电场	磁场
$\vec{E}=\dfrac{\vec{F}}{q_0}$	$B=?$
$d\vec{E}=\dfrac{dq}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\vec{r}_0$	$d\vec{B}=?(B-S\text{定律})$
电场线	磁感应线
$\Phi_e=\iint \vec{E}\cdot d\vec{S}$	$\Phi_m=?$
$\oiint \vec{E}\cdot d\vec{S}=\dfrac{\sum q_i}{\varepsilon_0}$	$\oiint \vec{B}\cdot d\vec{S}=?$
$\oint \vec{E}\cdot d\vec{l}=O$	$\oint \vec{B}\cdot d\vec{l}=?$
$d\vec{F}=dq\vec{E}$	$d\vec{F}=?$
$\vec{M}_e=\vec{p}_e\times\vec{E}$	$\vec{M}_m=?$

第八章　稳恒电流的磁场

8-1 电流

一、电流与电流密度

1、电流： 电流为通过截面S 的电荷随时间的变化率

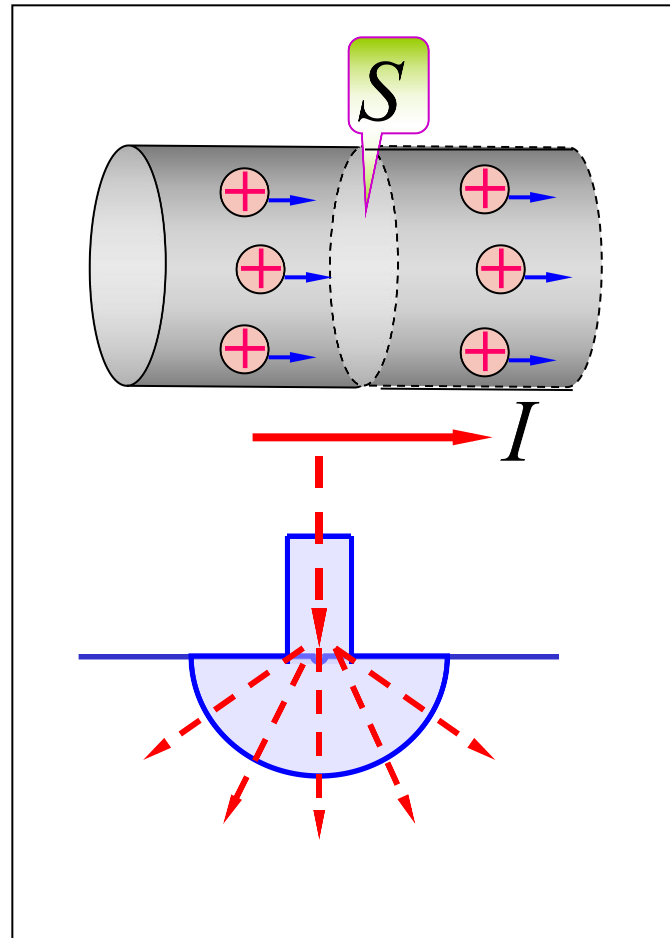
$$I=\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$$

$$\mathrm{d}q=env_{\mathrm{d}}\mathrm{d}tS$$

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

v_{d}为电子的漂移速度大小

单位：A　　$\mathrm{mA}=10^{-3}\ \mathrm{A}$



2、电流密度

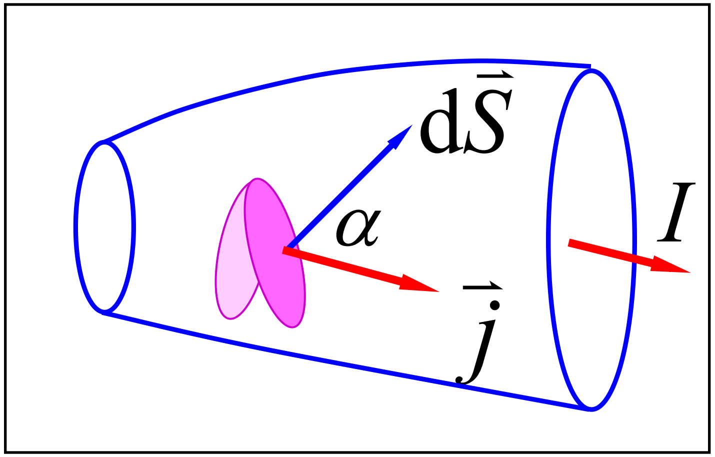
方向规定：$\vec{j}$ ⟶ 该点正电荷运动方向

大小规定：等于在单位时间内过该点附近垂直于正电荷运动方向的单位面积的电荷

$$j=\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t\mathrm{d}S\cos\alpha}=\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}S\cos\alpha}=env_{\mathrm{d}}$$

$$\mathrm{d}I=\vec{j}\cdot\mathrm{d}\vec{S}=j\mathrm{d}S\cos\alpha$$

$$\boxed{I=\int_S\vec{j}\cdot\mathrm{d}\vec{S}}$$



二、 稳恒电流

单位时间内通过闭合曲面向外流出的电荷，等于此时间内闭合曲面里电荷的减少量 .

