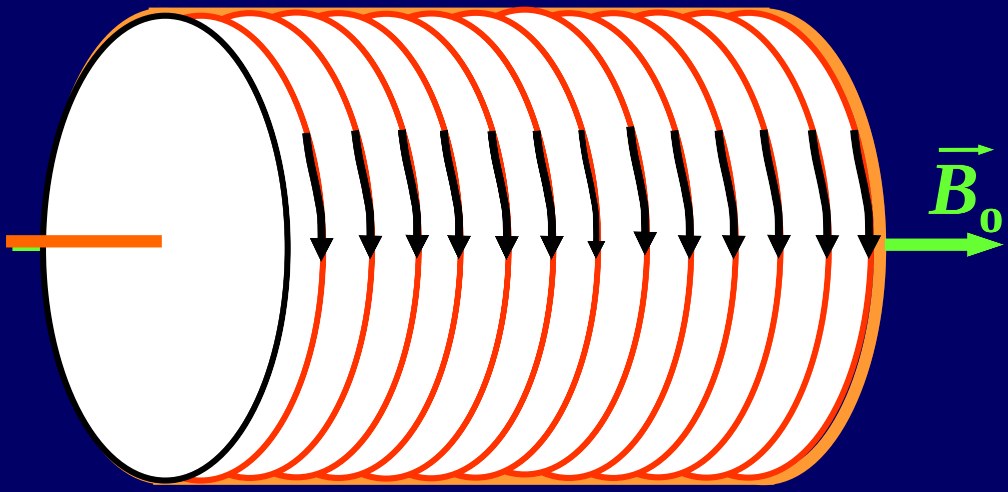
磁介质中的静磁场

介质磁化后，介质的表面或内部会出现宏观的电流分布，称为磁化电流。

产生附加磁场 $\vec{B}'$

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

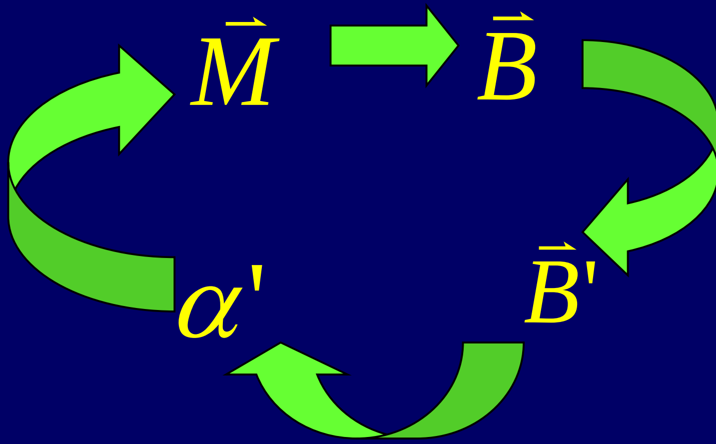


$$\alpha' = M_t$$

$$\oint_L \vec{M} \cdot d\vec{l} = \sum I'$$

有磁介质存在时的静磁场

$\alpha' = M_t$



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

这种连环套的关系太复杂，
怎么求解？

磁场强度、磁介质中的安培环路定理

§6-3 磁场强度

有磁介质时的安培环路定理

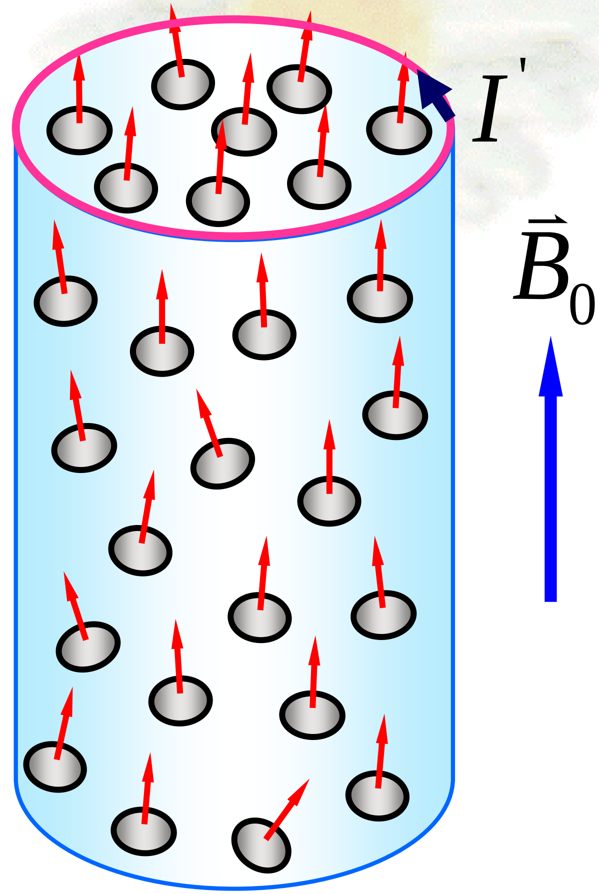
一、有磁介质时稳恒磁场的安培环路定理的表达式

介质存在时，场源有两部分

$$\begin{cases} I_0\text{：传导电流，激发}\vec{B}_0 \\ I'\text{：磁化电流，激发}\vec{B}' \end{cases}$$

