- 介质中的磁场
  - 场的基本方程
    - 高斯定理 → 磁场强度
    - 安培环路定律 → 介质中的安培环路定律
  - 磁介质的分类
    - 抗磁质、顺磁质 → 磁化强度 → 与磁化电流关系
    - 铁磁质 → 磁化特性
      - 磁化曲线
      - 磁滞回线

场的基本方程

$$\because \oiint_S \vec{B}\cdot d\vec{S} = 0 \longrightarrow \mathbf{H} = \frac{\mathbf{B}}{\mu_0} - \mathbf{M};\ \mathbf{B} = \mu\mathbf{H}$$

$$\oint_L \mathbf{B}\cdot d\mathbf{l} = \mu_0\left(\sum I + \sum I_s\right) \longrightarrow \oint_L \mathbf{H}\cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \sum I$$

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

磁介质的分类

$$\mathbf{B} < \mathbf{B}_0;\ \mathbf{B}_0 >> \mathbf{B}'$$

$$\mathbf{B} > \mathbf{B}_0;\ \mathbf{B}_0 >> \mathbf{B}'$$

$$\vec{M} = \frac{\sum \vec{p}_m}{\Delta V} \longrightarrow \oint_L \mathbf{M}\cdot d\mathbf{l} = I_s$$

$$\mathbf{B} >> \mathbf{B}_0;\ \mathbf{B}_0 << \mathbf{B}'$$ → 磁化特性

磁化曲线

磁滞回线

第十一章　磁场中的磁介质

- §1.1 磁介质的磁化
- §1.2 有介质时的高斯定理和安培环路定理

静电场中的电介质

电介质极化：束缚电荷

力矩 $= \vec{p}_e \times \vec{E}$

电极化强度 $\mathbf{P} = \dfrac{\sum \mathbf{P}_i}{\Delta V}$

$$\mathbf{P}\cdot\mathbf{n} = \sigma' \qquad \oint_s \mathbf{P}\cdot d\mathbf{S} = q'$$

$$\mathbf{P} = \varepsilon_0 \chi_e \mathbf{E} \qquad \mathbf{E} = \mathbf{E}_0 + \mathbf{E}'$$

$$\mathbf{D} = \mathbf{P} + \varepsilon_0 \mathbf{E} = \varepsilon_r \varepsilon_0 \mathbf{E}$$

$$\oint_s \mathbf{E}\cdot d\mathbf{S} = \frac{1}{\varepsilon_0}(q_0 + q')$$

高斯定理：电介质

$$\oint_s \mathbf{D}\cdot d\mathbf{S} = q_0$$

稳恒磁场中的磁介质

磁介质磁化：束缚面电流

力矩 $= \vec{M} \times \vec{B}$

磁极化强度 $\vec{M} = \dfrac{\sum \vec{p}_m}{\Delta V}$

$$\vec{M} \times \vec{n} = \vec{j}_M \qquad \oint_L \vec{M}\cdot d\vec{l} = I_M$$

$$\vec{\mathrm{M}} = \chi_{\mathrm{m}} \vec{\mathrm{H}} \qquad \vec{\mathrm{B}} = \vec{\mathrm{B}}_0 + \vec{\mathrm{B}}'$$

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{M} + \mu_0 \vec{H} = \mu_r \mu_0 \vec{H}$$

$$\left(\oint_L \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum_L I + \mu_0 \oint_L \vec{M}\cdot d\vec{l}\right)$$

安培环路定理：磁介质

$$\oint_{\mathrm{L}} \vec{\mathrm{H}}\cdot \mathrm{d}\vec{l} = \sum_{\mathrm{L}} \mathrm{I}$$

§ 11. 1　介质的磁化

一 、磁介质

磁介质—凡处在磁场中与磁场发生相互作用的物质。

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

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）

弱磁质

铁磁质　$\vec{B} >> \vec{B}_0$　（铁、钴、镍等）

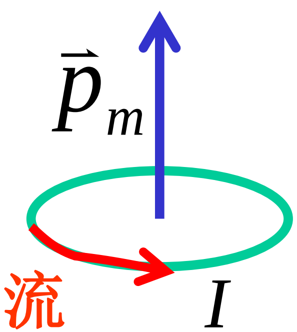
二、磁介质的磁化的微观机制

1.分子磁矩与分子电流

电子
- 自旋运动——自旋磁矩
- 轨道运动——轨道磁矩

等效圆形电流

$\vec{P}_{电子}$



分子: $\sum \vec{P}_{电子} = \vec{P}_m$ ——分子磁矩

电介质分子:

有固有电偶极矩—有极分子

无固有电偶极矩—无极分子

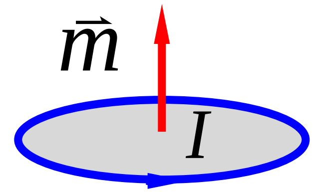
磁介质分子:

有固有磁矩—顺磁质

无固有磁矩—抗磁质

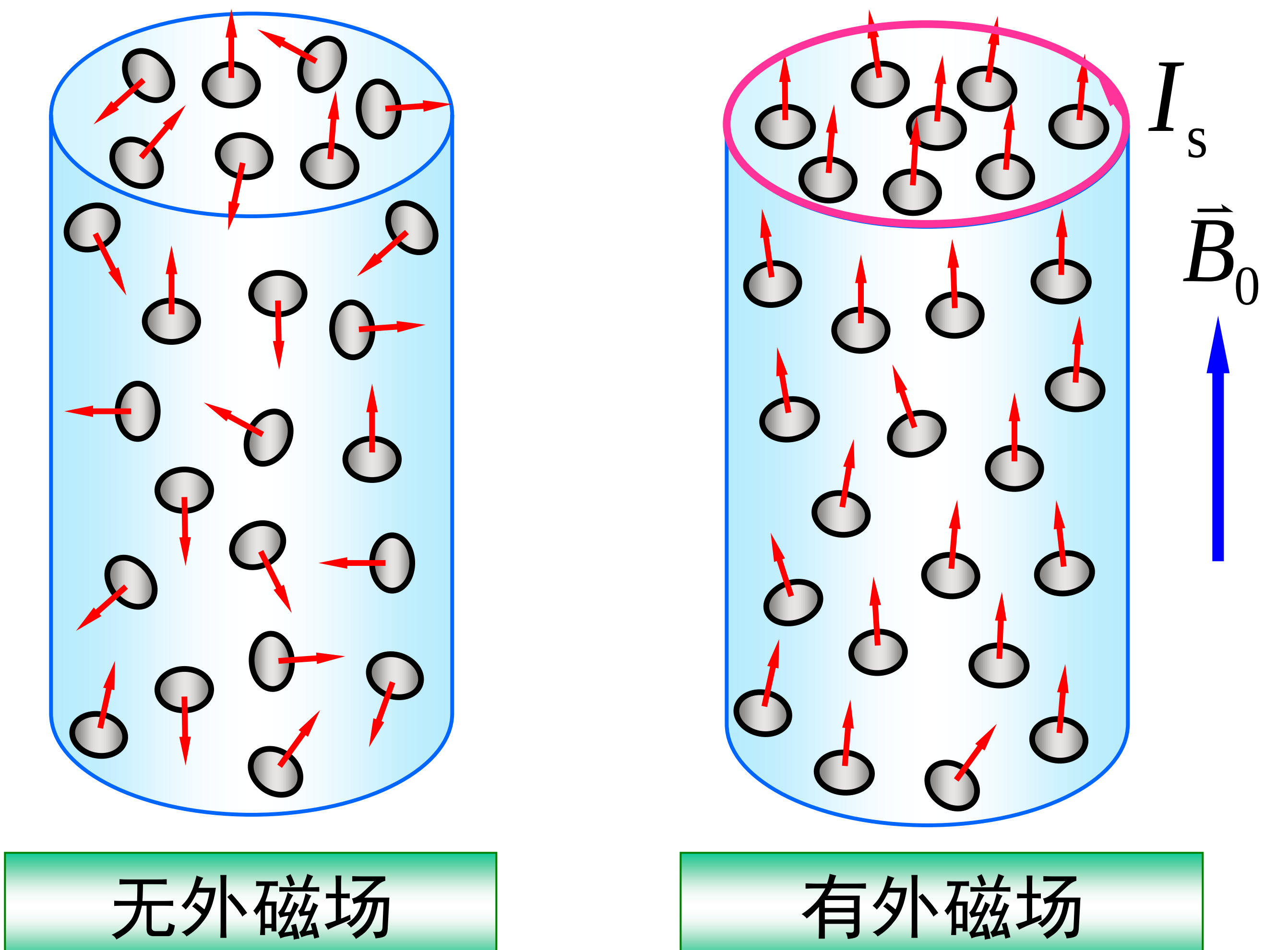
2. 顺磁质的磁化

分子圆电流和磁矩



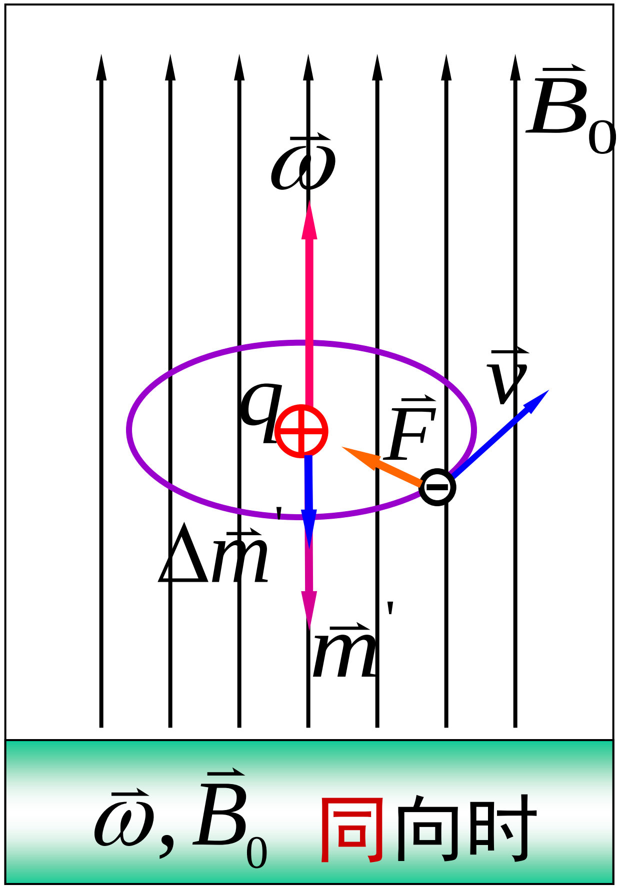
$$B = B_0 + B'$$

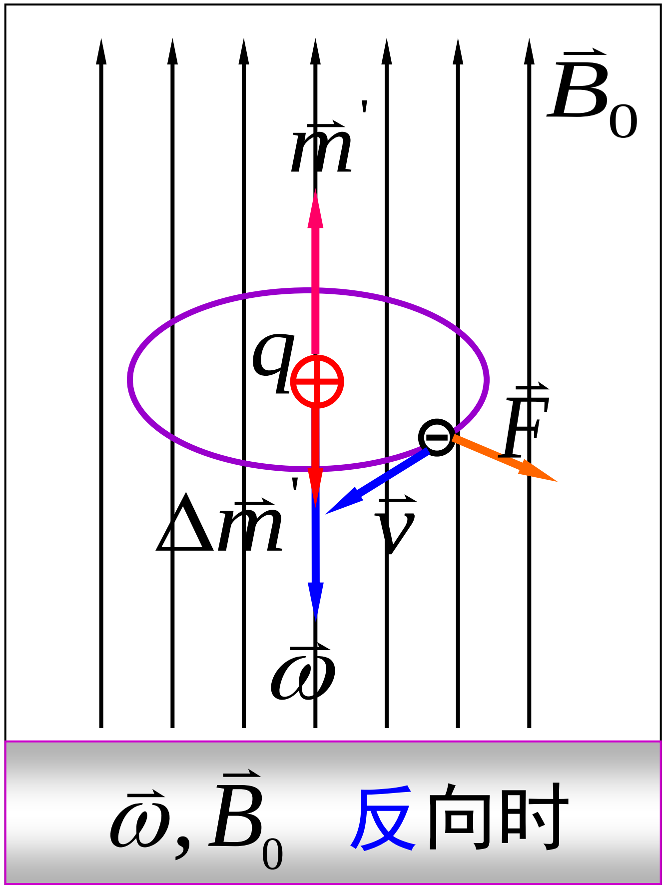
顺磁质的磁化



无外磁场时抗磁质分子磁矩为零 $\vec{m}=0$

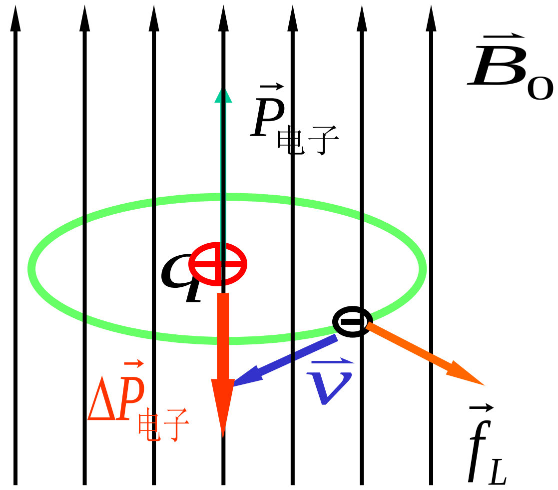
抗磁质的磁化





抗磁质内磁场 $B=B_0-B'$

3. 抗磁质的磁化

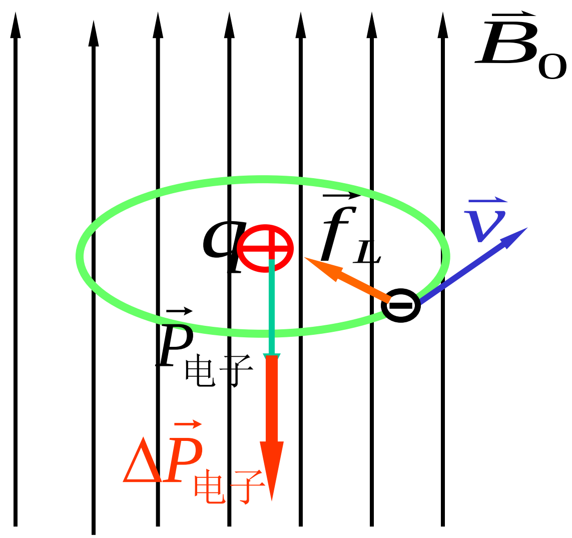


1) $\vec{B}_0$与$\vec{P}_{电子}$同方向

f_L作用$\rightarrow v\downarrow$(向心力变小)

$$P_{电子}\downarrow = IS = e\frac{v}{2\pi r}\cdot\pi r^2 = \frac{erv}{2}\downarrow$$

即产生与$\vec{B}_0$反向的$\Delta\vec{P}_{电子}$



2) $\vec{B}_0$与$\vec{P}_{电子}$反方向

f_L作用$\rightarrow v\uparrow$(向心力变大)

$$P_{电子}\uparrow = IS = e\frac{v}{2\pi r}\cdot\pi r^2 = \frac{erv}{2}\uparrow$$

即产生与$\vec{B}_0$反向的$\Delta\vec{P}_{电子}$

由于附加磁矩 $\Delta\vec{p}_m$ 与原磁场方向相反所以 $B < B_0$

三、磁化强度　磁化电流

1、磁化强度矢量 ——描述磁介质磁化的宏观量

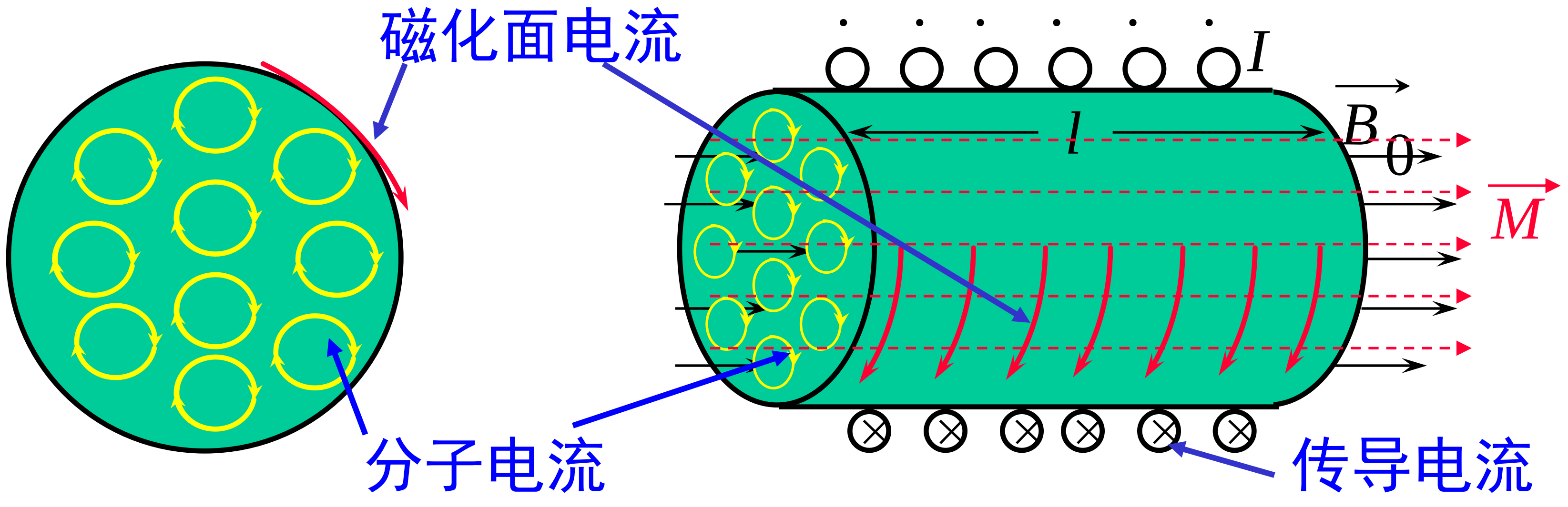
$$\boxed{\vec{M}=\frac{\sum \vec{p}_m}{\Delta V}}$$