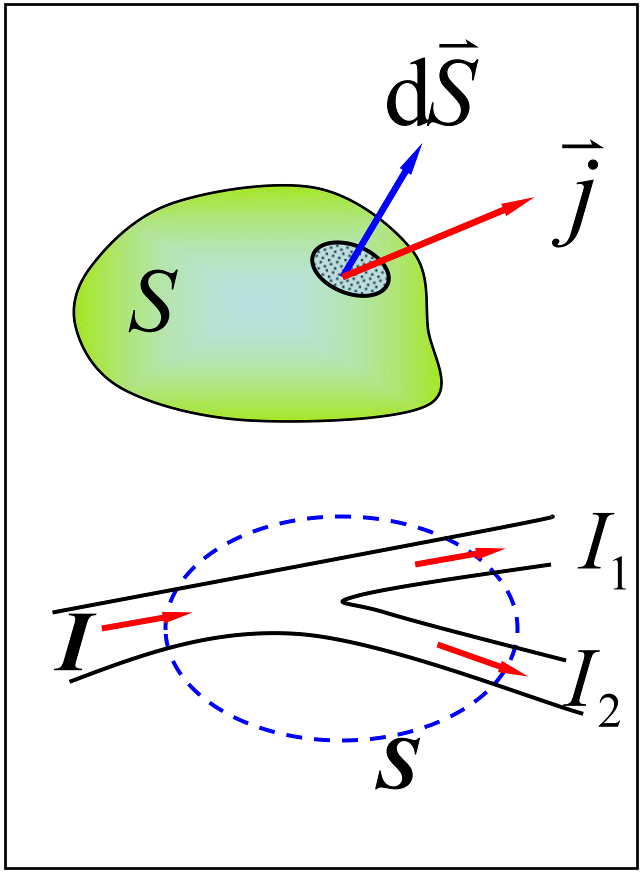
$$\oint_s \vec{j}\cdot \mathrm{d}\vec{S} = -\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t}$$

若闭合曲面 S 内的电荷不随时间而变化，有

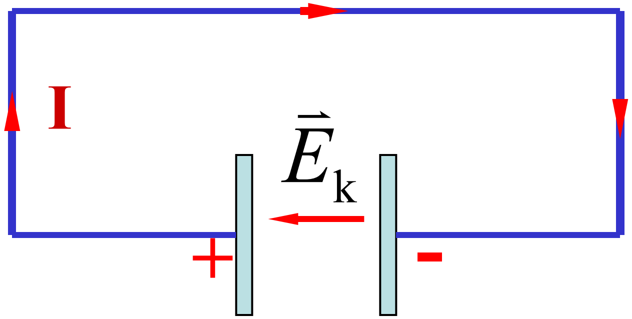
$$\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t} = 0$$

恒 定 电 流 $\oint_S \vec{j}\cdot \mathrm{d}\vec{S} = 0$

$$-I + I_1 + I_2 = 0$$



三、 电源的电动势



$$\varepsilon = \int_{-}^{+} \vec{E}_{\mathrm{k}} \cdot \mathrm{d}\vec{l}$$

$\vec{E}_{\mathrm{k}}$：非静电的电场强度.

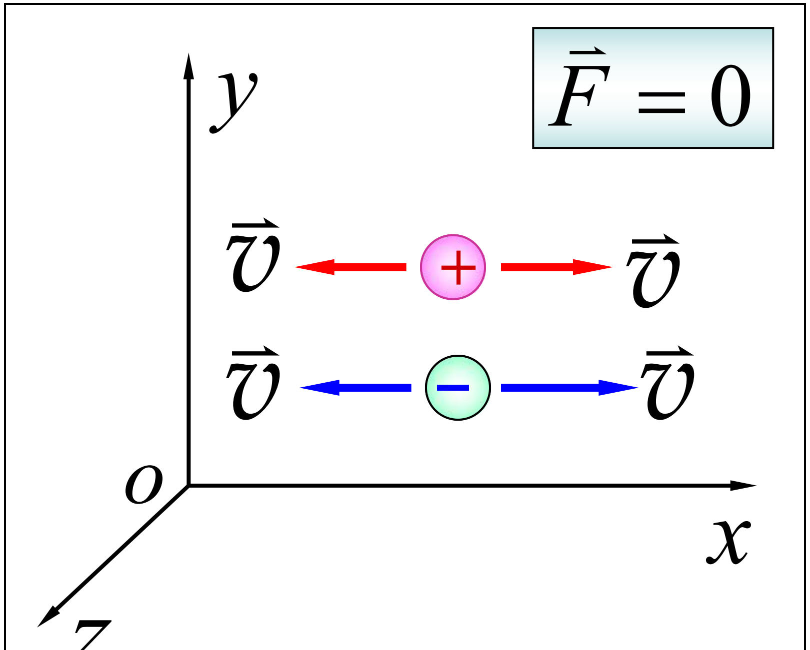
- 闭合电路的总电动势 $$\boxed{\varepsilon = \oint_{l} \vec{E}_{\mathrm{k}} \cdot \mathrm{d}\vec{l}}$$

8-2 磁感应强度

一、 磁 场

运动电荷 ⟷ 磁场 ⟷ 运动电荷

二、 磁 感 强 度 $\vec{B}$ 的 定 义



实验发现带电粒子在磁场中沿某一特定直线方向运动时不受力，此直线方向与电荷无关.

