

大学基础物理学

University Fundamental Physics

电子工程系@华东师范大学

李波

2019年



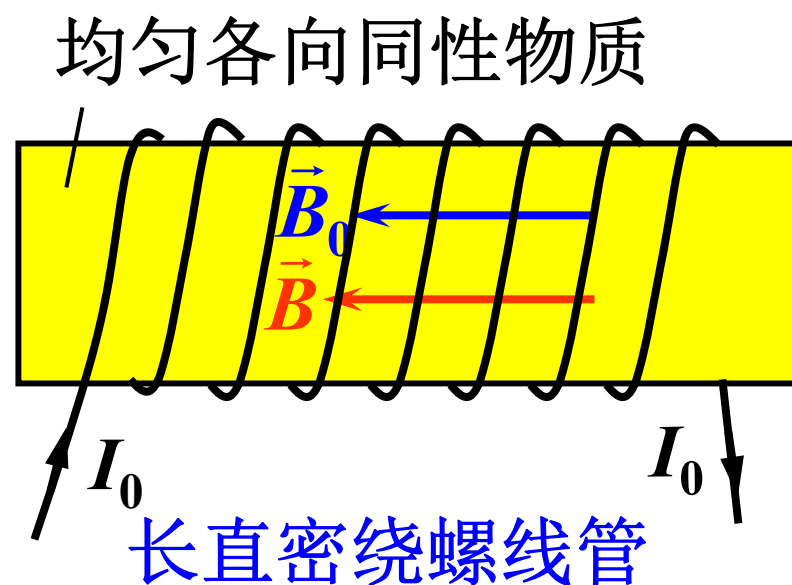
§ 6.1 物质对磁场的影响

均匀各向同性介质**充**
满磁场所在空间时，

有：

$$\vec{B} = \mu_r \vec{B}_0$$

μ_r — 相对磁导率
(relative permeability)



$$\vec{E} = \vec{E}_0 / \epsilon_r$$



物质的分类:

$$\vec{B} = \mu_r \vec{B}_0$$

- 抗磁质 (**diamagnetic substance**) $\mu_r < 1$

如: Cu, Ag, Cl₂, H₂ ... Cu ~ 1 - 1 × 10⁻⁵

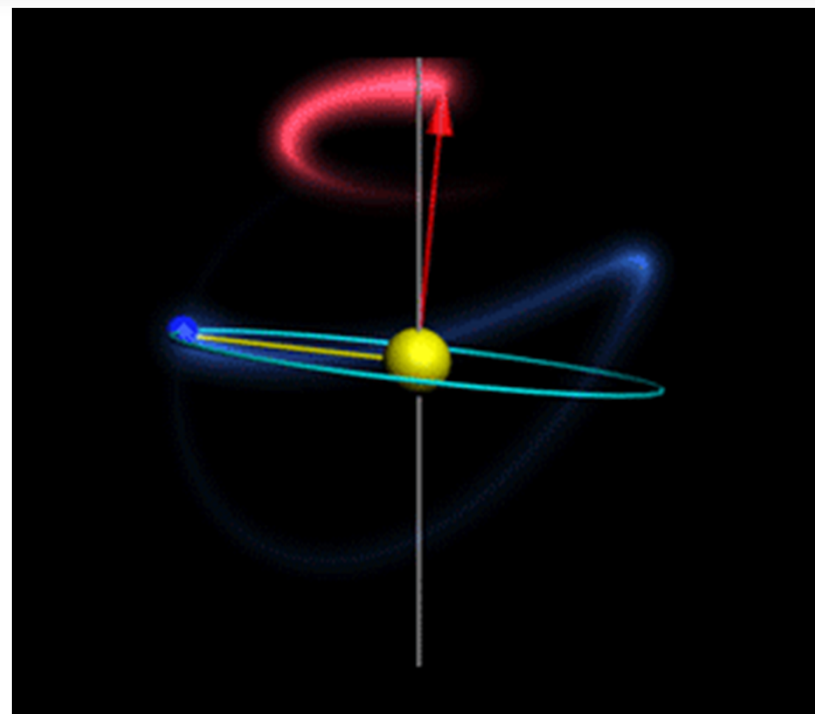
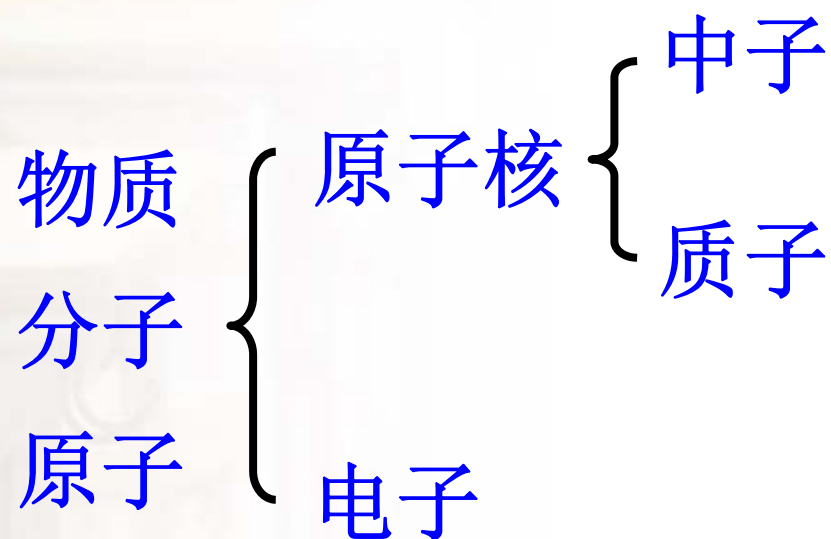
- 顺磁质 (**paramagnetic substance**) $\mu_r > 1$

