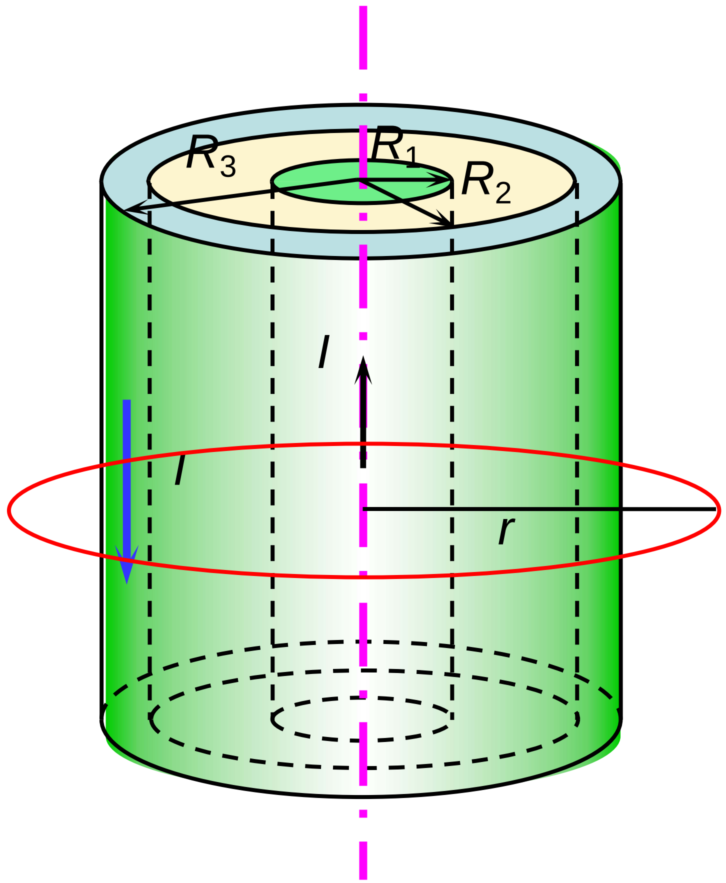


$r > R_3$,

$$\oint \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = \mu_0 \sum I$$

$$B \cdot 2\pi r = 0$$

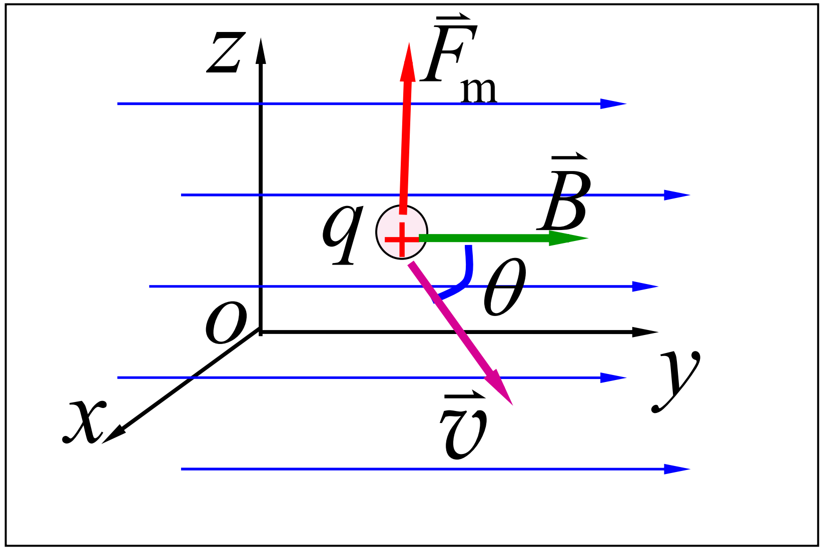
$$B = 0$$



7-5 带电粒子在电场和磁场中的运动

一 洛伦兹力---带电粒子在磁场中所受的力

$$\boxed{\vec{F}_{\mathrm{m}} = q\vec{v} \times \vec{B}}$$



$\vec{F}_{\mathrm{m}}$ 的方向与**q**的正负有关