带电粒子在磁场中运动所受的力与运动方向有关.

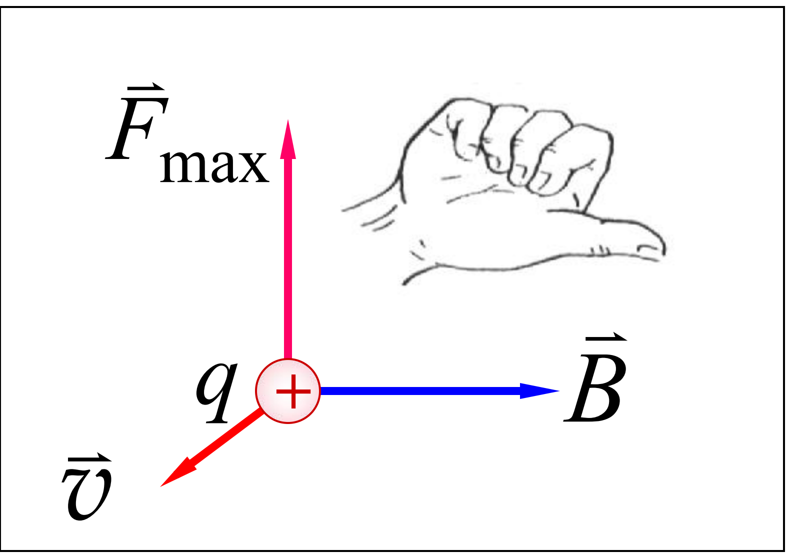
带电粒子在磁场中沿其他方向运动时 $\vec{F}$ **垂直**于 $\vec{v}$ 与特定直线所组成的平面.

当带电粒子在磁场中垂直于此特定直线运动时受力最大.

$$\vec{F}=\vec{F}_{\max}=\vec{F}_{\perp}$$

$$F_{\max} \propto qv$$

$$\boxed{\frac{F_{\max}}{qv}}$$ 大小与 q, v 无关



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 $\vec{F}_{\max} \times \vec{v}$ 方向定义为该点的 $\vec{B}$ 的方向.

磁感强度大小 $\boxed{B = \dfrac{F_{\max}}{qv}}$

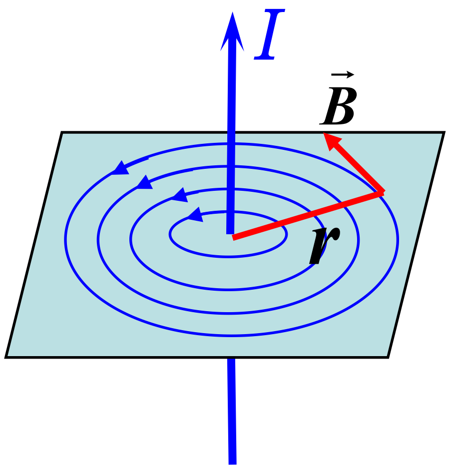
单位 **特斯拉** $\boxed{1(\mathrm{T}) = 1\mathrm{N/A \cdot m}}$

运动电荷在磁场中受力

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

两个实验事实

1、无限长直导线周围 $B \propto \dfrac{I}{r}$



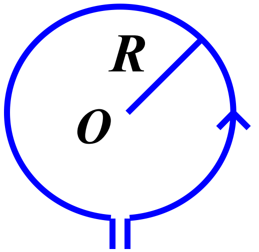
$$B = k\frac{I}{r}$$

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

μ_0 真空中的磁导率

$\mu_0 = 4\pi\times10^{-7}\,\mathrm{T\cdot m/A}$

2、 圆导线中心 $B_0 = \dfrac{\mu_0 I}{2R}$



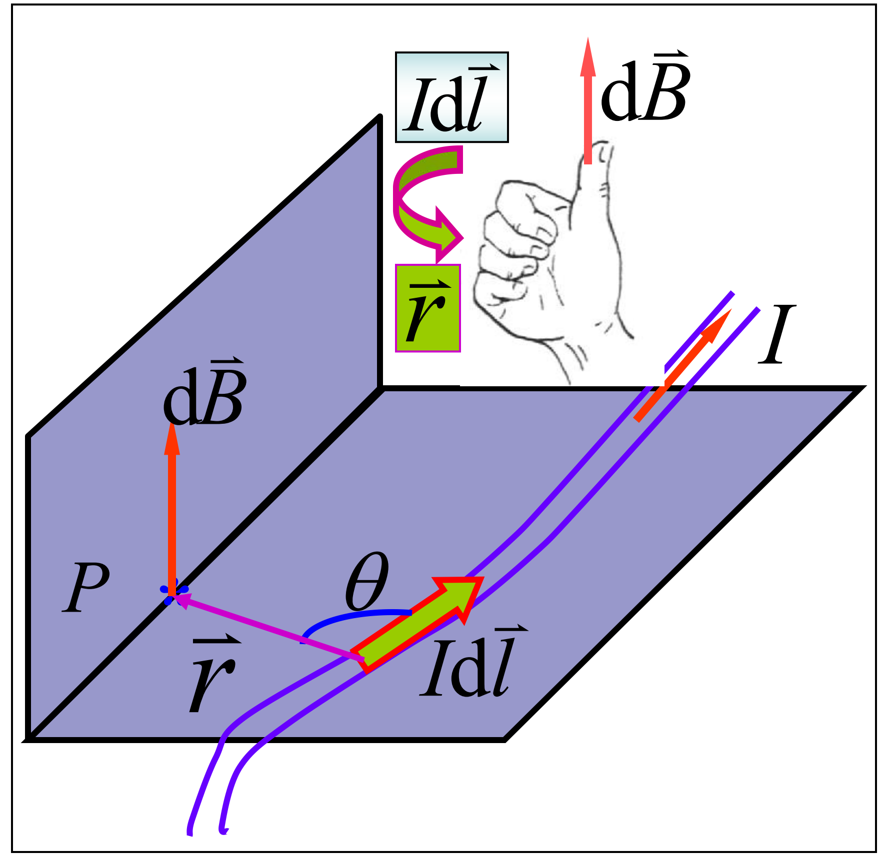
共同点 $B \propto \dfrac{I}{r}$，那么$dB \propto$ ？