磁化的宏观效果：在介质表面或内部出现宏观电流，产生附加磁场。

2、磁化面电流 I_M

——在均匀外磁场中，各向同性均匀的磁介质被磁化，沿着柱面流动未被抵消的分子电流。

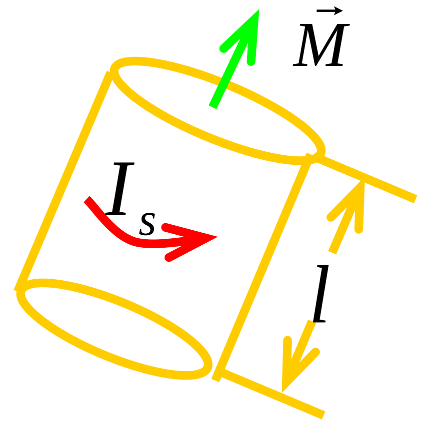
（也称为束缚面电流）



磁化面电流密度 j_M ——在垂直于电流流动方向上单位长度的分子面电流。

若在 l 长介质表面束缚分子面电流为 I_S，则其线密度为

$$\boxed{j_M = I_M / l}$$



设均匀介质的截面积 S，则有：

$$|\vec{M}| = \frac{I_M S}{\Delta V} = \frac{j_M\, l\, S}{\Delta V} = j_M$$

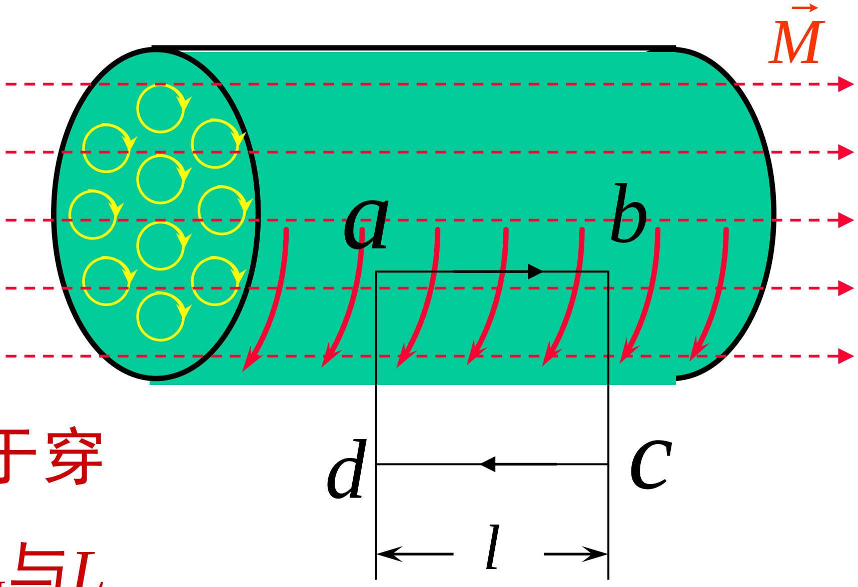
磁化面电流密度 $\boxed{j_M = M}$ $\boxed{\vec{j}_M = \vec{M} \times \vec{n}}$

极化电荷面密度 $\sigma' = P_e$ $\sigma' = \vec{P} \cdot \vec{n} = |P_e| \cos\theta$

3、磁化强度的环流

以充满介质的螺旋管为例，选如图回路，求环流

$$\boxed{\oint_L \vec{M}\cdot d\vec{l} = M\,\overline{ab} = j_M\,\overline{ab} = I_M}$$



磁化强度沿任一回路的环流，等于穿过此回路的束缚电流的代数和。I_M与L环绕方向成右旋者为正，反之为负。

与电介质中对比的公式

$$\boxed{\oint\!\!\oint_S \vec{P}\cdot d\vec{S} = -\sum_S q'}$$

§1.2 有介质时的高斯定理和安培环路定理

一、有磁介质时的高斯定理

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

$\because \vec{B}_0$线和$\vec{B}'$线都是闭合线

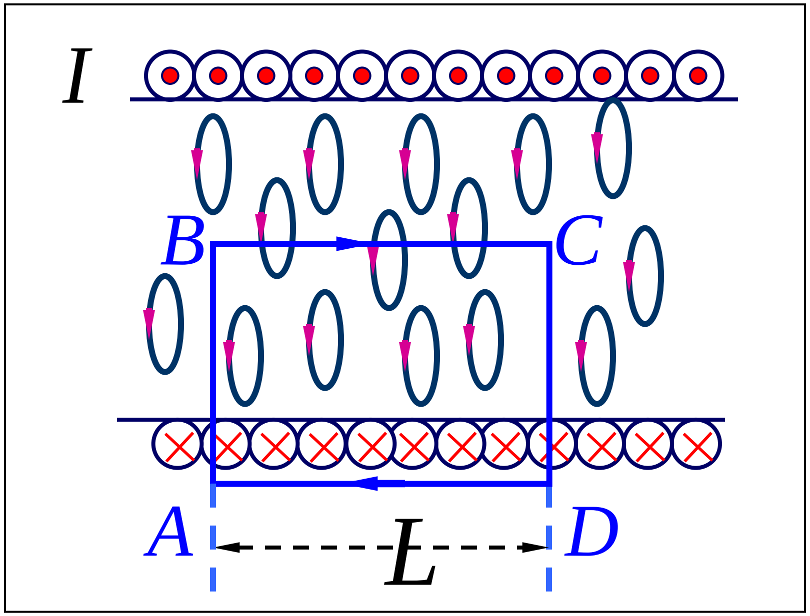
$$\boxed{\therefore \oiint_s \vec{B}\cdot d\vec{S}=0}$$

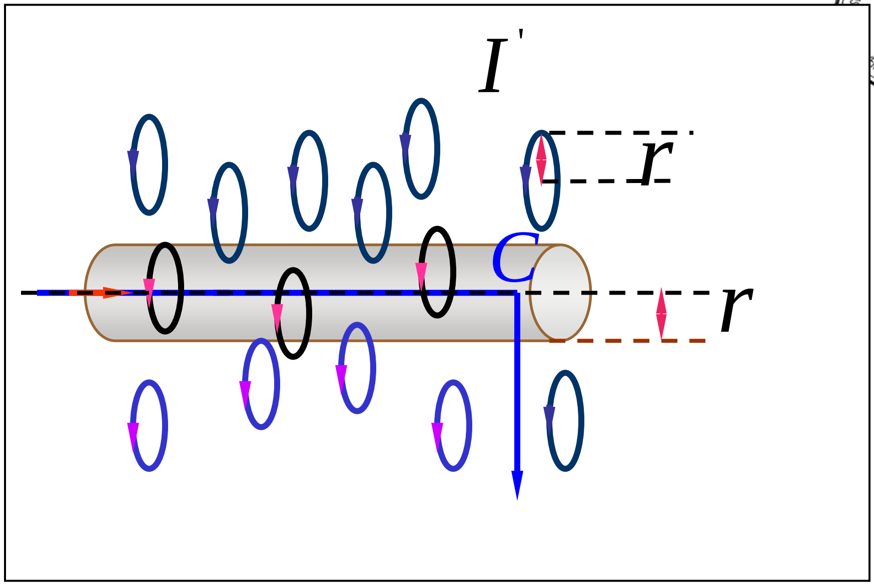
二、有磁介质时的安培环路定理

真空中：$I \rightarrow \vec{B}_0 \quad \oint_L \vec{B}_0\cdot d\vec{l}=\mu_0\sum_L I$

磁介质中：$\left.\begin{matrix} I \\ I_M \end{matrix}\right\} \rightarrow \vec{B} \quad \oint_L \vec{B}\cdot d\vec{l}=\mu_0\sum_L (I+I_M)$

$$\because \oint_L \vec{M}\cdot d\vec{l}=\sum_L I_M \qquad \therefore \oint_L \vec{B}\cdot d\vec{l}=\mu_0\sum_L I+\mu_0\oint_L \vec{M}\cdot d\vec{l}$$





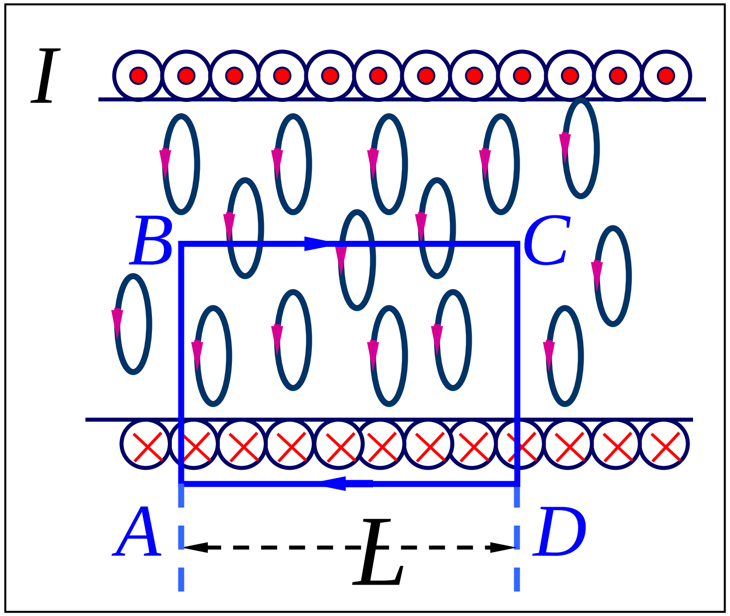
分子磁矩 $m = I'\pi r^2$ n（单位体积分子磁矩数）

$$I_s = n\pi r^2 L I' = nmL \qquad M = \frac{\sum m}{\Delta V} = nm \qquad I_s = ML$$

$$\oint_l \vec{B}\cdot d\vec{l} = \int_{BC} \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0 I_i = \mu_0 (NI + I_s)$$

传导电流

分子电流



$$\oint_l \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{l} = \mu_0(NI + I_s)$$

$$I_s = ML = \int_{BC} \vec{M}\cdot \mathrm{d}\vec{l}$$

$$I_s = \oint_l \vec{M}\cdot \mathrm{d}\vec{l}$$

$$\oint_l \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{l} = \mu_0(NI + \oint_l \vec{M}\cdot \mathrm{d}\vec{l})$$

$$\oint_l \left(\frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}\right)\cdot \mathrm{d}\vec{l} = NI = \sum I$$

磁场强度 $\boxed{\vec{H} = \dfrac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}}$

磁介质中的安培环路定理 $\oint_l \vec{H}\cdot \mathrm{d}\vec{l} = \sum I$

$$\oint_L \left(\frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}\right) \cdot d\vec{l} = \sum_L I$$

$$\left(\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum_L I + \mu_0 \oint_L \vec{M} \cdot d\vec{l}\right)$$