$\vec{F}_{\mathrm{m}}$ 的大小与速度、磁感强度的夹角有关

磁场力不做功（因为力与速度垂直）

二　带电粒子在匀强磁场中的运动

1　回旋半径和回旋频率

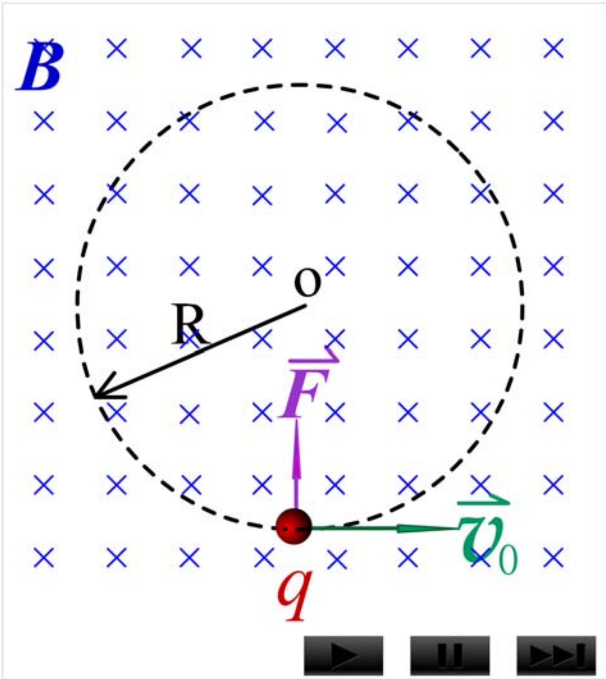
$$\boxed{\vec{v}_0 \perp \vec{B}}$$

$$qv_0B = m\frac{v_0^2}{R}$$

$$R = \frac{mv_0}{qB}$$

$$\boxed{T = \frac{2\pi R}{v_0} = \frac{2\pi m}{qB}}$$

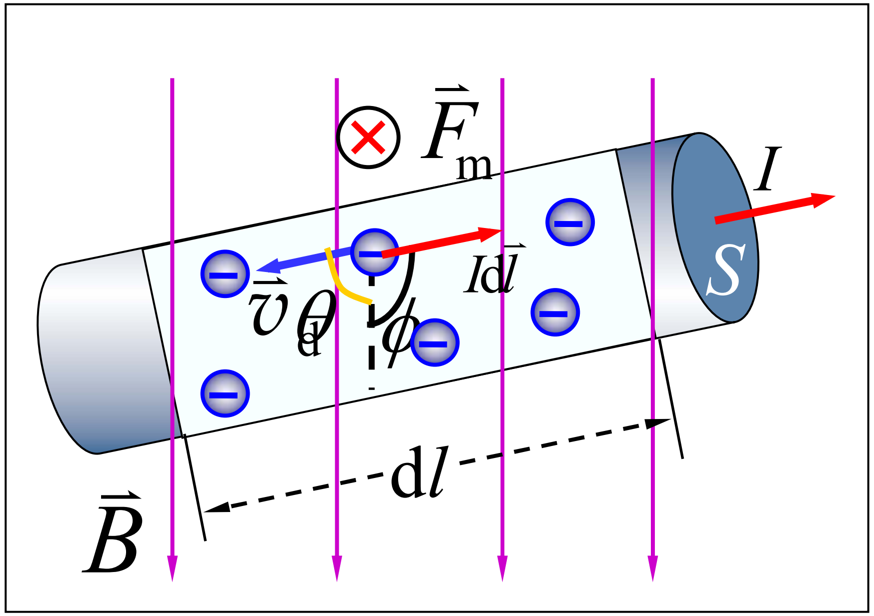
$$\boxed{f = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m}}$$