如: Mn, Al, O₂, N₂ ... O₂ ~ 1 + 767 × 10⁻⁵

- ▲ 铁磁质 (**ferromagnetic substance**) $\mu_r \gg 1$

如: Fe, Co, Ni ... Fe ~ 5000

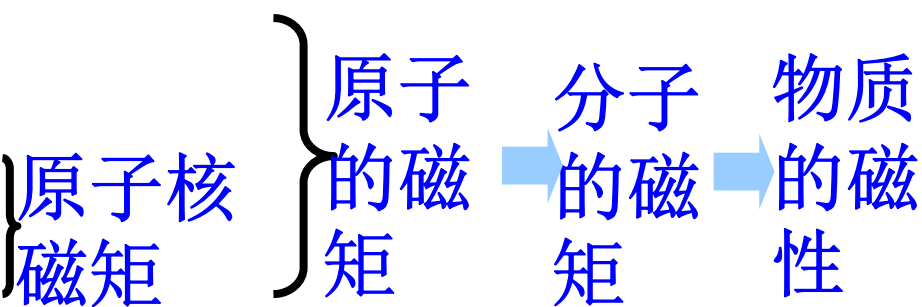
§ 6.2 原子的磁矩



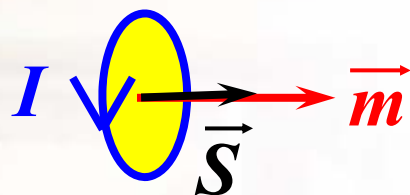
电子的轨道磁矩和自旋磁矩

质子的轨道磁矩和自旋磁矩

中子自旋磁矩



磁矩 对圆电流圈（或任意平面电流线圈）：



$$\mathbf{m} = I\mathbf{S}e_n$$

载流线圈的磁偶极矩(磁矩)

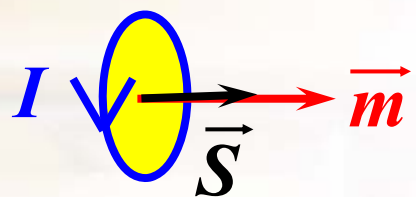
磁力矩

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

磁矩的势能为 $W_m = -mB \cos \theta = -\mathbf{m} \cdot \mathbf{B}$

不只是载流线圈有磁矩，原子、电子、质子等微观粒子也有磁矩。磁矩是粒子本身的特征之一。

电子的磁矩



电子的轨道运动电流 $I = e/T = e \cdot \frac{v}{2\pi r}$

轨道磁矩 $m = IS = \frac{ev}{2\pi r} \cdot \pi r^2 = \frac{evr}{2}$

电子轨道磁矩与轨道角动量的关系: $m = \frac{e}{2m_e} L$

(电子轨道运动的角动量 $L = r \times p = m_e v r$)

