14.6.3 霍耳效应

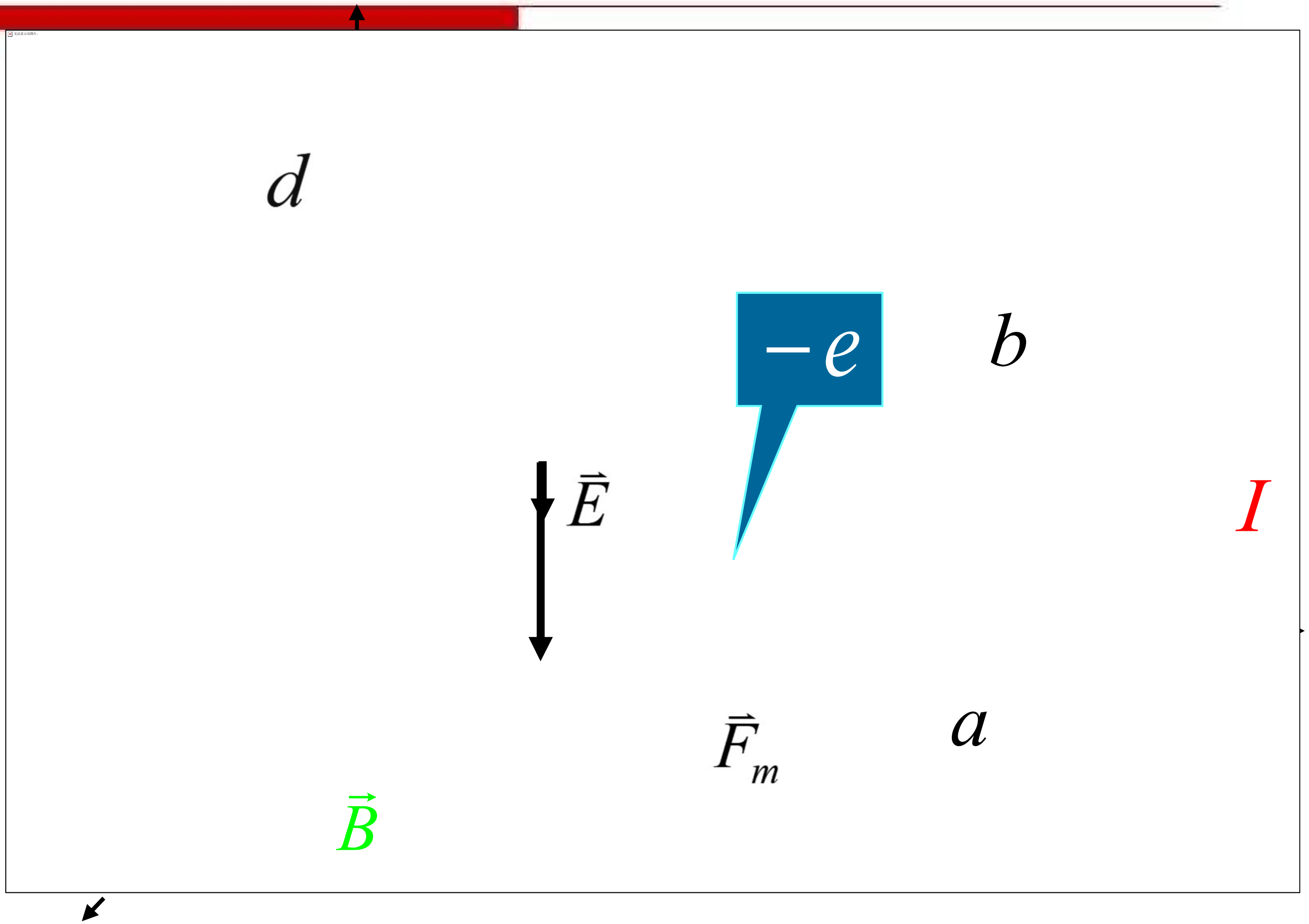
1. 实验结果

U_{ab} 与电流和磁感应强度成正比

2. 物理机制

(1)洛伦兹力

(2)霍耳电场



14.6.3　霍耳效应

动态平衡时 $\vec{F}_e = \vec{F}_m \Rightarrow qE = q\upsilon B$

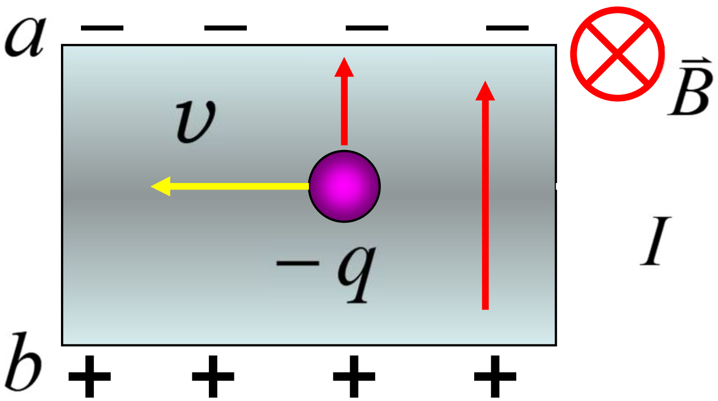
$$\left.\begin{array}{r} E = \upsilon B \\ U_{ab} = El = \upsilon Bl \\ I = nq\upsilon S = nq\upsilon ld \end{array}\right\} U_{ab} = \frac{1}{nq}\frac{IB}{d} \Rightarrow R_H = \frac{1}{nq}$$