7-6 载流导线在磁场中所受的力

一　安培力

洛伦兹力



$$\vec{F}_{\mathrm{m}} = -e\vec{v}_{\mathrm{d}} \times \vec{B}$$

$$F_{\mathrm{m}} = ev_{\mathrm{d}} B \sin\theta$$

$$\mathrm{d}F = nev_{\mathrm{d}} S\mathrm{d}lB \sin\theta$$

$$I = nev_{\mathrm{d}} S$$

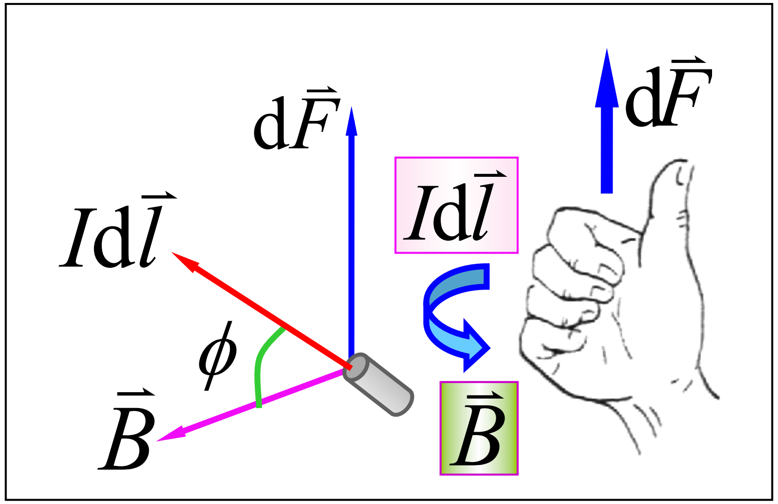
$$\mathrm{d}F = I\mathrm{d}lB \sin\theta = I\mathrm{d}lB \sin\phi$$

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

有限长载流导线所受的安培力

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

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



[例] 求匀强磁场中载流导线受力。

解： 取一段电流元 $I\mathrm{d}\vec{l}$

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

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

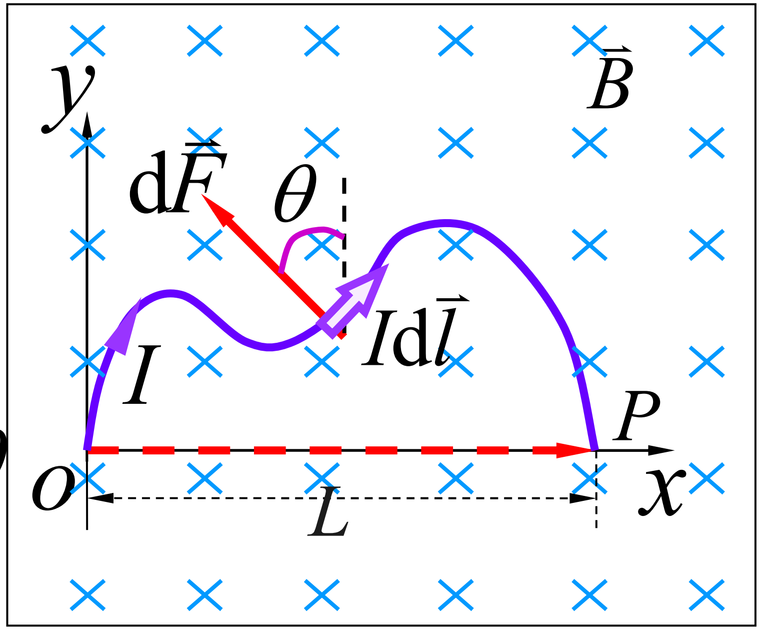
$$\mathrm{d}F_y = \mathrm{d}F\cos\theta = BI\mathrm{d}l\cos\theta$$