一原子内所有电子 **总轨道磁矩** 和 **总角动量** 也成立

量子力学: 总轨道角动量是量子化的

$$L = m_l \hbar, \quad m_l = 0, 1, 2, \dots$$



电子自旋磁矩和自旋角动量 \vec{S} 的关系:

$$m_B = \frac{e}{m_e} S = \frac{e}{2m_e} \hbar = 9.27 \times 10^{-24} \text{ J/T}$$

玻尔磁子

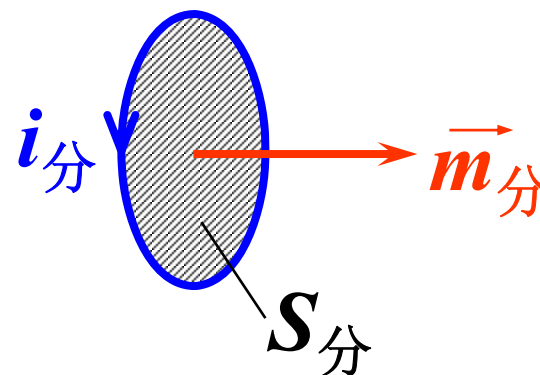
分子磁矩和分子电流

电子轨道磁矩
 电子自旋磁矩
 原子核的磁矩

} 分子磁矩 $\vec{m}_{\text{分}}$ $\xrightarrow{\text{等效}}$ 分子电流 $i_{\text{分}}$
 (molecular magnetic moment) (molecular current)