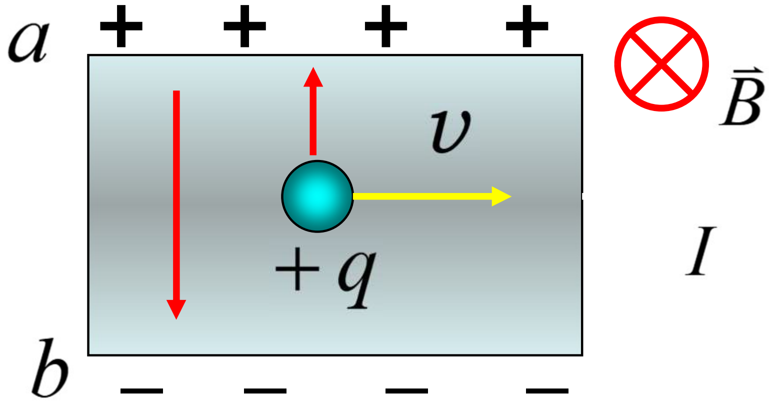
(霍耳系数)

- **讨论**

(1)霍耳系数=======》载流子浓度

(2) 区分半导体材料类型





N 型 $u_a < u_b$ ， $R_H < 0$

P 型 $u_a > u_b$ ， $R_H > 0$

§ 磁介质

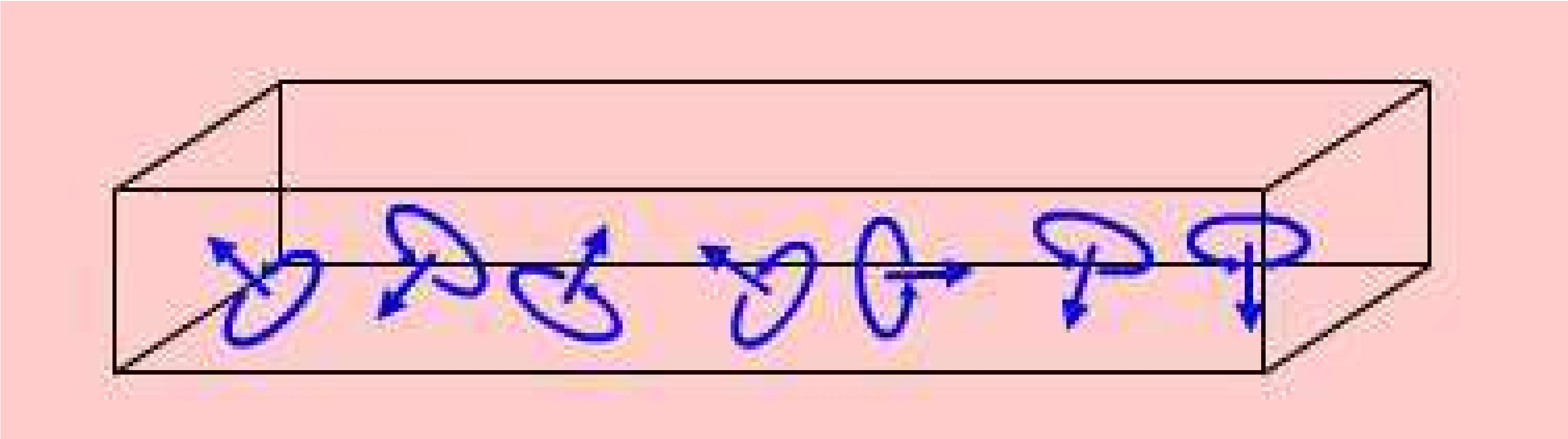
为什么要讨论磁介质？

在生产实践中，我们不仅需要讨论磁场，同时还要讨论其它物体在磁场中表现出的特性，根据这些特性确定其用途。

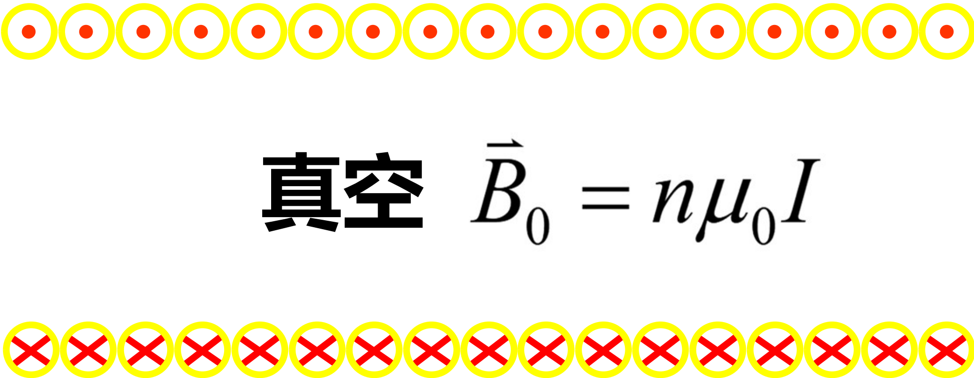
本讲基本要求

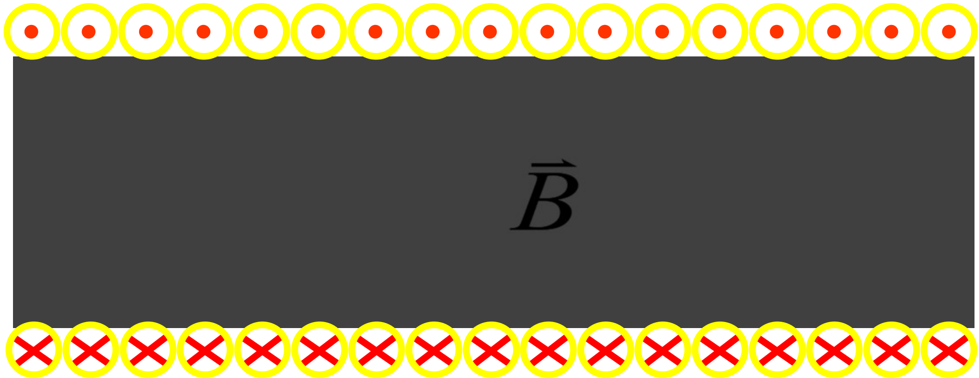
掌握$\boldsymbol{H}$的安培环路定理的用法