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

$$F_y = \int \mathrm{d}F_y = BI\int_0^l \mathrm{d}x = BIl$$

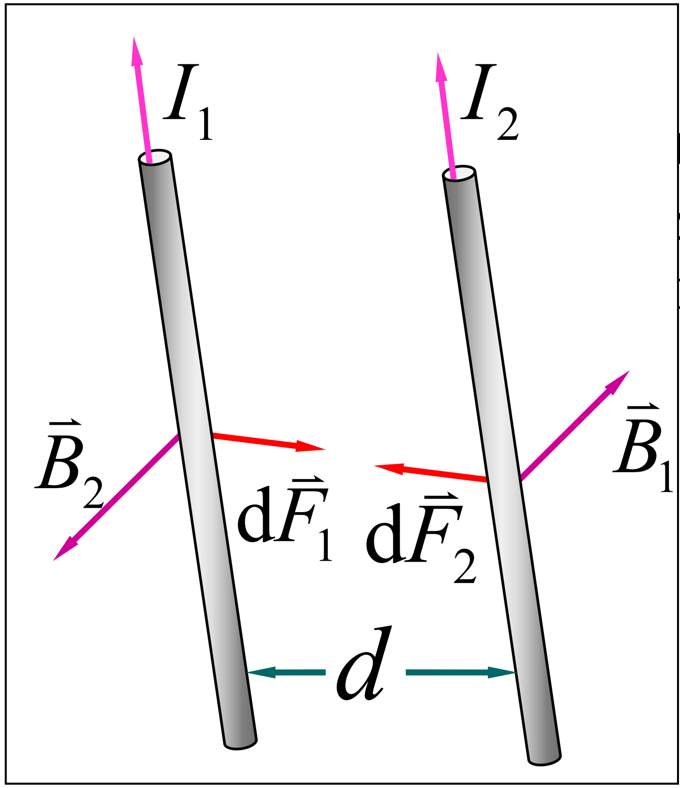
$$\vec{F} = \vec{F}_y = BIl\vec{j}$$

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



结论 任意平面载流导线在均匀磁场中所受的力，同与其始点和终点相同的载流直导线所受的磁场力相同。

国际单位制中电流单位安培的定义



$$\frac{\mathrm{d}F_1}{\mathrm{d}l_1} = \frac{\mathrm{d}F_2}{\mathrm{d}l_2} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi\, d}$$

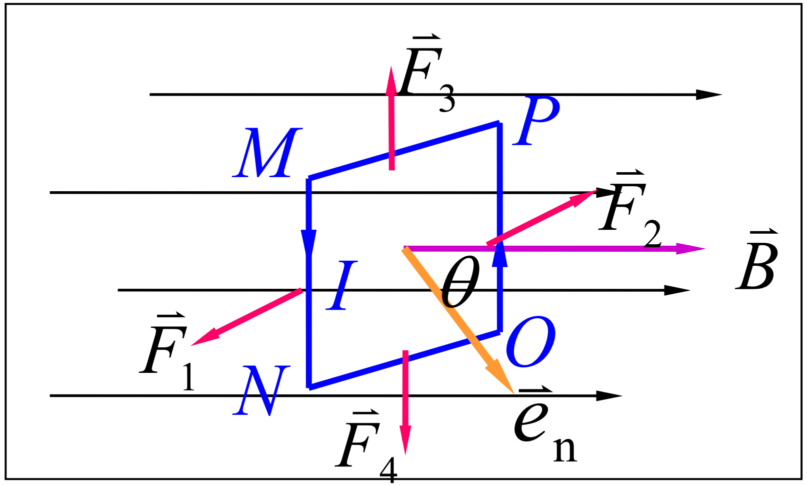
在真空中两平行长直导线相距 1 m，通有大小相等、方向相同的电流，而当两个导线每单位长度上的吸引力为 $2\times10^{-7}\,\mathrm{N\cdot m^{-1}}$ 时，规定这时的电流为 1 A（安培）。