8-3 毕奥—萨伐尔定律及其应用

（电流元在空间产生的磁场）

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

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



真空磁导率

$$\mu_0=4\pi\times10^{-7}\,\mathrm{T\cdot m\cdot A^{-1}}$$

- 任意载流导线在点 P 处的磁感强度

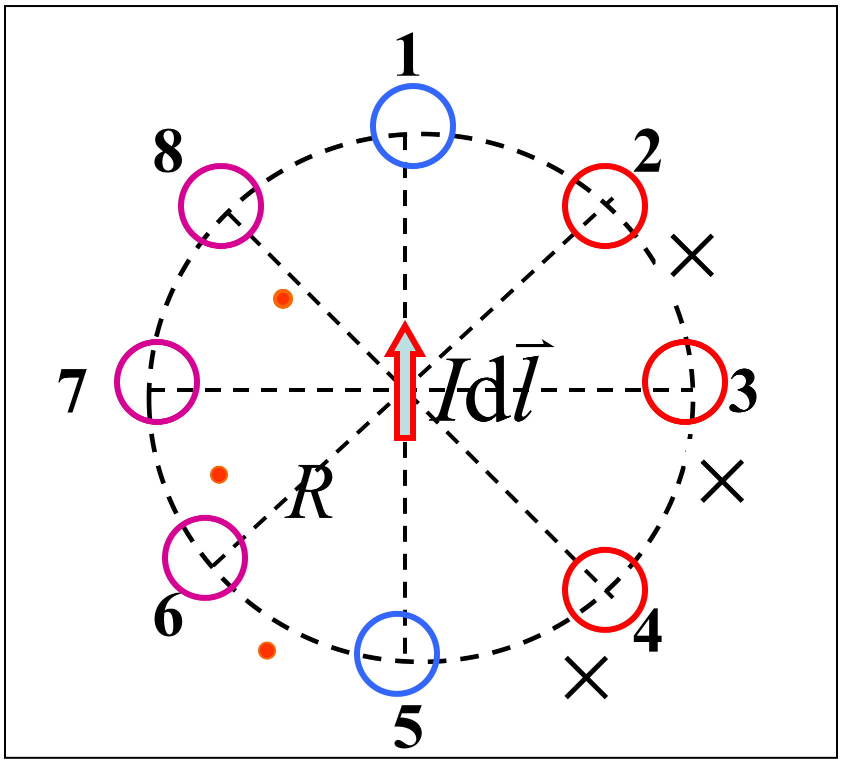
磁感强度叠加原理

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

◆ 任意载流导线在点 P 处的磁感强度

磁感强度叠加原理 $$\vec{B}=\int \mathrm{d}\vec{B}=\int \frac{\mu_0 I}{4\pi}\frac{\mathrm{d}\vec{l}\times\vec{r}}{r^3}$$

例1 判断下列各点磁感强度的方向和大小.