§14.8　磁介质的分类



14.8.1 磁介质及其磁化





相对磁导率: $\mu_r = \dfrac{B}{B_0}$ **(磁介质对磁场的影响程度)**

◆ 磁介质的分类

磁化率: $\chi_m = \mu_r - 1$

顺磁质: $\mu_r > 1 \longrightarrow B > B_0$ 增强原场

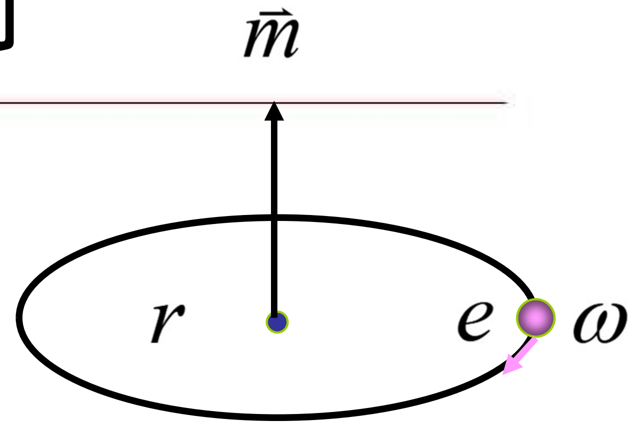
抗磁质: $\mu_r < 1 \longrightarrow B < B_0$ 减弱原场

$\left.\begin{array}{l}\text{增强原场}\\ \text{减弱原场}\end{array}\right\}$ 弱磁性物质 $\mu_r \approx 1$

铁磁质: $\mu_r >> 1$ $(10^2 \sim 10^4)$ (通常不是常数)