定义磁场强度 $\vec{H} = \dfrac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$ 则有：

$$\boxed{\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_L I}$$

——磁介质中的安培环路定理

物理意义——沿任一闭合路径磁场强度的环流等于该闭合路径所包围的传导电流的代数和。

三、磁场强度

- 定义： $\boxed{\vec{H} = \dfrac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}}$

单位：安培/米(A/m)

- 电磁学中的辅助量

●实验证明：$\vec{M} = \chi_m \vec{H}$ χ_m——磁化率

顺磁质：$\chi_m > 0$

抗磁质：$\chi_m < 0$

由：$\vec{H} = \dfrac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M} \Rightarrow \vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{M} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \chi_m \vec{H}$

$$= \mu_0 (1 + \chi_m) \vec{H}$$

令：$\mu_r = 1 + \chi_m$

$$\boxed{\vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H} = \mu \vec{H}}$$

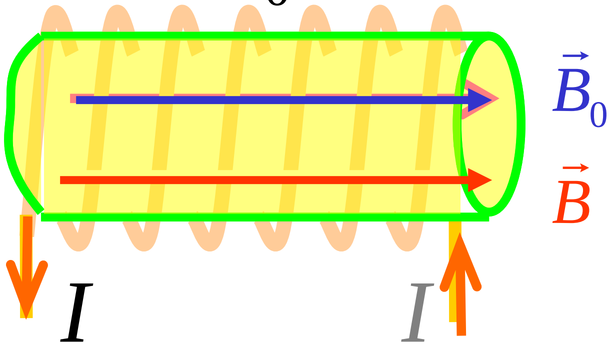
相对磁导率 $\mu_r = \dfrac{B}{B_o}$ $\mu = \mu_0 \mu_r$

——磁介质的磁导率

$$\vec{M} = (\mu_r - 1)\vec{H} \qquad \vec{B} = \mu_0 \vec{M} + \mu_0 \vec{H} \qquad \vec{B} = \mu_r \mu_0 \vec{H}$$

$$\vec{P} = (\varepsilon_r - 1)\varepsilon_0 \vec{E} \qquad \vec{D} = \vec{P} + \varepsilon_0 \vec{E} \qquad \vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \vec{E}$$

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



$\vec{B}_0$：传导电流在真空中的磁场

$\vec{B}'$：介质磁化所产生的附加磁场

$\vec{B}$：介质中的合磁场,

$\mu=\mu_0\mu_r$ ——磁介质的磁导率

$$\mu_r=\frac{B}{B_o}$$ 相对磁导率

$$\mu_r\begin{cases}>1 & \text{顺磁质}\\ <1 & \text{抗磁质}\\ >>1 & \text{铁磁质（非常数）}\end{cases}$$

- 各向同性磁介质 $\vec{B}=\mu_0\mu_r\vec{H}=\mu\vec{H}$

真空中的安培环路定理 $\oint_l \vec{B}\cdot d\vec{l}=\mu_0(NI+I_s)$

l 包电流(传导,束缚)

磁介质中的安培环路定理

$$\oint_l \vec{H}\cdot d\vec{l}=\sum I$$

l 仅包含传导电流

静电场中的电介质

电介质极化：束缚电荷

力矩 $=\vec{p}_e\times\vec{E}$

电极化强度 $\mathbf{P}=\dfrac{\sum\mathbf{P}_i}{\Delta V}$

$$\mathbf{P}\cdot\mathbf{n}=\sigma' \qquad \oint_s \mathbf{P}\cdot d\mathbf{S}=q'$$

$$\mathbf{P}=\varepsilon_0\chi_e\mathbf{E} \qquad \mathbf{E}=\mathbf{E}_0+\mathbf{E}'$$

$$\mathbf{D}=\mathbf{P}+\varepsilon_0\mathbf{E}=\varepsilon_r\varepsilon_0\mathbf{E}$$

$$\oint_s \mathbf{E}\cdot d\mathbf{S}=\frac{1}{\varepsilon_0}(q_0+q')$$

高斯定理：电介质

$$\oint_s \mathbf{D}\cdot d\mathbf{S}=q_0$$

稳恒磁场中的磁介质

磁介质磁化：束缚面电流

力矩 $=\vec{M}\times\vec{B}$

磁极化强度 $\vec{M}=\dfrac{\sum\vec{p}_m}{\Delta V}$

$$\vec{M}\times\vec{n}=\vec{j}_M \qquad \oint_L \vec{M}\cdot d\vec{l}=I_M$$

$$\vec{\mathrm{M}}=\chi_m\vec{\mathrm{H}} \qquad \vec{\mathrm{B}}=\vec{\mathrm{B}}_0+\vec{\mathrm{B}}'$$

$$\vec{B}=\mu_0\vec{M}+\mu_0\vec{H}=\mu_r\mu_0\vec{H}$$

$$(\oint_L \vec{B}\cdot d\vec{l}=\mu_0\sum_L I+\mu_0\oint_L \vec{M}\cdot d\vec{l})$$

安培环路定理：磁介质

$$\oint_L \vec{\mathrm{H}}\cdot d\vec{l}=\sum_L \mathrm{I}$$

【例 1】有两个半径分别为 R 和 r 的"无限长"同轴圆筒形导体，在它们之间充以相对磁导率为 μ_r 的磁介质.当两圆筒通有相反方向的电流 I 时，试求（1）磁介质中任意点 P 的磁感应强度的大小;（2）圆柱体外面一点 Q 的磁感强度.

解　对称性分析 $r<d<R$

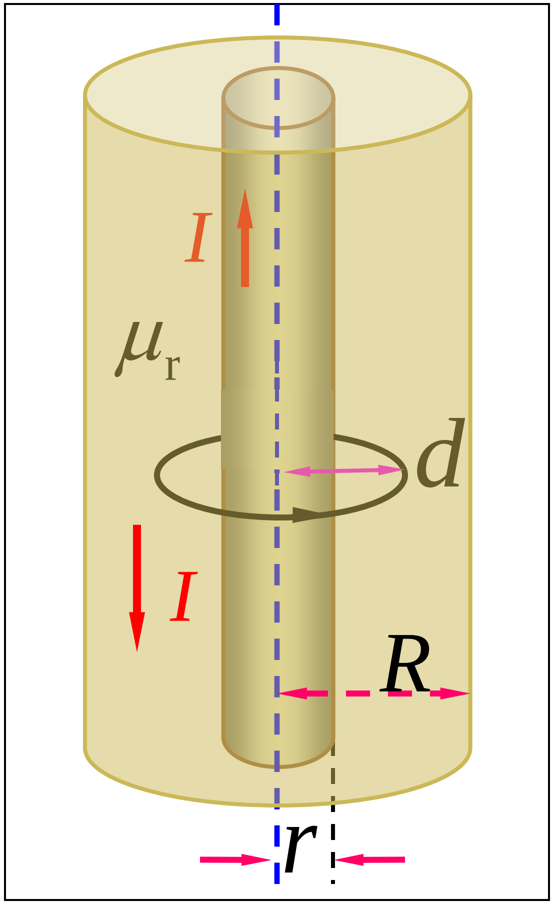
$$\boxed{\oint_l \vec{H}\cdot \mathrm{d}\vec{l} = I} \qquad 2\pi\, dH = I$$

$$H = \frac{I}{2\pi\, d} \qquad B = \mu H = \frac{\mu_0 \mu_r I}{2\pi\, d}$$

$d > R$　$\oint_l \vec{H}\cdot \mathrm{d}\vec{l} = I - I = 0$

$$2\pi\, dH = 0,\quad H = 0 \qquad B = \mu H = 0$$

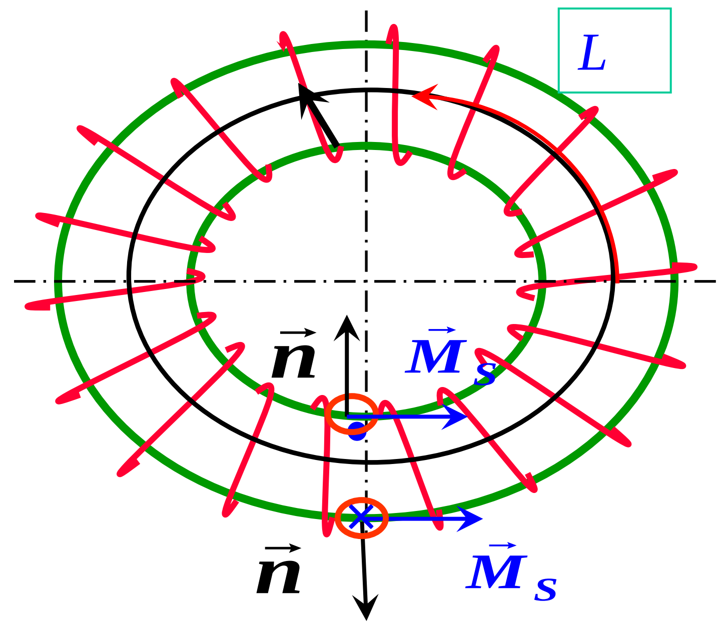
同理可求 $d<r$，$B=0$



【例 2】在磁导率 $\mu = 5\times10^{-4} Wb/A.m$ 磁介质环上，均匀密绕线圈，$n = 1000$ 匝/米，绕组电流 I = 2A。（螺绕环厚度 R-r《R）求与每匝相应的等效磁化电流 I_s。