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

传导电流和磁化电流按照相同规律激发磁场



有外磁场

一、有磁介质时稳定磁场的安培环路定理的表达式

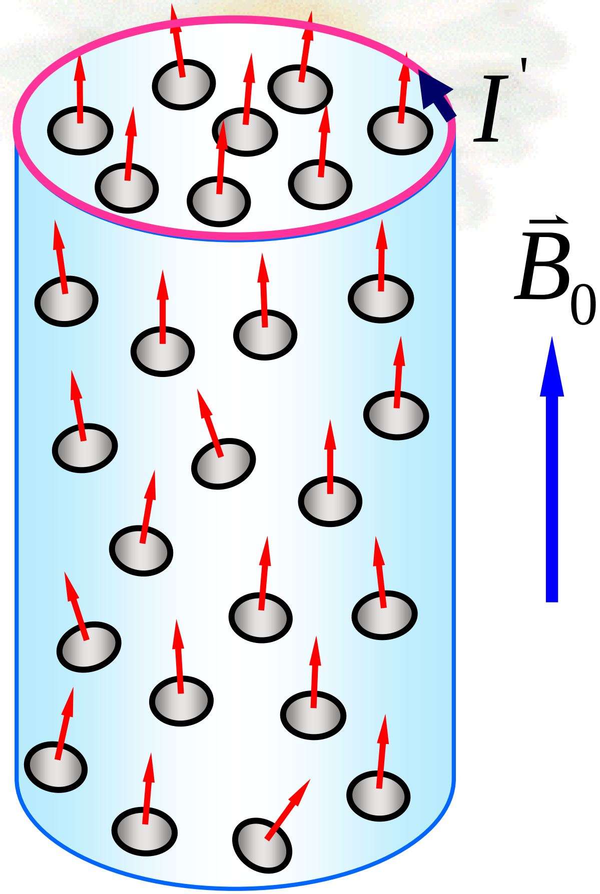
传导电流和磁化电流
按照相同规律激发磁场

$$\oint_L \vec{B}_0 \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum I_{0in}$$

$$\oint_L \vec{B}' \cdot \mathrm{d}\vec{l} = \mu_0 \sum I'_{in}$$

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

$$\oint_L \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = \mu_0 \sum (I_{0in} + I'_{in}) \ldots (1)$$



有外磁场

$$\oint_L \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{l} = \mu_0 \sum (I_{0in} + \cancel{I'_{in}}) \ldots(1)$$

$$\oint_L \vec{M}\cdot d\vec{l} = \sum I'$$

$$\Rightarrow \oint_L \left(\frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}\right)\cdot d\vec{l} = \sum I_{0in}$$