显著的增强原磁场 $\longrightarrow$ 强磁性物质

14.8.2 磁介质磁化的微观机制



分子固有磁矩: 所有电子磁矩的总和。

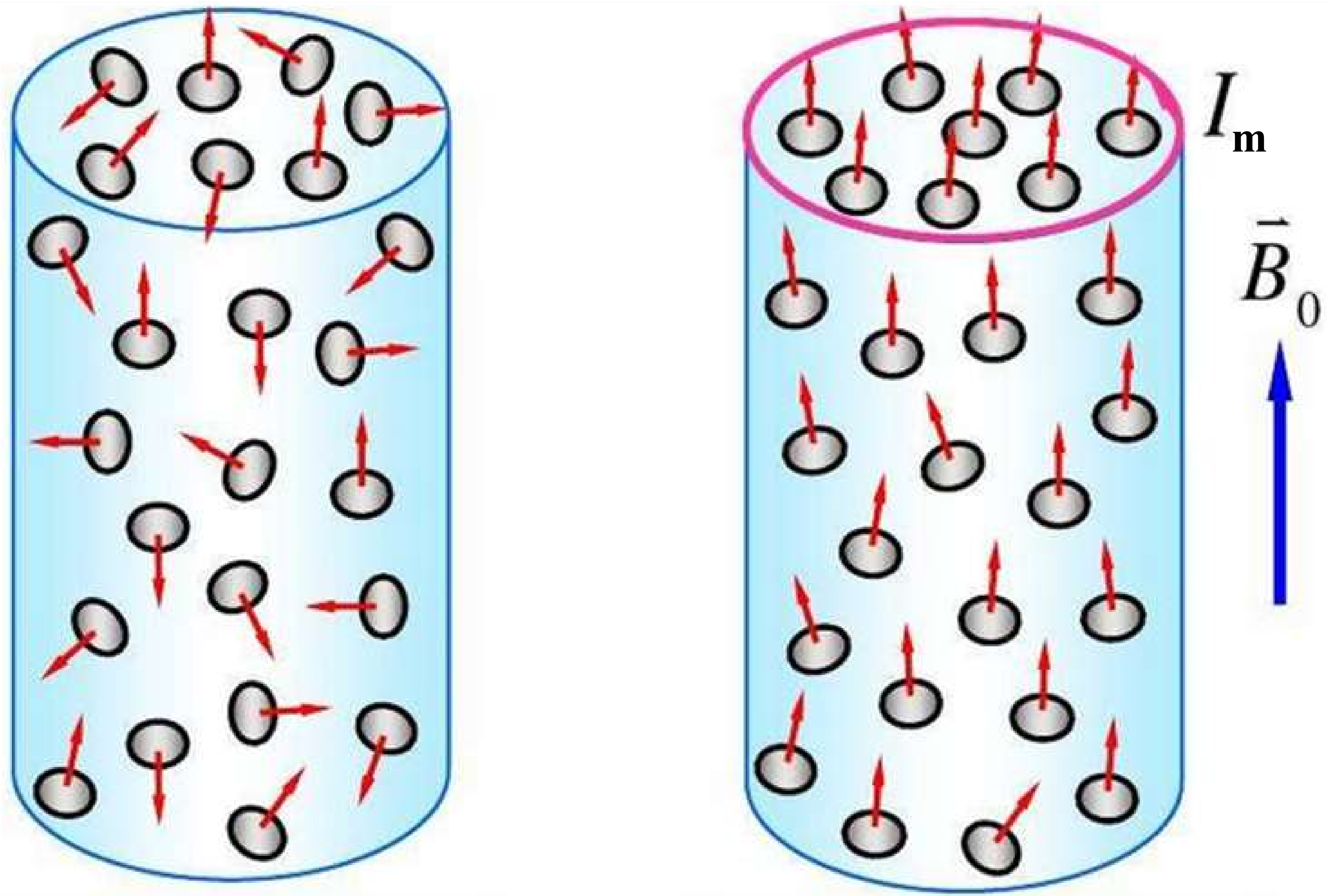
抗磁质 分子固有磁矩为零