1、5 点：$B=0$

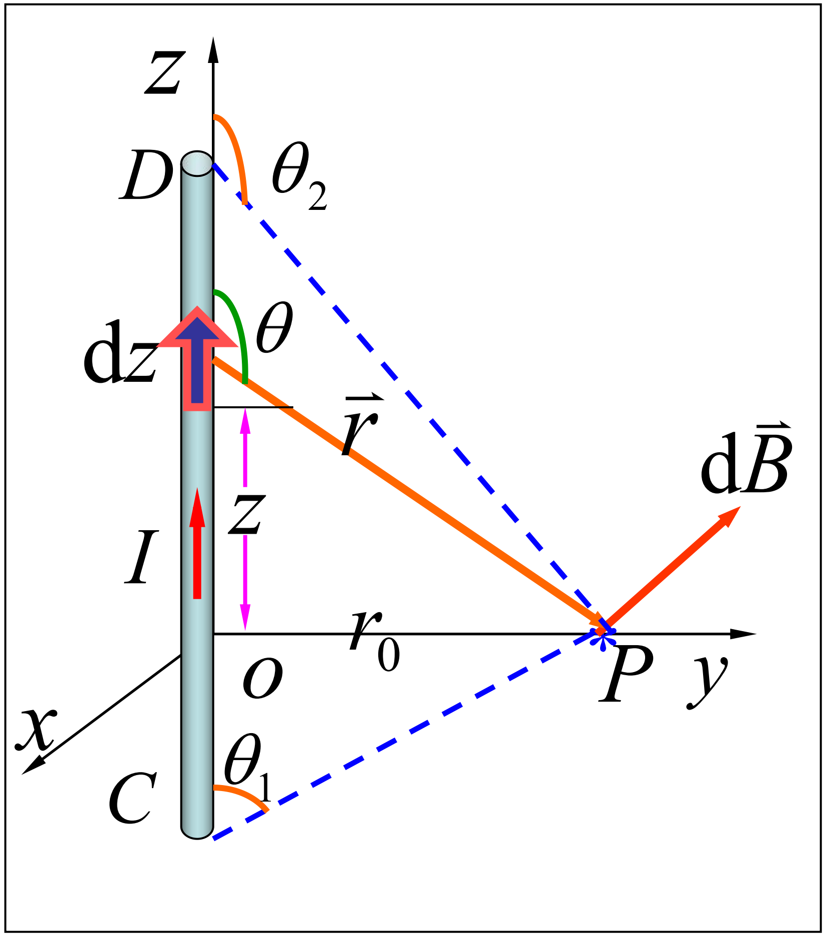
3、7点：$$B=\frac{\mu_0 I\mathrm{d}l}{4\pi R^2}$$

2、4、6、8 点：

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

例2 载流长直导线的磁场.

$\mathrm{d}\vec{B}$ 方向均沿 x 轴的负方向



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

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

$$z = -r_0\cot\theta, r = r_0/\sin\theta$$

$$\mathrm{d}z = r_0\mathrm{d}\theta/\sin^2\theta$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0}\int_{\theta_1}^{\theta_2}\sin\theta\mathrm{d}\theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0}(\cos\theta_1 - \cos\theta_2)$$

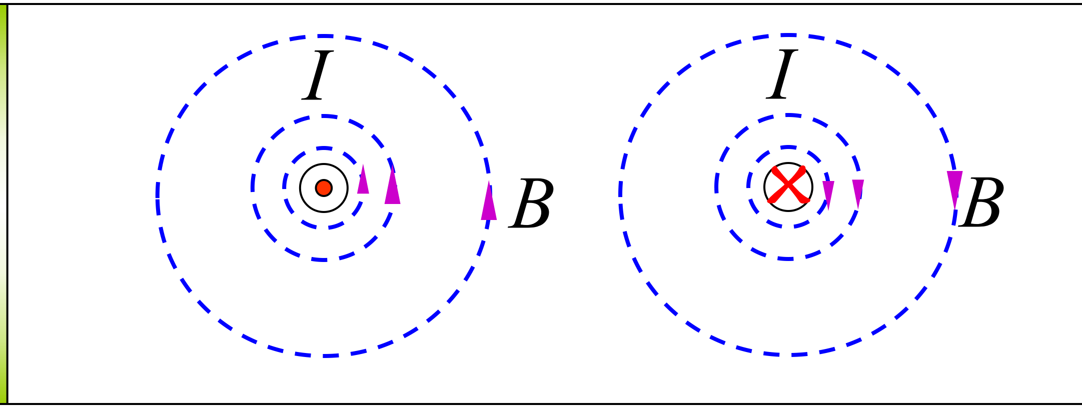
$$B=\frac{\mu_0 I}{4\pi r_0}(\cos\theta_1-\cos\theta_2)$$

无限长载流长直导线的磁场.

$$\theta_1\to 0$$

$$\theta_2\to\pi$$

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



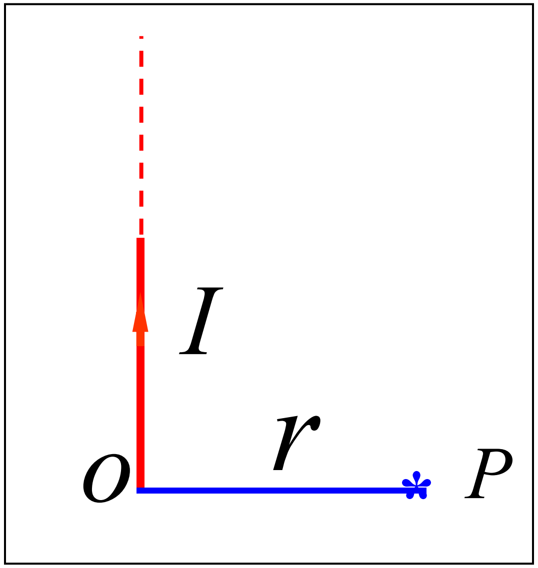
◆ 电流与磁感强度成右螺旋关系

半无限长载流长直导线的磁场

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

$$\theta_2\to\pi$$

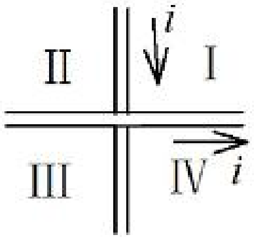
$$B_P=\frac{\mu_0 I}{4\pi r}$$



延长线上一点，$B=?$ 0

课堂练习

在一平面内，有两条垂直交叉但相互绝缘的导线，流过每条导线的电流 i 的大小相等，其方向如图所示. 问哪些区域中有某些点的磁感强度 B 可能为零?