可得 $\mu_0 = 4\pi\times10^{-7}\,\mathrm{N\cdot A^{-2}}$

$$= 4\pi\times10^{-7}\,\mathrm{H\cdot m^{-1}}$$

问 若两直导线电流方向相反二者之间的作用力如何？

二　磁场作用于载流线圈的磁力矩



如图 均匀磁场中有一矩形载流线圈

$$MN = l_2 \quad NO = l_1$$

$$F_1 = BIl_2 \quad \vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

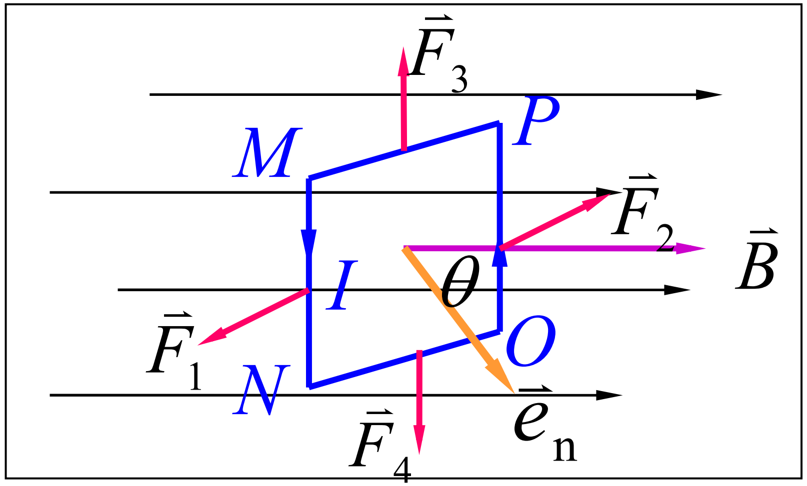
$$F_3 = BIl_1 \sin(\pi - \phi) \quad \vec{F}_3 = -\vec{F}_4 \quad \vec{F} = \sum_{i=1}^{4} \vec{F}_i = 0$$

$$MN = l_2 \quad NO = l_1$$

$$M = F_1 l_1 \sin\theta = BIl_2 l_1 \sin\theta$$

$$M = BIS\sin\theta$$

$$\vec{M} = \boxed{IS\vec{e}_n} \times \vec{B} = \boxed{\vec{m}} \times \vec{B}$$