解：由介质与电流的对称性来分析磁场对称性　选取合适的安培环路

应用介质安培环路定理 $\boxed{\oint_L \vec{H}\cdot d\vec{l} = \sum_i^L I_{i0}}$



由于螺绕环厚度 R-r《R

$$\oint_L \vec{H}\cdot d\vec{l} = H\cdot l = l\cdot n\cdot I$$

磁介质内部磁场强度：$H = nI = 2000A/m$

磁介质内部磁感应强度：

$$B = \mu H = 1（T） = 7.9\times10^5 A/m$$

磁化强度：$\boxed{M = \chi_M H} = \frac{B_M}{\mu_0} - H$

磁介质磁化电流：$\boxed{\vec{j}_M = \vec{M}_S \times \vec{n}}$　$M_S = j_M$

磁介质内外表面磁化电流方向与原传导电流相同

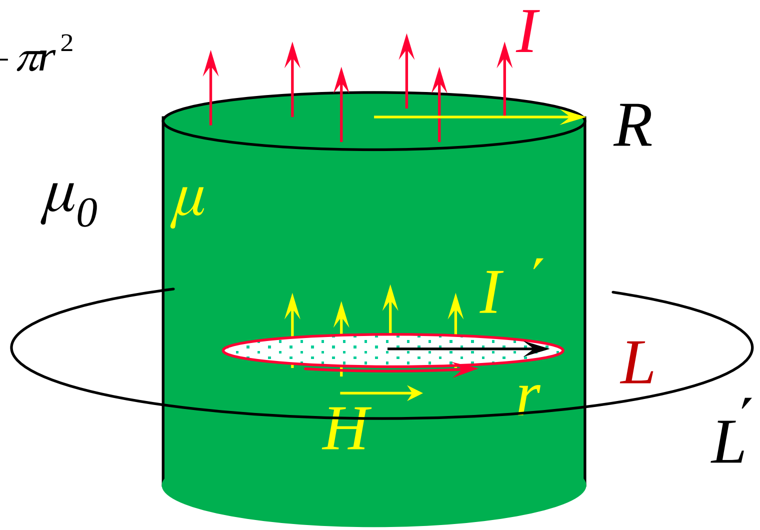
每匝相应的等效磁化电流　$I_M = \frac{j_M}{n} = \frac{790000}{1000} = 790A$

【例 3】一无限长载流圆柱体，通有电流I，电流 I 均匀分布在整个横截面上。园柱体的磁导率为 μ，园柱外为真空。求：各区域的磁场强度和磁感应强度。

解：由介质与电流的柱对称性分析磁场的对称性：

当 $r < R$ 时，如图选择安培环路 L。运用磁介质安培环路定理

$$\boxed{\oint_L \vec{H}_{内} \cdot d\vec{l} = H_{内} \cdot l = H_{内} 2\pi r} = I' = \frac{I}{\pi R^2}\pi r^2$$



$$H_{内} = \frac{Ir}{2\pi R^2} \qquad B_{内} = \mu H_{内} = \frac{\mu I r}{2\pi R^2}$$

当 $r > R$ 时，选择如图安培环路 L。

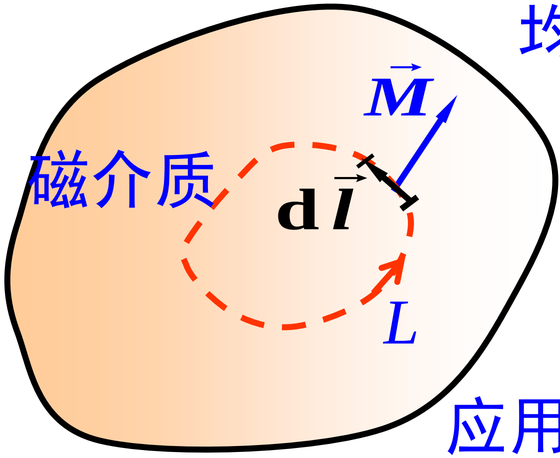
$$\oint_L \vec{H}_{外} \cdot d\vec{l} = H_{外} \cdot l = H_{外} 2\pi r = I$$

$$H_{外} = \frac{I}{2\pi r} \qquad B_{外} = \mu_0 H_{外} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

在磁介质分界面上H 连续, B 不连续。

【例 4】证明在各向同性均匀磁介质内，无传导电流处，也无磁化电流。

证明：磁介质中闭合回路 L 的分子磁化电流为：$\boxed{I_M = \oint_L \vec{M} \cdot d\vec{l}}$



均匀磁介质内磁化强度与磁场强度成线性关系

$$\vec{M} = \chi_m \vec{H}$$

$$\boxed{I_M = \oint_L \chi_m \vec{H} \cdot d\vec{l}}$$

应用磁介质的安培环路定理 $\boxed{\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_i^L I_{i0}}$

因为介质内无传导电流 $\sum_i^L I_{i0} = 0$

介质内闭合回路 L 的分子磁化电流：$I_M = \chi_m \sum_i^L I_{i0} = 0$

L可以任意选取，且可无限缩小，

故磁介质内部任何地方 $I_0 = 0$ 处，$I_M = 0$

【例 5】在均匀磁化的磁化强度为 M、半径为 R 的长直永磁棒中，沿方向挖去一半径为 r 的长圆柱，此时空洞中心 O_1 处的磁感强度为 B_1，磁场强度为 H_1（如图①所示）；另有一相同半径的长直载流螺线管，在管内磁介质中沿轴向挖去一与上面相同的圆柱，此时空洞中心 O_2 处磁感应强度为 B_2 磁场强度为 H_2（如图②所示）．若永磁棒中的 与螺线管中磁介质的磁化强度相等，则在 O_1、O_2 处有 [B]

(A) $B_1=B_2$，$H_1=H_2$． (B) $B_1=0$，$B_2\neq 0$．

(C) $B_1\neq 0$， $B_2=0$． (D) $H_1=0$，$H_2=0$．

解： 由于 O_1 处在介质外，$M_1=0$，

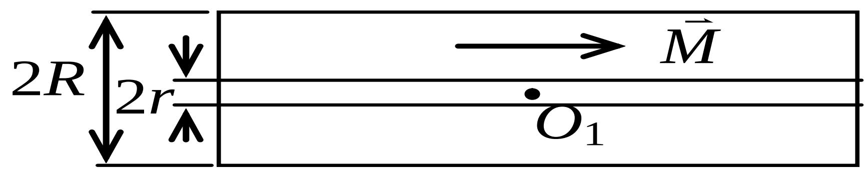
$H_1=0$，

$B_1=\mu_0$（M_1+H_1）也为0

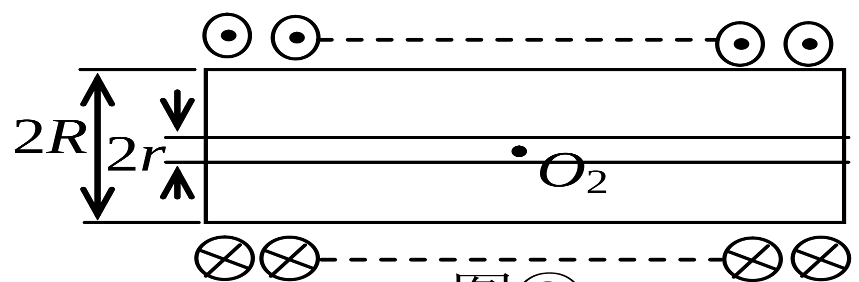
由于 O_2 处在介质外，$M_2=0$，

$H_2\neq 0$，

$B_2\neq\mu_0$（M_2+H_2）也不为0



图①

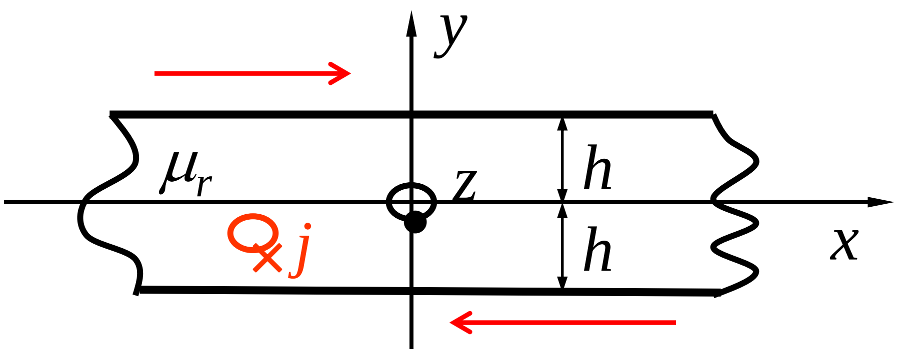


图②

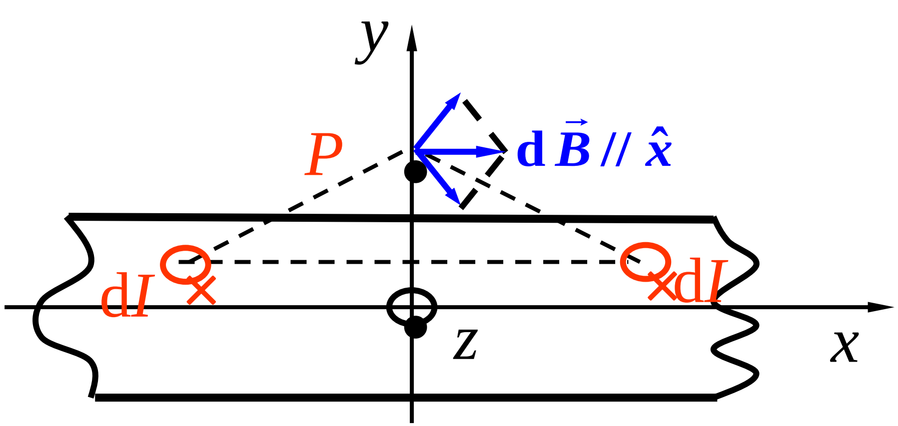
【例 6】如图，已知均匀载流无限大厚平板电流密度 j（沿 $-z$ 方向），导体相对磁导率为 μ_r，求：空间磁感应强度和介质表面的磁化电流。