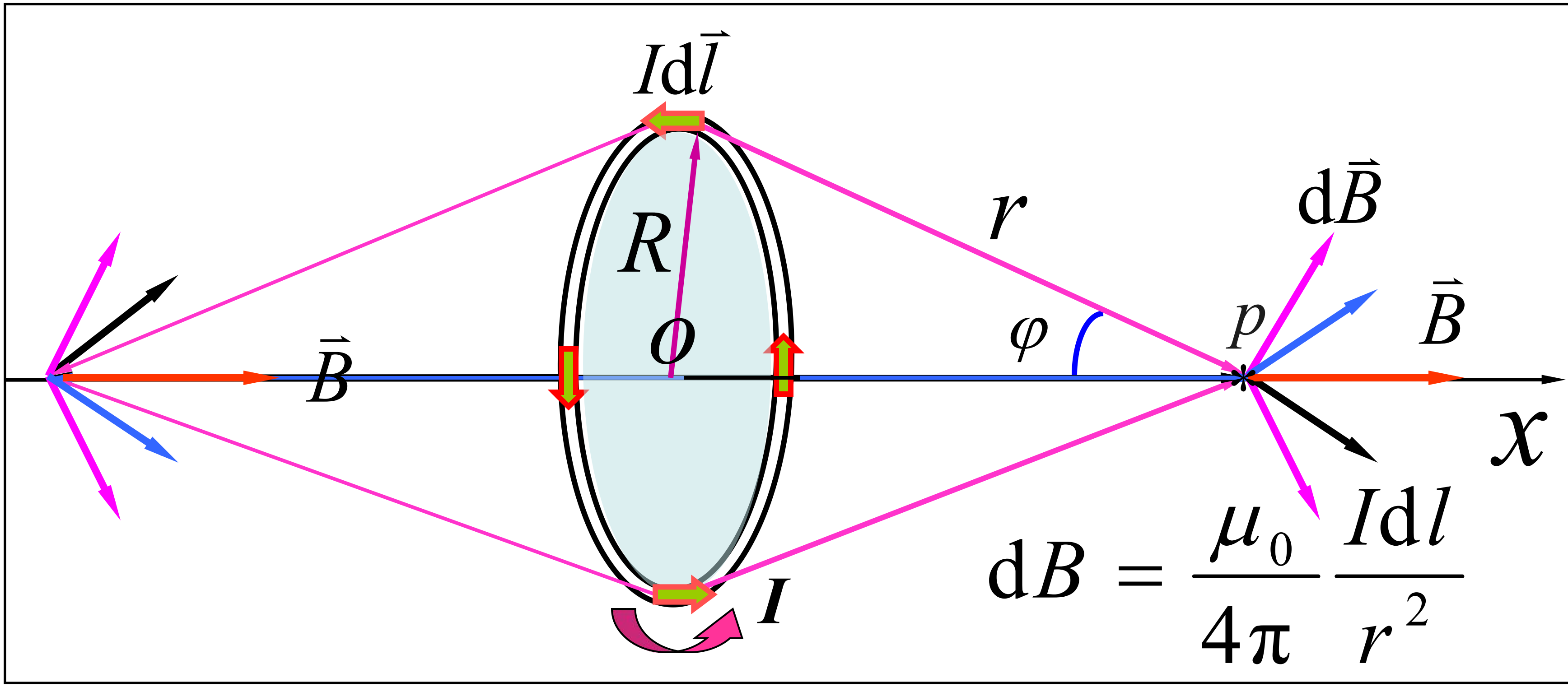
(A) 仅在象限 I .　　(B) 仅在象限 II .

(C) 仅在象限 I ，III.　　(D) 仅在象限 I ，IV .