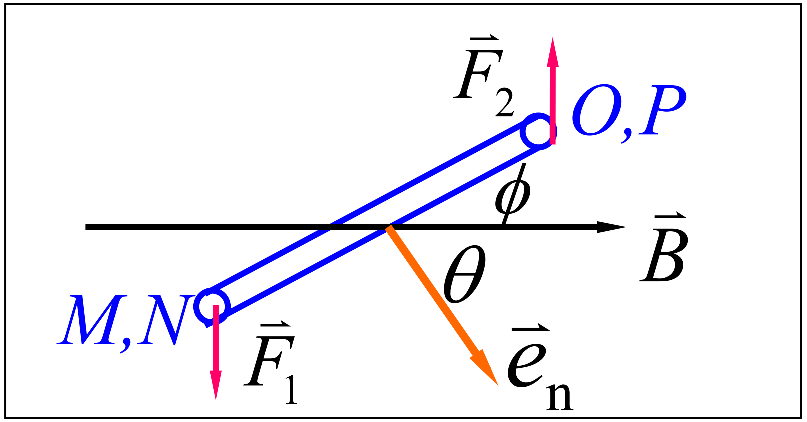


定义：磁矩 $\vec{m} = NI\vec{S}$

$\boxed{\vec{e}_n\text{与 } I \text{ 成右螺旋}}$

线圈有N匝时

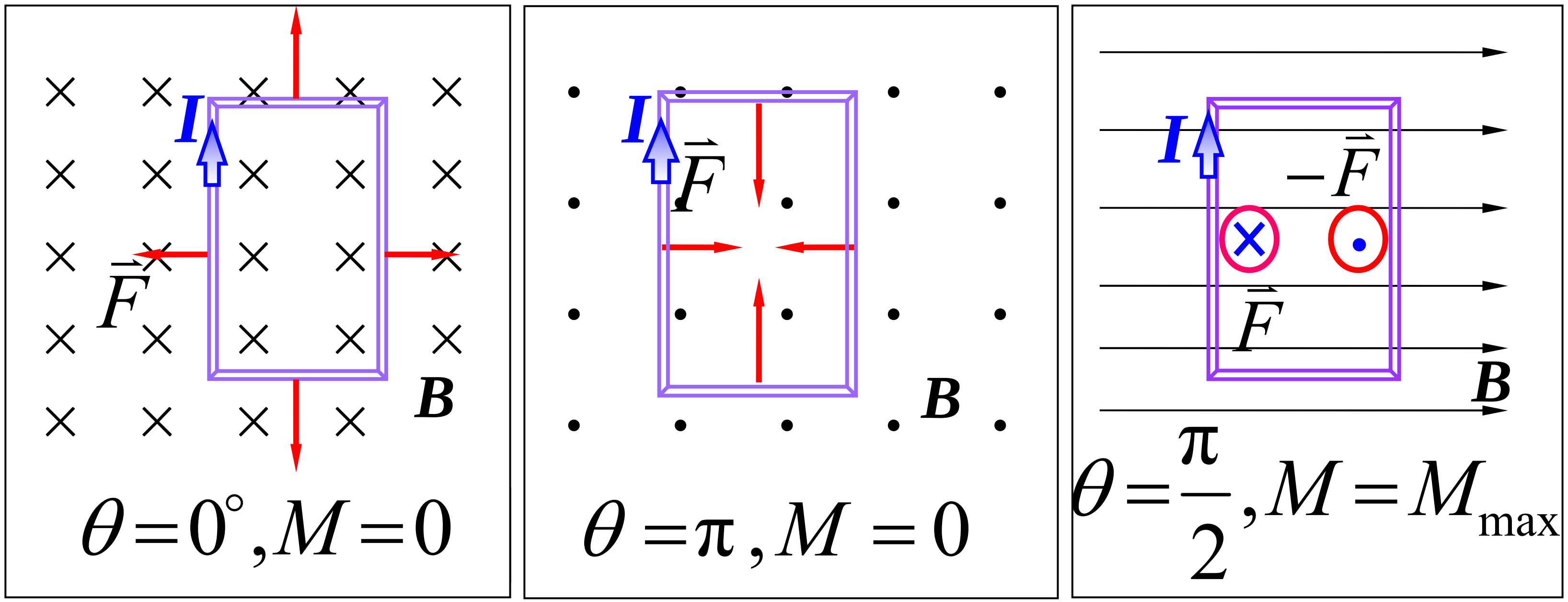
$$\vec{M} = NIS\vec{e}_n \times \vec{B}$$



讨 论

（1）$\vec{e}_n$ 与 $\vec{B}$ 同向　（2）方向相反　（3）方向垂直

稳定平衡　不稳定平衡　力矩最大



➢ 结论：均匀磁场中，任意形状刚性闭合平面通电线圈所受的力和力矩为

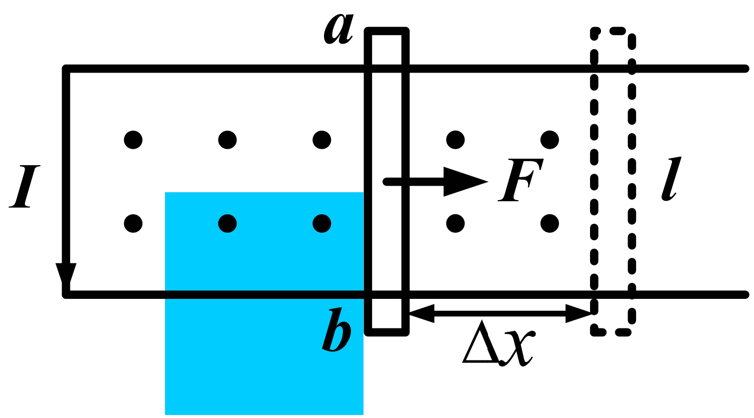
$$\boxed{\vec{F}=0, \quad \overrightarrow{M}=\vec{m}\times\vec{B}}$$

$$\vec{m}\,//\,\vec{B},\quad \vec{M}=0 \quad \begin{cases} \theta=0 & \text{稳定平衡} \\ \theta=\pi & \text{非稳定平衡} \end{cases}$$