分子磁矩 $\vec{m}_{\text{分}}$

{ $=0$
 $\neq 0$ 固有磁矩





物质的磁性

分子磁矩 $\vec{m}_{\text{分}}$

=0 无固有磁距

≠0 固有磁距

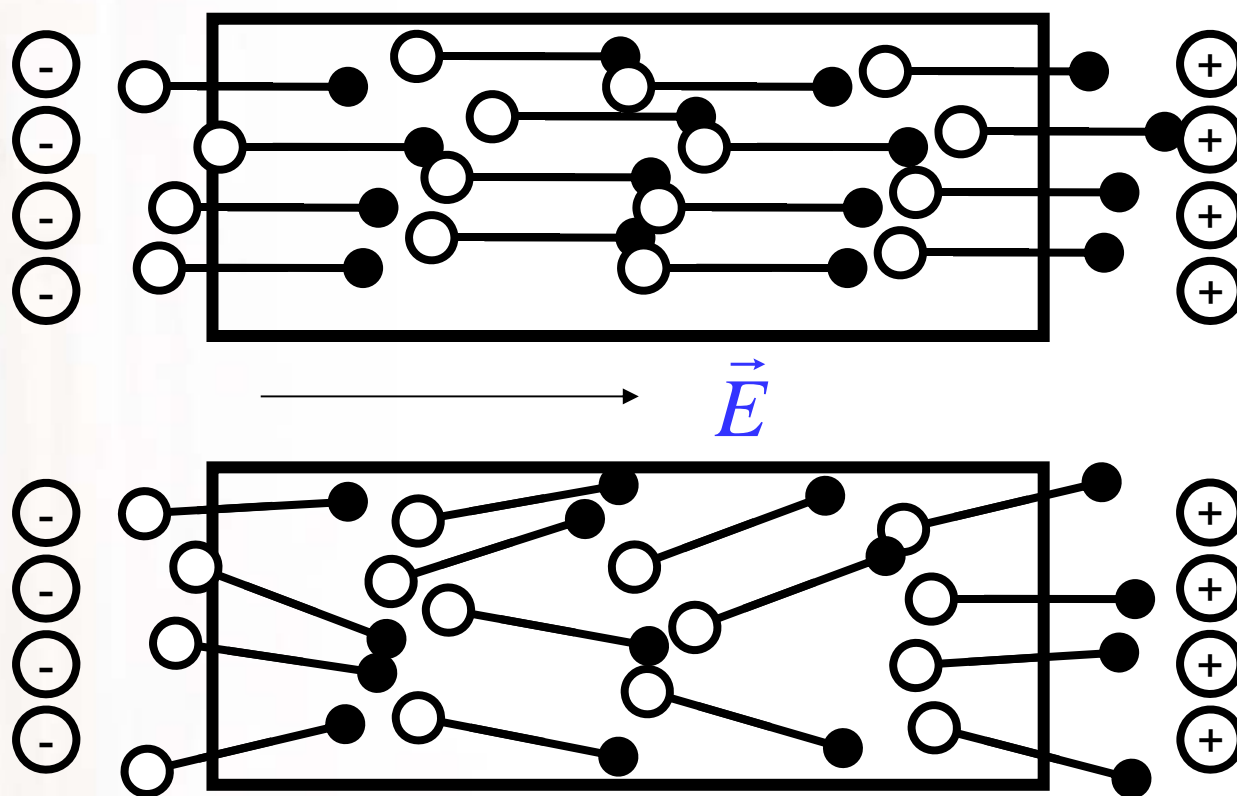
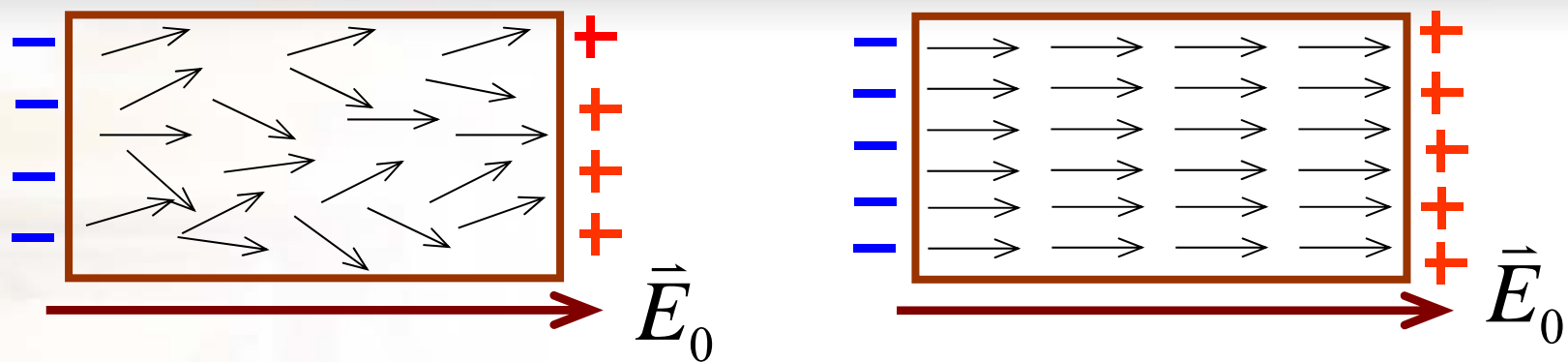
→ ≠0 固有磁距，
并且形成磁畴