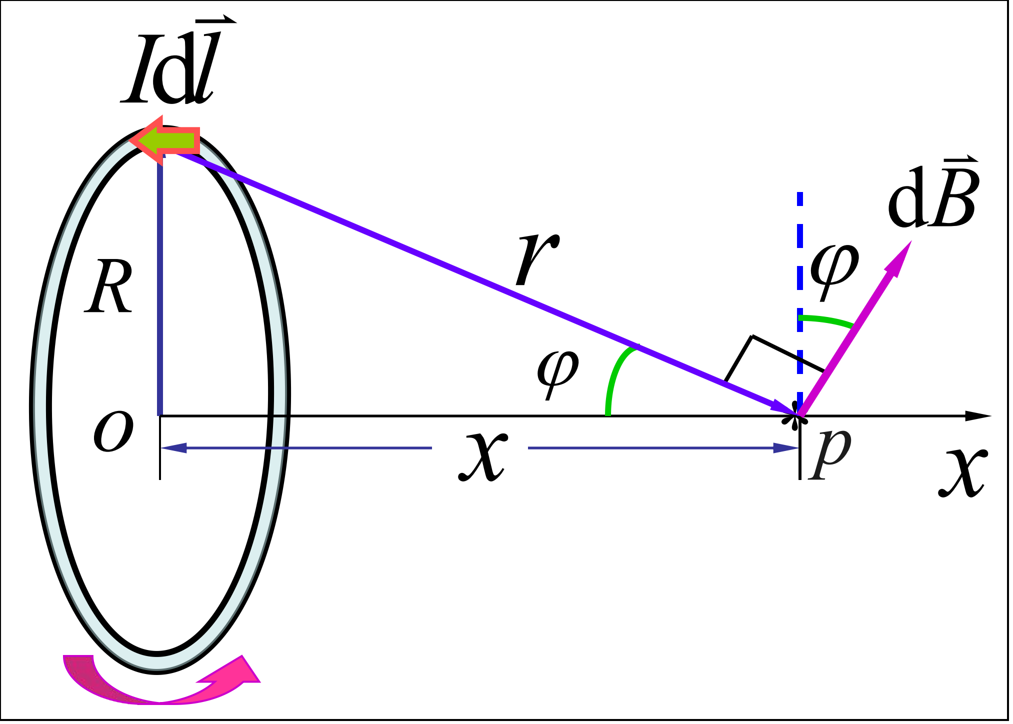
(E) 仅在象限 II ，IV .

例3 圆形载流导线的磁场.

真空中，半径为R的载流导线，通有电流I，称圆电流. **求**其轴线上一点 p 的磁感强度的方向和大小.



解: 根据对称性分析 $B = B_x$



$$\sin\varphi = R/r$$

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

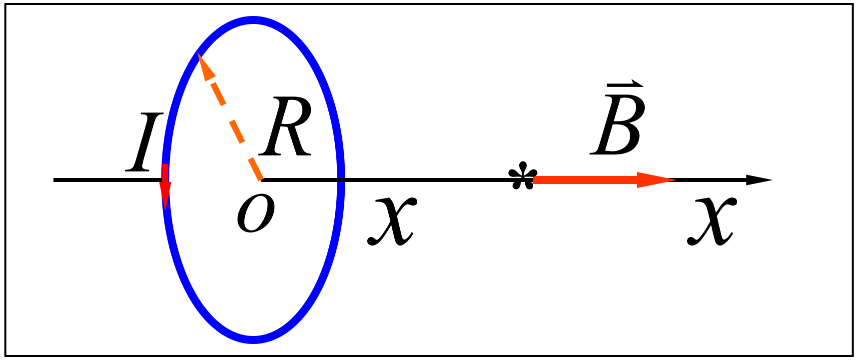
$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Idl}{r^2}$$

$$dB_x = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\sin\varphi dl}{r^2}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\int_l \frac{\sin\varphi dl}{r^2}$$