无外场作用时，对外不显磁性。

顺磁质 分子固有磁矩不为零

无外场作用时，磁矩无序分布 ，对外不显磁性。

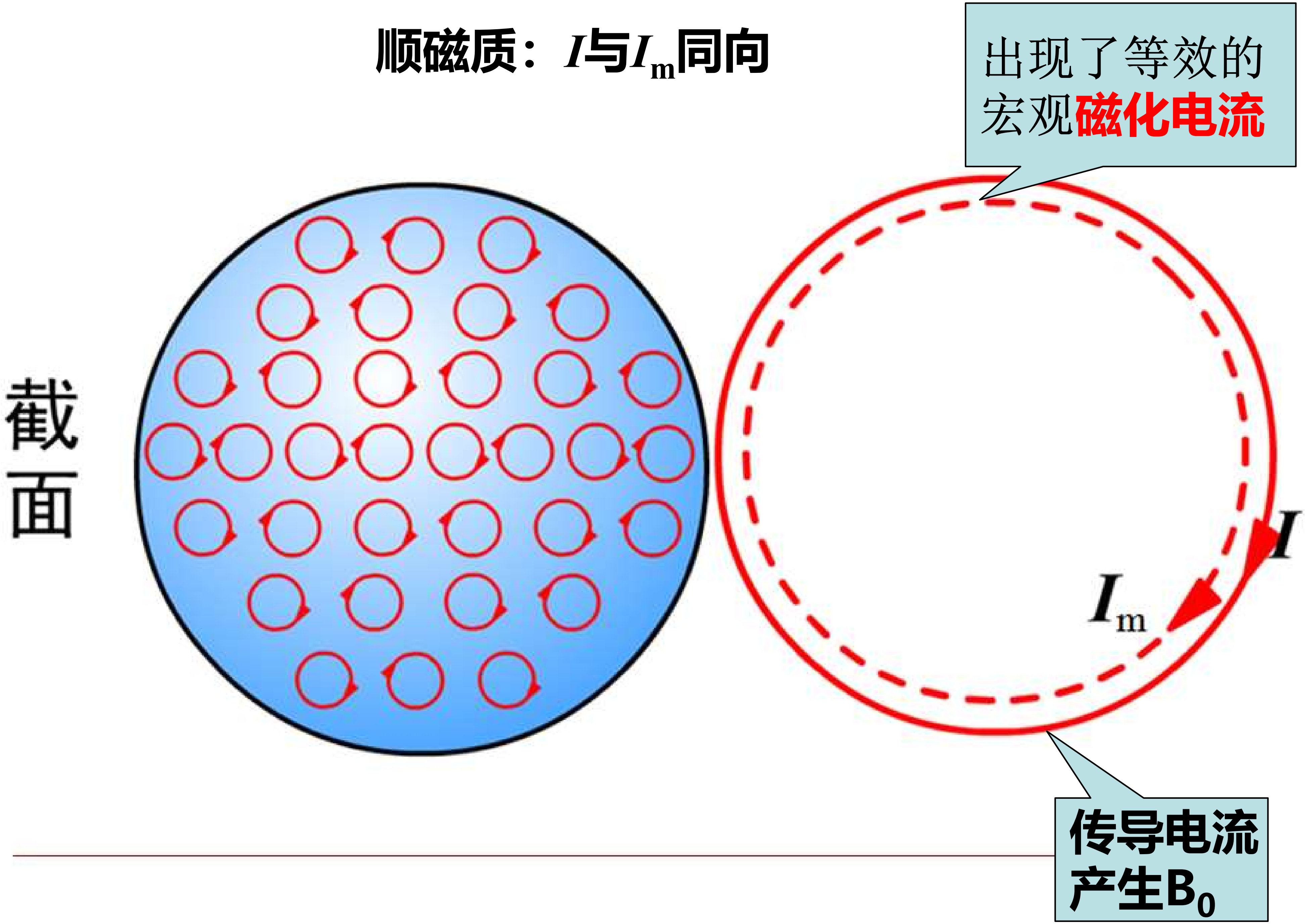
顺磁质的磁化



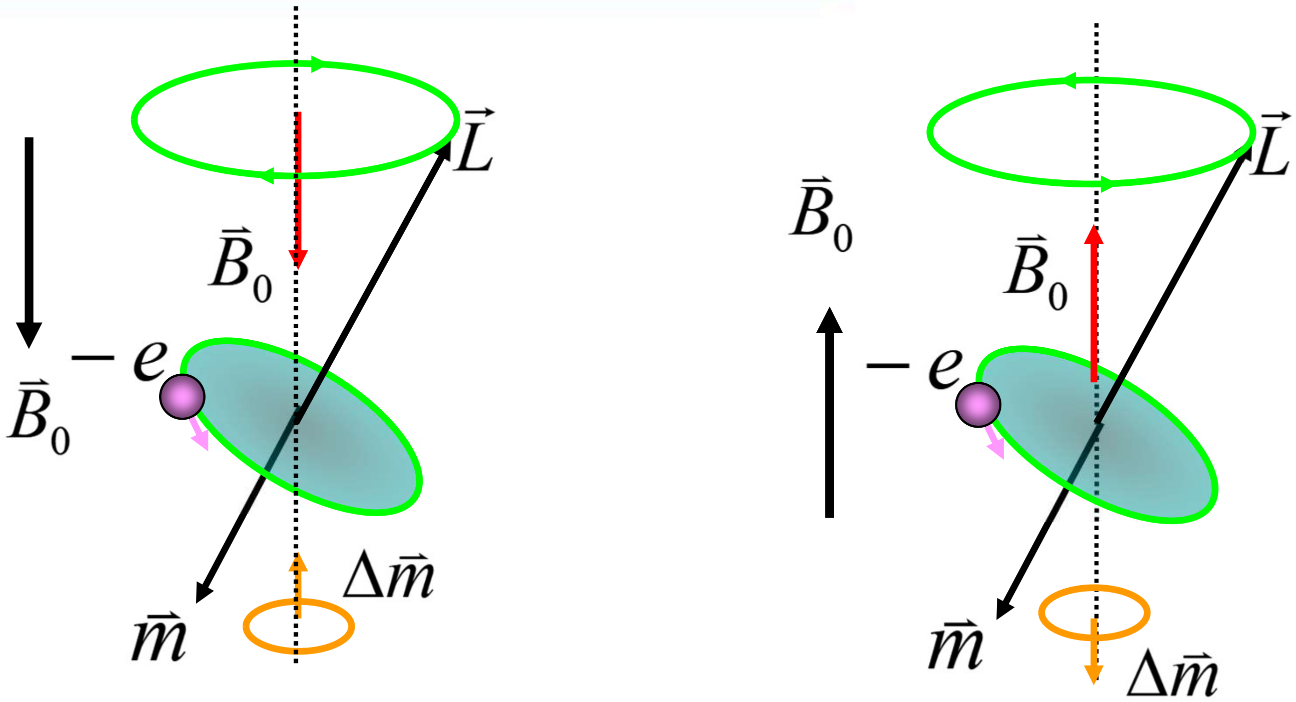