物质的磁性

抗磁质

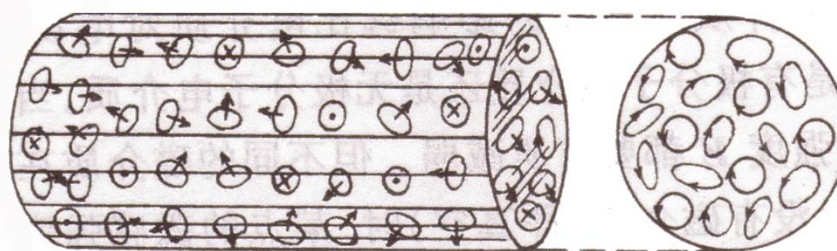
顺磁质

铁磁质

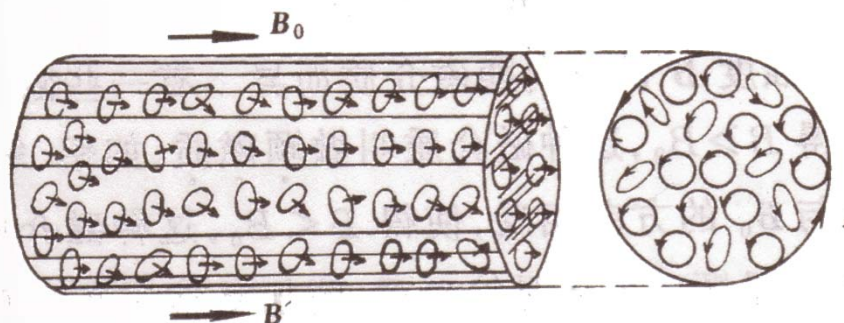


分子磁矩 $\vec{m}_{\text{分}}$

$=0$ 无固有磁距	$\neq 0$ 固有磁距
抗磁质	顺磁质



(a) 无外磁场时



(b) 有外磁场时

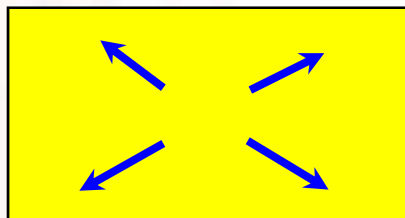
§ 6.3 物质的磁化

磁化 (magnetization)：在磁场作用下，物质出现磁性或磁性发生变化的现象。

* 顺磁质的磁化

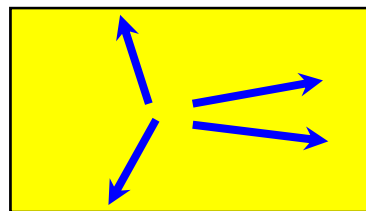
顺磁质分子有**固有的分子磁矩**（主要是电子轨道和自旋磁矩的贡献）， $m_{\text{分}} \sim 10^{-23} \text{A} \cdot \text{m}^2$ 。