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

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



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

讨论

1）若线圈有 N 匝

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

2）$x<0$ $\vec{B}$ 的方向不变(I 和 $\vec{B}$ 成右螺旋关系）

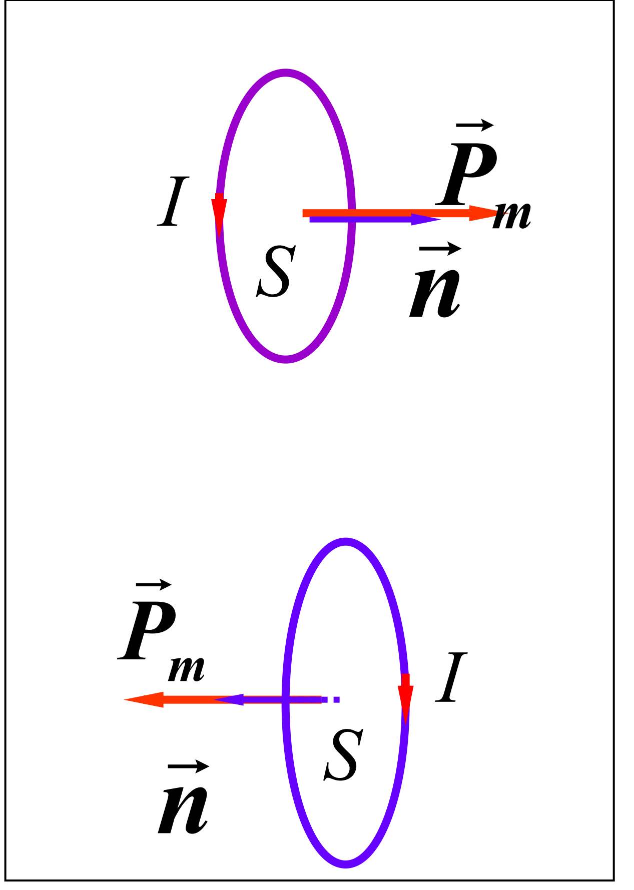
3）$x=0$

$$\boxed{B=\frac{\mu_0 I}{2R}}$$

4）$x>>R$

$$B=\frac{\mu_0 I R^2}{2x^3},\qquad B=\frac{\mu_0 I S}{2\pi x^3}$$

磁偶极矩 $\boxed{\vec{P}_m = IS\vec{n}}$



例3中圆电流磁感强度公式也可写成

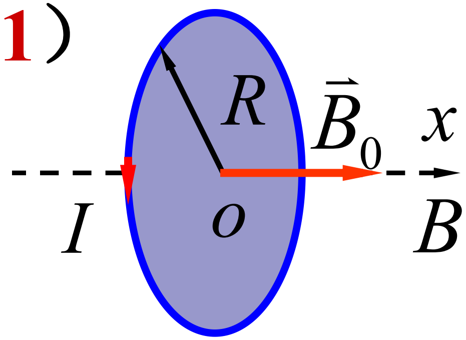
$$B=\frac{\mu_0 IR^2}{2x^3} \qquad \vec{B}=\frac{\mu_0\vec{P}_m}{2\pi x^3}$$

$$\vec{B}=\frac{\mu_0 P_m}{2\pi x^3}\vec{n}$$

说明：只有当圆形电流的面积*S*很小，或场点距圆电流很远时，才能把圆电流叫做磁偶极子.

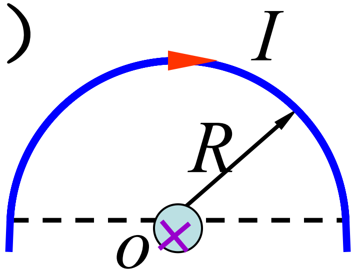
例4：

（1）



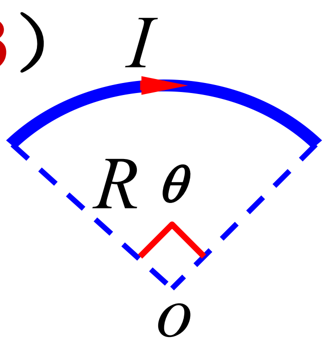
$$B_0=\frac{\mu_0 I}{2R}$$

（2）



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

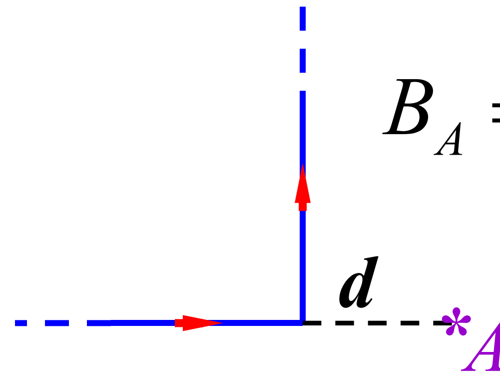
（3）



$$B_0=\frac{\mu_0 I}{8R}$$

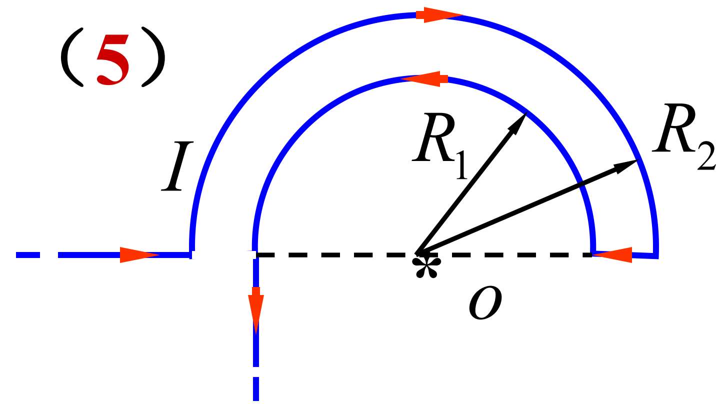
$$B_0=\frac{\theta}{2\pi}\frac{\mu_0 I}{2R}$$

（4）



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

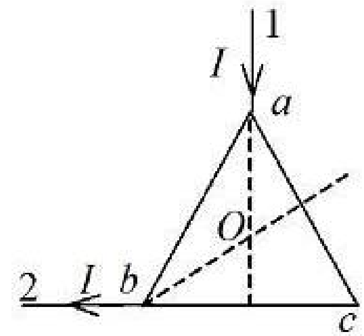
（5）



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

方向：垂直版面向外

12. 电流 I 由长直导线 1 沿垂直 bc 边方向经 a 点流入由电阻均匀的导线构成的正三角形线框，再由 b 点流出，经长直导线 2 沿 cb 延长线方向返回电源(如图). 若载流直导线 1、2 和三角形框中的电流在框中心 O 点产生的磁感强度分别用 $\vec{B}_1$、$\vec{B}_2$ 和 $\vec{B}_3$ 表示，则 O 点的磁感强度大小



(A) $B=0$，因为 $B_1=B_2=B_3=0$.

(B) $B=0$，因为虽然 $B_1\neq 0$、$B_2\neq 0$，但 $\vec{B}_1+\vec{B}_2=0$，$B_3=0$.

(C) $B\neq 0$，因为虽然 $B_3=0$、$B_1=0$，但 $B_2\neq 0$.

(D) $B\neq 0$，因为虽然 $\vec{B}_1+\vec{B}_2\neq 0$，但 $\vec{B}_3\neq 0$.