无外磁场

有外磁场

顺磁质：I与I_m同向



抗磁质的磁化机理　任何物质都具有抗磁性

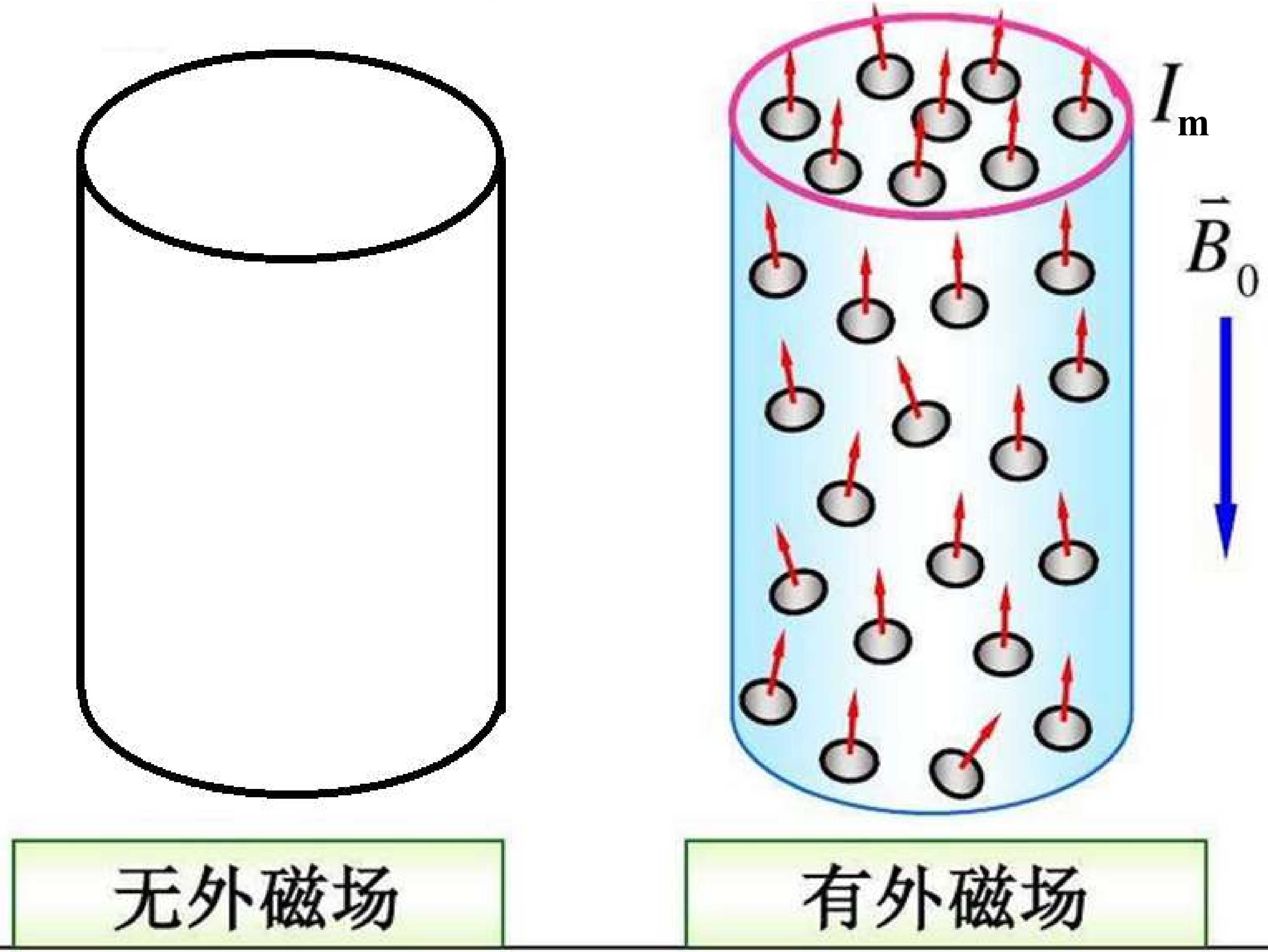


进动方向　逆时针　顺时针
(从上朝下)