令： $$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$$ 称为**磁场强度**

得到：有磁介质时稳恒磁场的安培环路定理的**表达式**

$$\oint_L \vec{H}\cdot d\vec{l} = \sum I_{0in}$$

$$\oint_L \vec{H}\cdot d\vec{l} = \sum_{L内} I_0$$

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$$

◆磁场强度的环流

等于这个闭合回路所包围的“传导电流”的代数和。

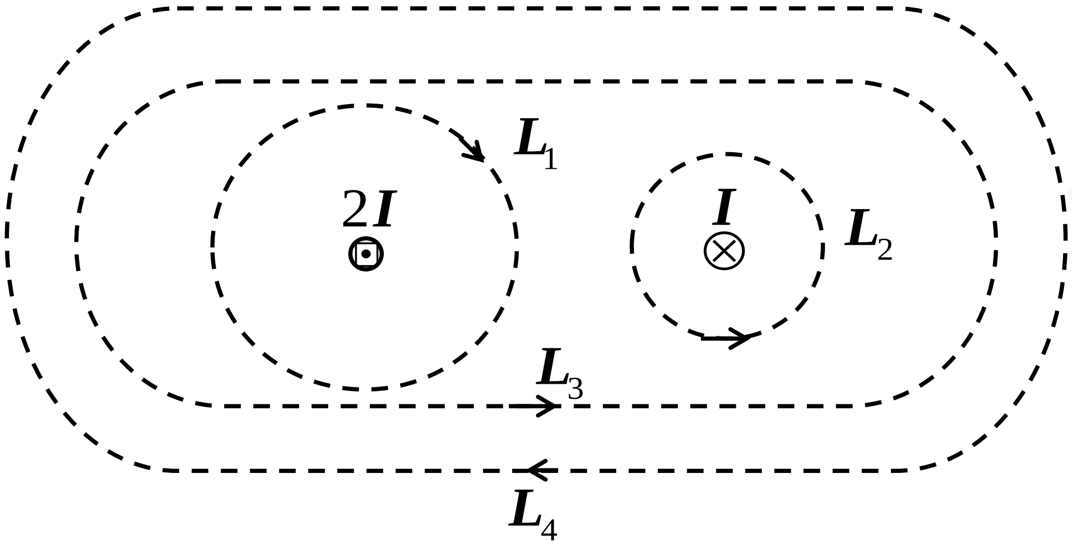
◆磁场强度的环流

只与闭合回路内所包围的“传导电流”有关，

与磁化电流无关

◆磁场强度

不仅与传导电流有关，　还与磁化电流有关



$$\oint_L \vec{H}\cdot d\vec{l} = ?$$

$$\oint_{L_1} \vec{H}\cdot d\vec{l} = -2I$$

$$\oint_{L_2} \vec{H}\cdot d\vec{l} = -I$$

$$\oint_{L_3} \vec{H}\cdot d\vec{l} = I$$

$$\oint_{L_4} \vec{H}\cdot d\vec{l} = -I$$

二. 磁场强度 $\vec{H}$

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M} \Rightarrow \vec{B} = \mu_0 \vec{M} + \mu_0 \vec{H}$$

对任何介质成立

◆ $\vec{H}$, $\vec{B}$, $\vec{M}$ 三者的关系**(各向同性介质)**

$$\left.\begin{aligned} \vec{M} &= \chi_m \vec{H} \\ \vec{B} &= \mu_0 \vec{M} + \mu_0 \vec{H} \end{aligned}\right\} \rightarrow \vec{B} = \mu_0 (1+\chi_m) \vec{H}$$

令 $1+\chi_m = \mu_r$

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

$$\vec{M} = g\vec{B} \Rightarrow \vec{M} = \frac{\chi_m}{\mu_0 \mu_r} \vec{B}$$

三、有磁介质存在时的静磁场的求解?

当磁化电流和磁介质的分布具有对称性时

利用磁介质的安培环路定理可以使计算简化

$$\oint_L \vec{H}\cdot d\vec{l} = \sum_{L内} I$$

$$\vec{H} \xrightarrow{\vec{B}=\mu\vec{H}} \vec{B}$$

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

$$\vec{M} \xrightarrow{\vec{\alpha}'=\vec{M}\times\vec{n}} \vec{\alpha}'$$

步骤与$\oint_l \vec{B}_0\cdot \mathrm{d}\vec{l} = \mu_0\sum I_i$的应用一样

例　一无限长载流直导线，其外包围一层磁介质，相对磁导率 $\mu_r > 1$

求：磁介质中的磁感应强度和磁化强度

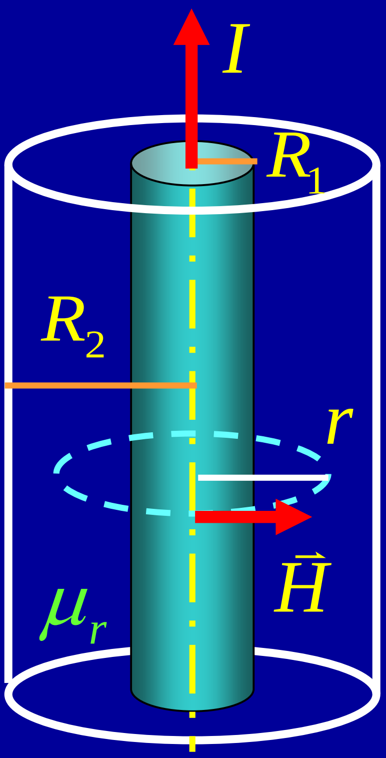
解　根据磁介质的安培环路定理

$$\oint_L \vec{H} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = H\,2\pi r = I \Rightarrow H = I / 2\pi r$$

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

$$M = \chi_m H = (\mu_r - 1) H$$

$$= \frac{(\mu_r - 1) I}{2\pi r}$$



思考：$\vec{\alpha}' = \vec{M} \times \vec{n}$

例 一无限长载流直导线，其外包围一层磁介质，相对磁导率 $\mu_r > 1$

求 (2) 介质内外界面上的磁化电流密度

解 由磁化强度与磁化电流密度的关系

$$\vec{\alpha}' = \vec{M} \times \vec{n}$$

$$M = \chi_m H = (\mu_r - 1)H = \frac{(\mu_r - 1)I}{2\pi r}$$

内界面: $\alpha'_1 = M_1 = \dfrac{(\mu_r - 1)I}{2\pi R_1}$

外界面: $\alpha'_2 = \dfrac{(\mu_r - 1)I}{2\pi R_2}$