解：由介质的平面对称性与电流的方向

判断磁场的对称性和平行 x 直线方向



或确定平板上方任意一点 P，对称地选取平板 xy 平面两个微元电流 $\mathrm{d}I$，分析 P 点的磁场强度与方向。

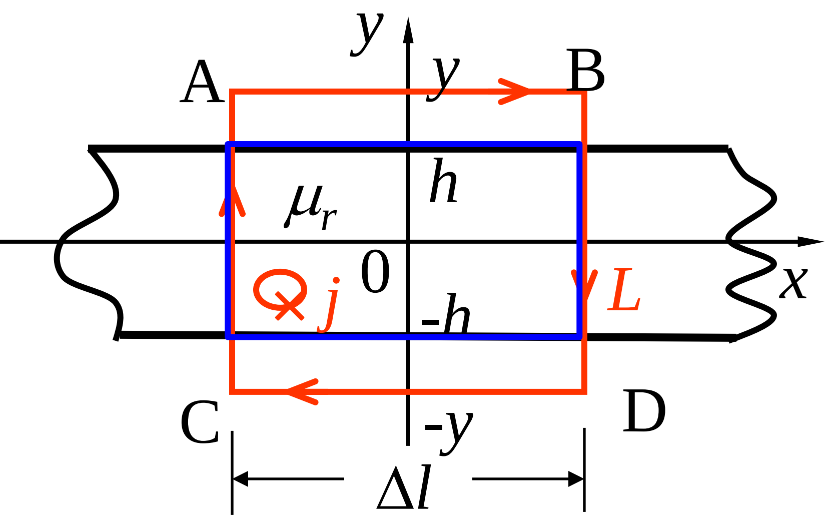


$$\vec{B} = \vec{B}(y)$$

$$y > 0: \ \vec{B} = B(y)\vec{\hat{x}}$$

$$y < 0: \vec{B} = -B(y)\vec{\hat{x}}$$

板外选取如图环路 L，应用安培环路定理



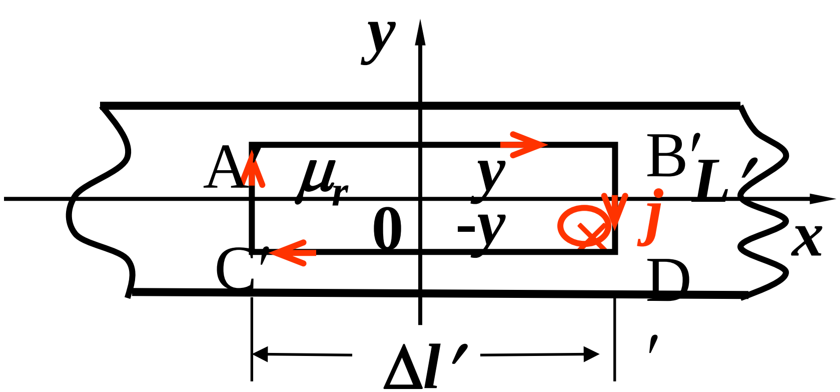
$$\boxed{\oint_L \vec{H}_{外}\cdot d\vec{l} = j\Delta S = j(\Delta l\cdot 2h)}$$

$$2H_{外}\cdot\Delta l = 2jh\cdot\Delta l$$

$$H_{外} = jh$$

$$\vec{B}_{外} = \mu_0\vec{H}_{外} = \pm\mu_0 jh\hat{\vec{x}}$$

板内选取如图安培环路 L ,同样应用安培环路定理

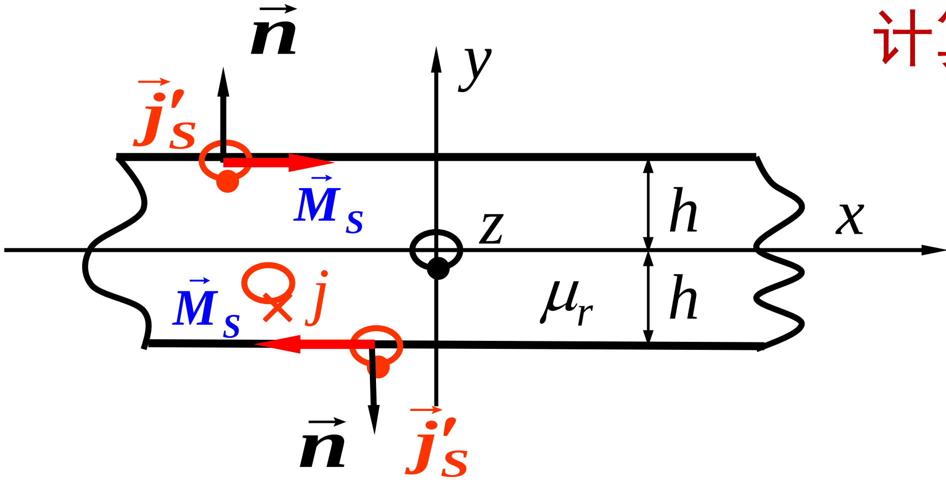


$$\boxed{\oint_L \vec{H}_{内}\cdot d\vec{l} = \Delta S' = j(\Delta l'\cdot 2y)}$$

$$2H_{内}\cdot\Delta l' = 2jy\cdot\Delta l'$$

$$H_{内} = jy$$

$$\vec{B}_{内} = \mu_0\vec{H}_{内} = \pm\mu_0\mu_r jy\hat{\vec{x}}$$



计算磁介质磁化电流密度

$$\vec{j}_M = \vec{M}_s \times \vec{n}$$

$$\vec{M}_S = \chi_m \vec{H}_{内S}$$

$$= (\mu_r - 1)\vec{H}_{内S}$$

上表面： $\vec{e}_n = \vec{\hat{y}}$，

$$\vec{M}_S = (\mu_r - 1)(jh\vec{\hat{x}})$$

$$\vec{j}'_S = (\mu_r - 1)jh\vec{\hat{z}} = -(\mu_r - 1)h \cdot \vec{j}$$

下表面： $\vec{e}_n = -\vec{\hat{y}}$，

$$\vec{M}_S = (\mu_r - 1)(-jh\vec{\hat{x}})$$

$$\vec{j}'_S = -(\mu_r - 1)h \cdot \vec{j}$$

讨论 1） 上面的情况是对顺磁介质， $\chi_m < 0,\ \mu_r < 1$，

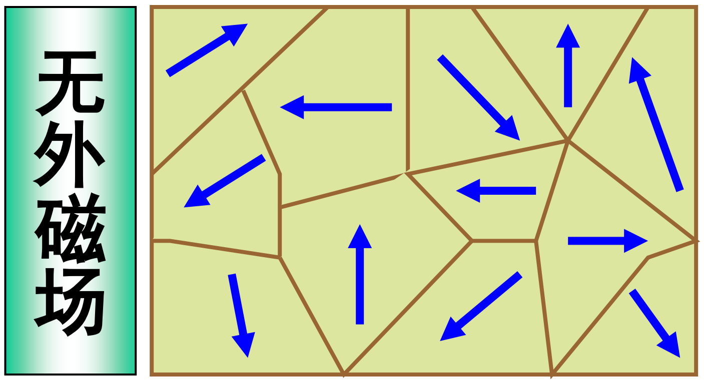
磁化面电流方向与原传导电流相反

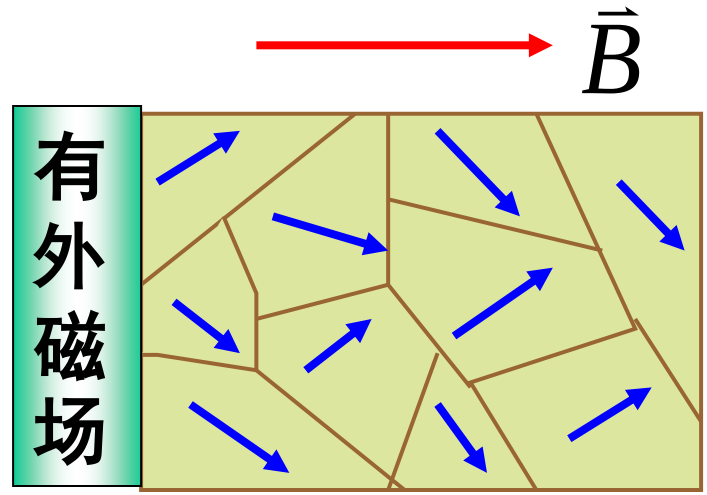
2） 对抗磁介质， $\vec{M}_s = (\mu_r - 1)\vec{H}_{内S} = -\vec{H}_{内S}$