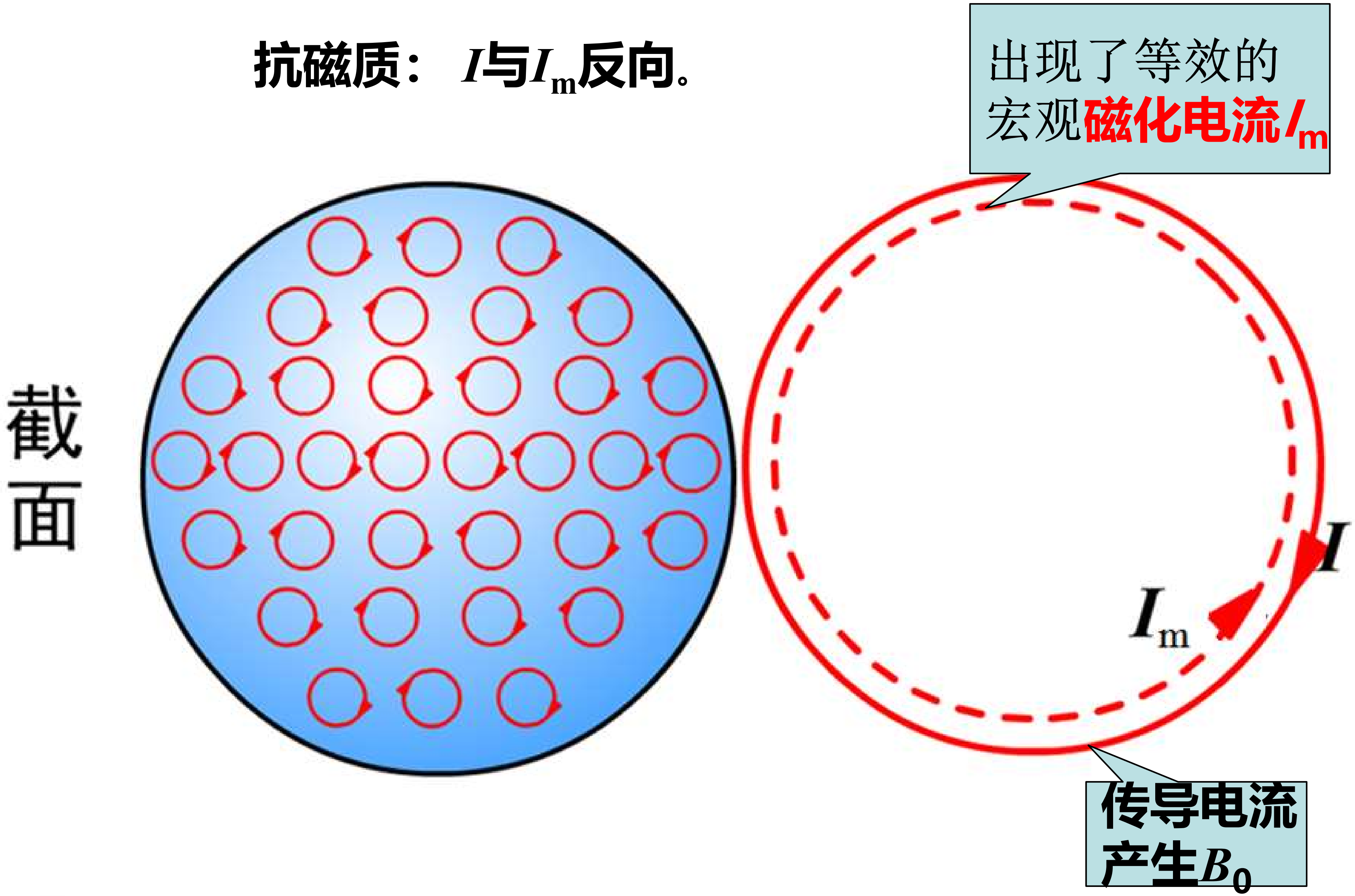
$\Delta\vec{m}$ 与 $\vec{B}_0$ 方向相反

028附加磁矩

抗磁质的磁化



抗磁质： I与I_m反向。

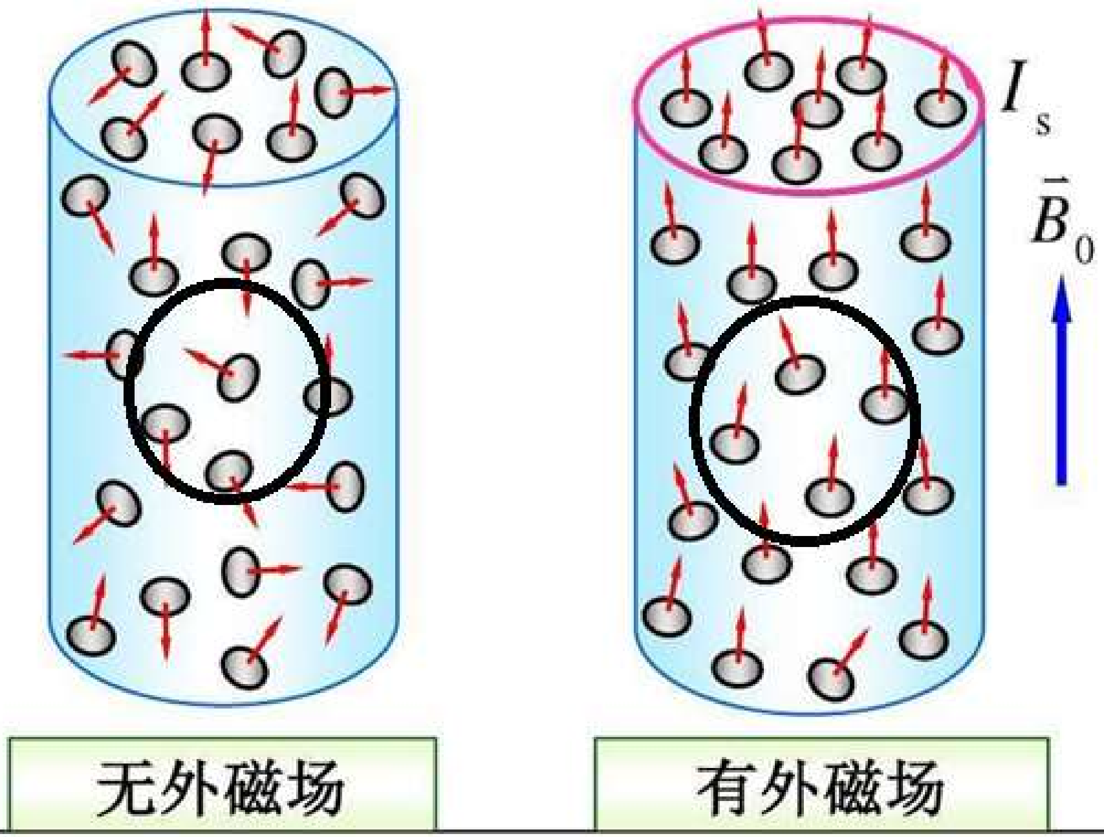


14.8.3 磁化状态的描述——磁化强度

1.磁化强度：磁介质内某点附近单位体积内分子磁矩的矢量和。

$$\vec{M} = \frac{\sum \vec{m}_{分子}}{\Delta V} \qquad \vec{m}_{分子} = IS\vec{n}$$

$\vec{M} = 0$



$\vec{M} \neq 0$

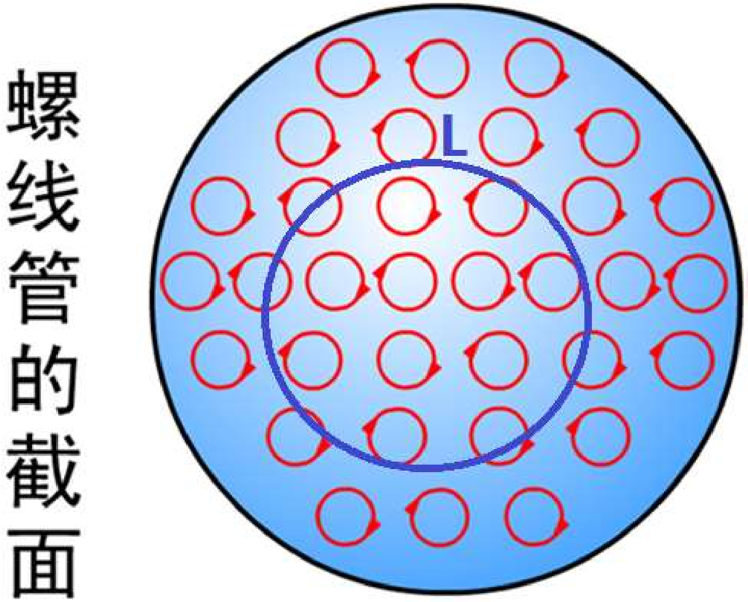
说明

（1）磁化后如果磁介质中各点的都相同，则该介质是被均匀磁化的。

（2）对顺磁质，$\boldsymbol{M}$的方向与外磁场的方向相同；对抗磁质， $\boldsymbol{M}$的方向与外磁场方向相反。

2. 磁化电流与磁化强度的关系

以长直螺线管中充满各向同性的均匀磁介质为例



$$\oint_L \vec{M} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = \sum_{L内} I_{\mathrm{m}}$$

磁化强度沿任意闭合回路L的线积分，等于该回路L所包围的磁化电流的代数和。

14.8.4 有磁介质时的磁场高斯定理和安培环路定理

1. 有磁介质存在时的恒定磁场

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

2. 有磁介质时的磁场高斯定理

传导电流和磁化电流所激发磁场的磁感都是闭合曲线

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

3. 有磁介质时的安培环路定理

空间任一点的磁场都是由传导电流和磁化电流共同激发的，恒定磁场的安培环路定理应该改写成

$$\oint_L \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = \mu_0 \sum_{L内} (I_{传} + I_m)$$

一般情况下，磁化电流的分布未知

$$\oint_L \frac{\vec{B}}{\mu_0} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = \sum_{L内} I_{传} + \oint_L \vec{M} \cdot \mathrm{d}\vec{l}$$

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