$$\vec{m}\perp\vec{B},\quad M=M_{\max}=mB,\quad \theta=\pi/2$$

三、磁力之功

1. 运动之载流导线



安培力

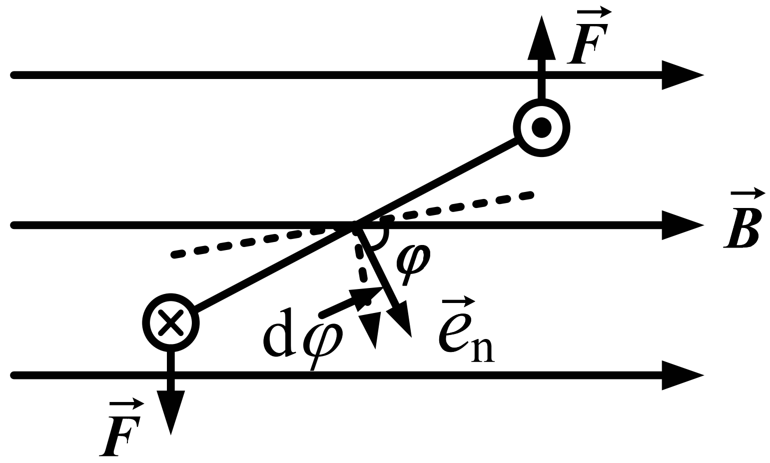
$$F = BIl$$

安培力做功 $A = F\Delta x = BIl\Delta x = BI\Delta S = I\Delta \Phi_{\mathrm{m}}$

$$= I(\Phi_{\mathrm{f}} - \Phi_{\mathrm{i}})$$

$\Delta\Phi_{\mathrm{m}}$: 扫过的磁通量或磁通之增量

2. 转动之载流线圈



载流线圈受到磁力矩

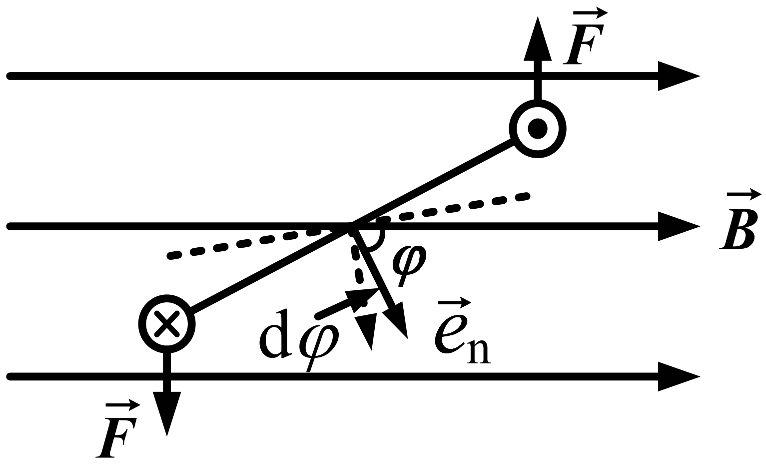
$$\vec{M} = \vec{m} \times \vec{B}$$

$$M = ISB\sin\varphi$$

转动 $\mathrm{d}\varphi$ 磁力矩做功 $\quad \mathrm{d}A = -BIS\sin\varphi\mathrm{d}\varphi$

$$\mathrm{d}A = IBS\mathrm{d}(\cos\varphi) = I\mathrm{d}(BS\cos\varphi) = I\mathrm{d}\Phi_{\mathrm{m}}$$

$$\varphi_1 \rightarrow \varphi_2$$



$$A = -\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} BIS \sin\varphi \,\mathrm{d}\varphi$$

$$= \int_{\Phi_{\mathrm{m}1}}^{\Phi_{\mathrm{m}2}} I \,\mathrm{d}\Phi_{\mathrm{m}}$$

$$= I\Delta\Phi_{\mathrm{m}} = I(\Phi_{\mathrm{m}_2} - \Phi_{\mathrm{m}_1}) = I(\Phi_{\mathrm{f}} - \Phi_{\mathrm{i}})$$

电流与外磁场呈右手螺旋关系磁通量取正，反之取负。

7-7　磁场中的 磁介质

一　磁介质　磁化强度

1 磁介质

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}'$$

磁介质中的总磁感强度

真空中的磁感强度

介质磁化后的附加磁感强度

顺磁质 $\vec{B} > \vec{B}_0$（铝、氧、锰等）

抗磁质 $\vec{B} < \vec{B}_0$（铜、铋、氢等）

以上两类为弱磁质

铁磁质 $\vec{B} >> \vec{B}_0$（铁、钴、镍等）