磁化面电流方向与原传导电流相同

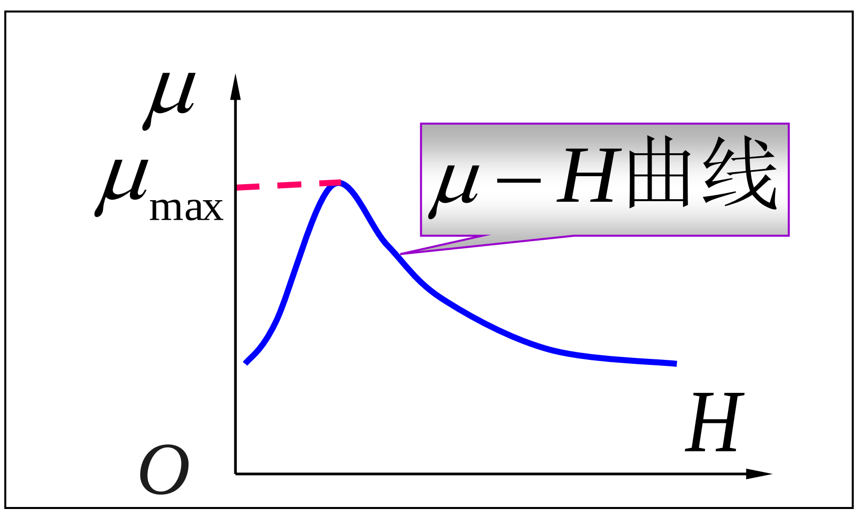
铁磁质

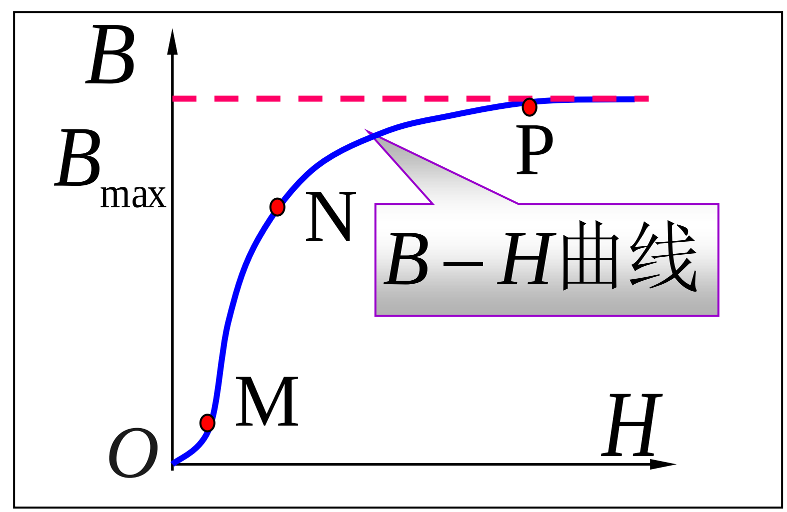
1. 磁 畴





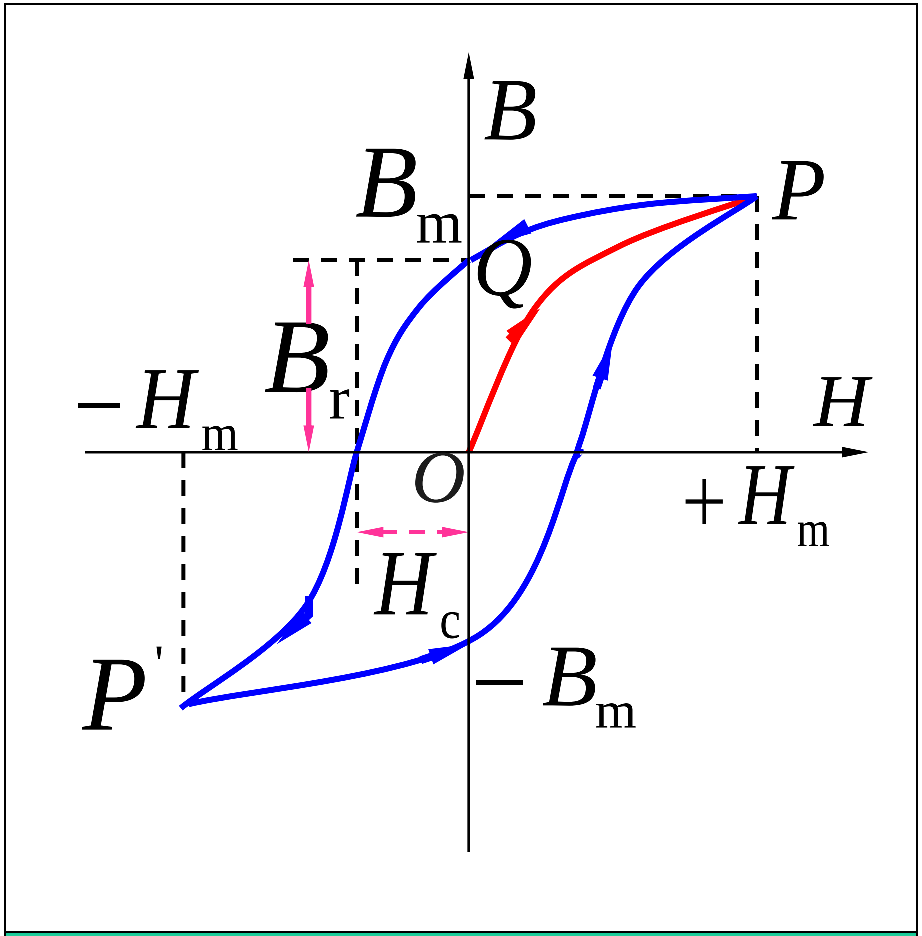
2. 磁化曲线





3. 磁滞回线

当外磁场由 $+H_{\mathrm{m}}$ 逐渐减小，磁感强度 B 并不沿起始曲线 OP 减小，而是沿 PQ 比较缓慢的减小，这种 B 的变化落后于 H 的变化的现象，叫做磁滞现象，简称磁滞.



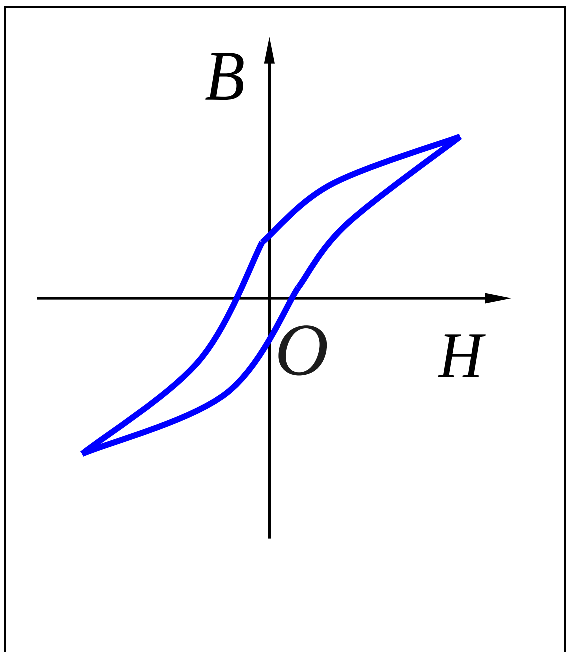
磁滞回线

由于磁滞，当磁场强度减小到零（即 $H=0$）时，磁感强度 $B\neq 0$，而是仍有一定的数值 B_{r}，B_{r} 叫做剩余磁感强度(剩磁).

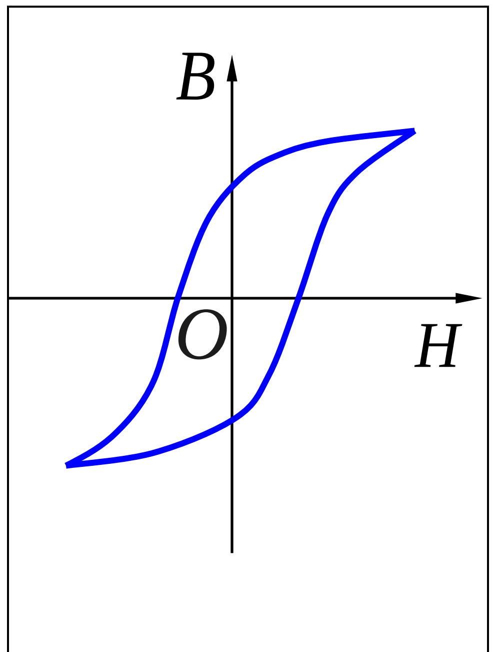
矫顽力 H_{c}

4. 铁磁性材料

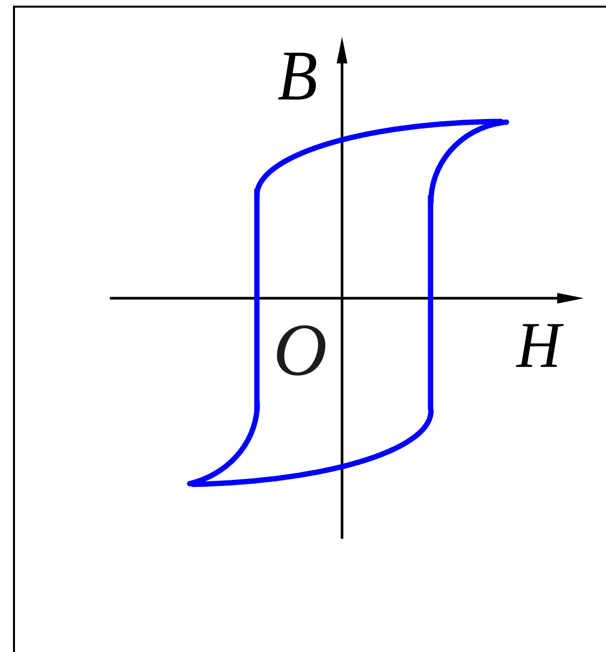
实验表明，不同铁磁性物质的磁滞回线形状相差很大，分为软磁材料，软磁材料，矩磁铁氧体材料。