引入一个描述磁场的辅助性物理量——磁场强度

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

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

$\vec{H}$ **沿所选闭合路径的线积分等于闭合路径所包围的传导电流的代数和**

$\vec{H}$ **的安培环路定理**

对于各向同性的顺磁质和抗磁质，磁介质中任一点的磁化强度与磁场强度成正比.

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

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

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

H环流 ⟺ 传导电流

电位移通量 ⟺ 自由电荷

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

(避开磁化电流)

$$\oint_S \vec{D}\cdot \mathrm{d}\vec{S} = \sum_i q_{0i}$$

(避开极化电荷，对称性)

$$\oint_L \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum_L I_i$$

$$\oint_S \vec{E}\cdot \mathrm{d}\vec{S} = \frac{1}{\varepsilon_0}\left(\sum_i q_{0i} + q'\right)$$

B环流 ⟺ 所有电流

电通量 ⟺ 所有电荷

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

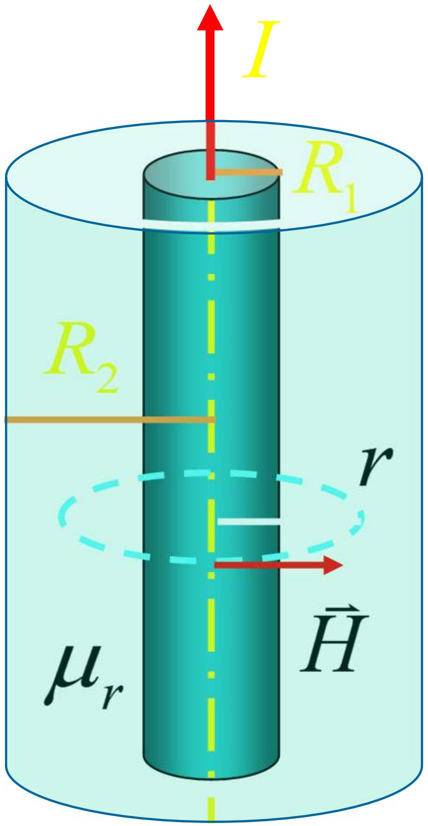
求 磁介质中的磁场强度和磁感应强度

解 (1)根据磁介质的安培环路定理

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

$$H = \frac{I}{2\pi r}$$

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



小结

- **顺磁质** $\mu_r > 1$
- **抗磁质** $\mu_r < 1$
- **铁磁质** $\mu_r >> 1$

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

各向同性均匀磁介质中 $\vec{B} = \mu\vec{H} = \mu_0\mu_r\vec{H}$