软磁材料

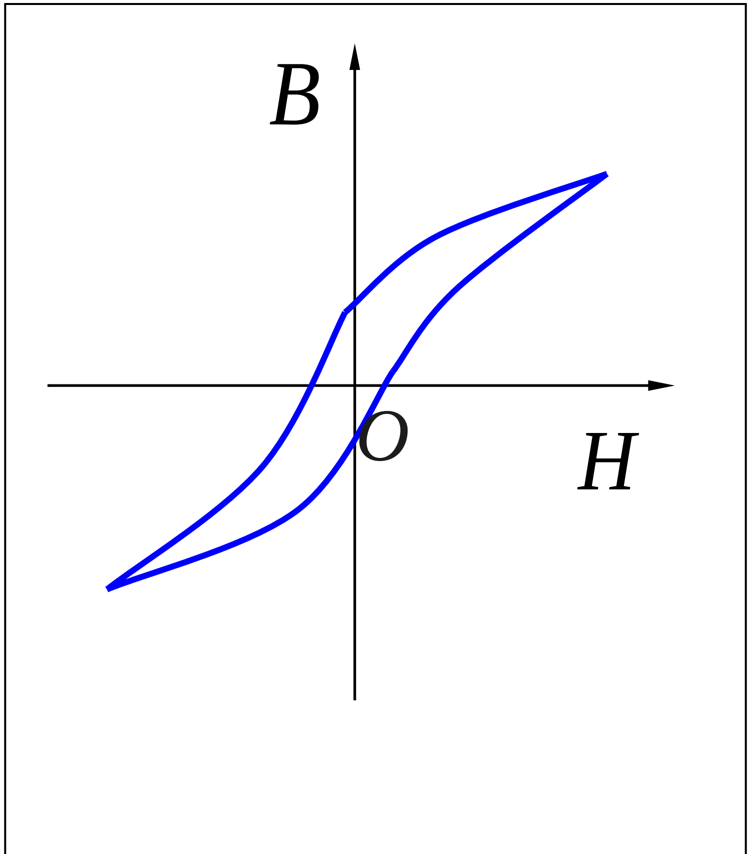


硬磁材料



矩磁铁氧体材料

软磁材料

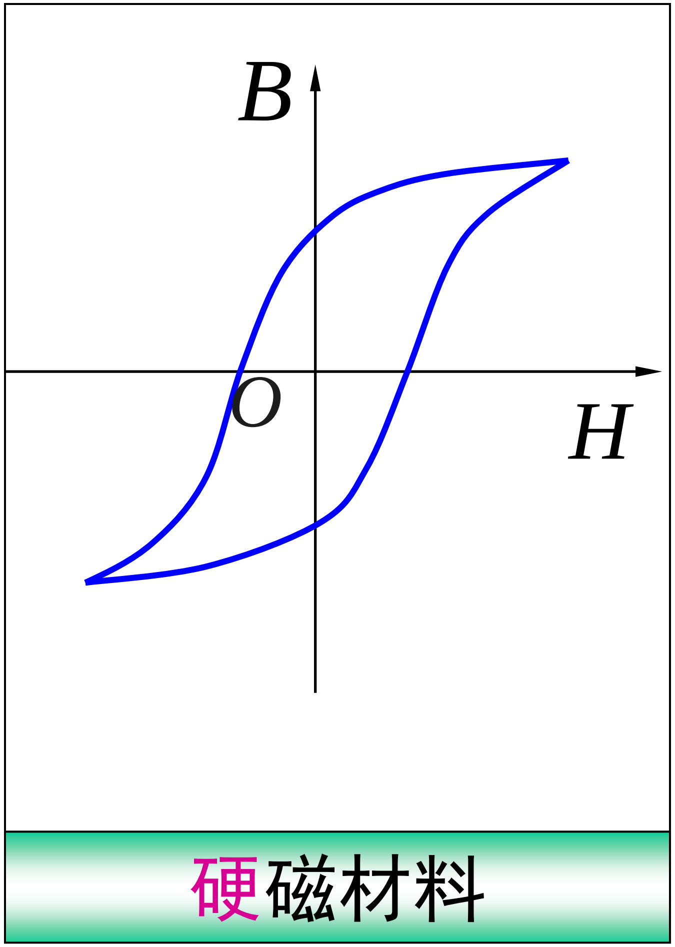


软磁材料

特点： 磁导率大，矫顽力小，容易磁化，也容易退磁，磁滞回线包围面积小，磁滞损耗小。

应用： 硅钢片，作变压器、电机、电磁铁的铁芯，铁氧体(非金属)作高频线圈的磁芯材料。

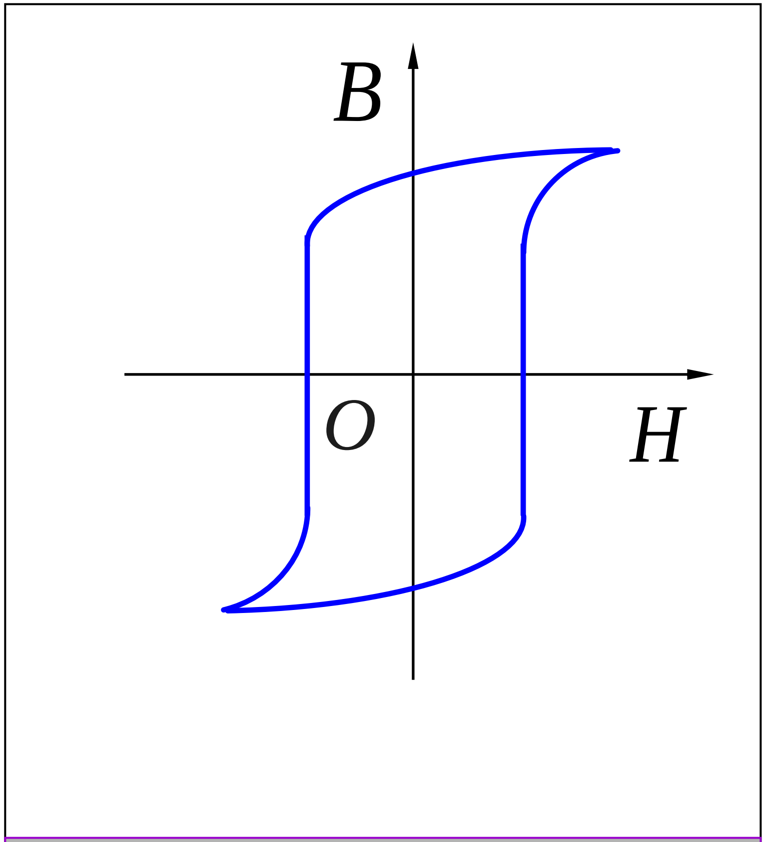
硬磁材料



特点：剩余磁感应强度大，矫顽力大，不容易磁化，也不容易退磁，磁滞回线宽，磁滞损耗大。

应用：作永久磁铁，永磁喇叭等。

矩磁材料



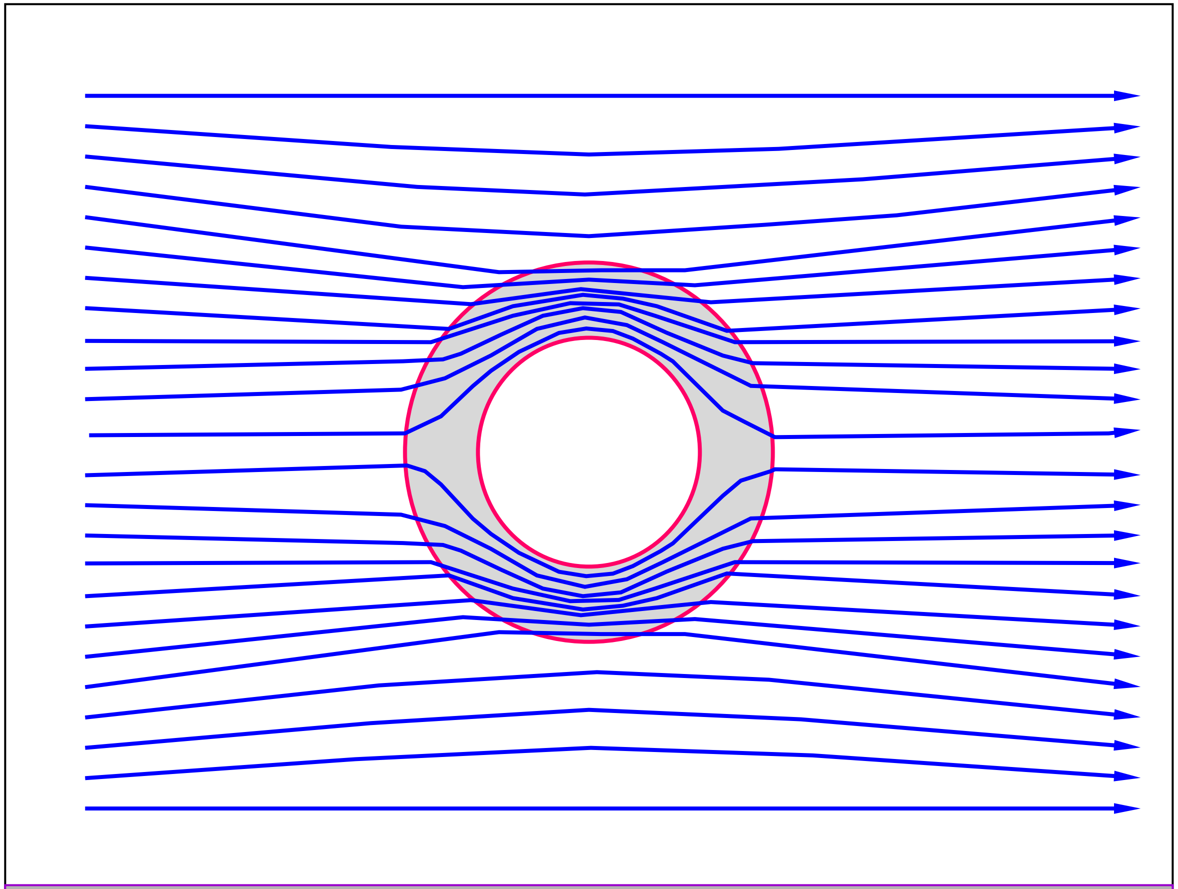
矩磁铁氧体材料

特点：磁滞回线呈矩形状

应用：作计算机中的记忆元件，磁化时极性的反转构成了“0”与“1”的物理载体。

5. 磁屏蔽

把磁导率不同的两种磁介质放到磁场中，在它们的交界面上磁场要发生突变，引起了磁感应线的折射.



磁屏蔽示意图