$$\vec{B}_0 = 0$$



热运动使 $\vec{m}_{\text{分}}$ 完全混乱，不显磁性。

$$\vec{B}_0 \neq 0 \longrightarrow$$

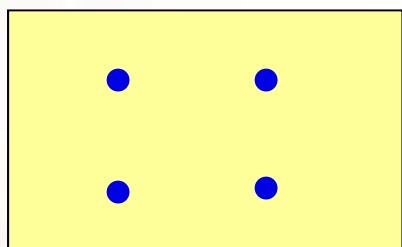


\vec{B}_0 使 $\vec{m}_{\text{分}}$ 排列趋于 \vec{B}_0 方向，显现磁性。

* 抗磁质的磁化

抗磁质的分子固有磁矩为 0 。

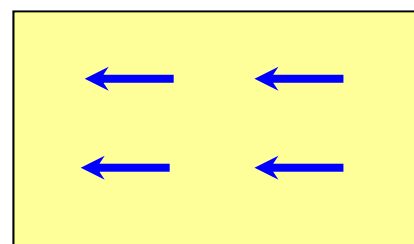
$$\vec{B}_0 = 0$$



$$\vec{m}_{\text{分}} = 0,$$

不显磁性

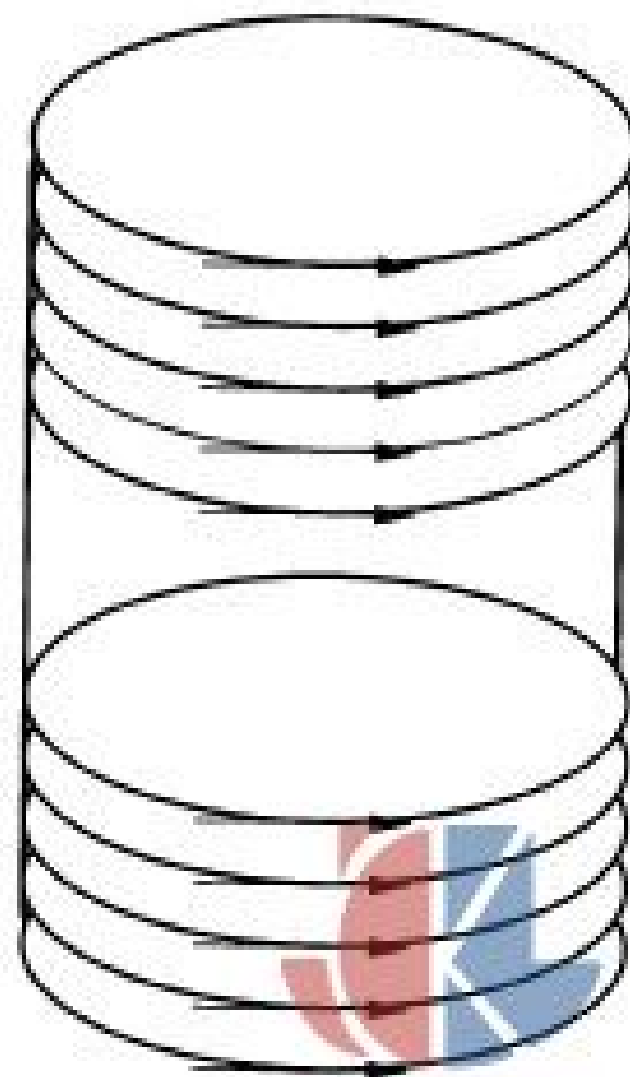
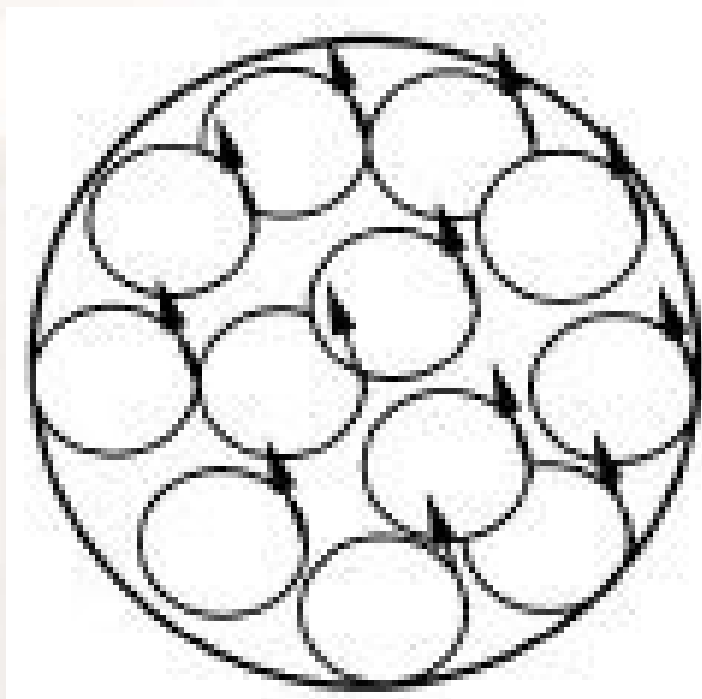
$$\vec{B}_0 \longrightarrow$$



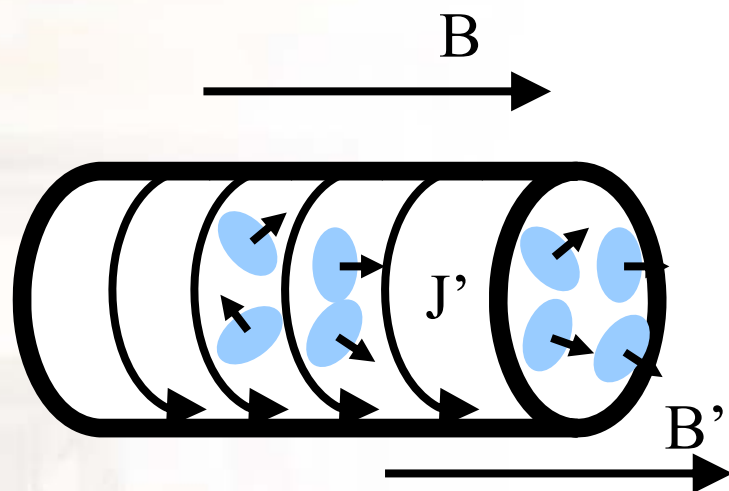
$$\text{附加磁矩 } \Delta \vec{m}_{\text{分}} \parallel \vec{B}_0$$

显示抗磁性

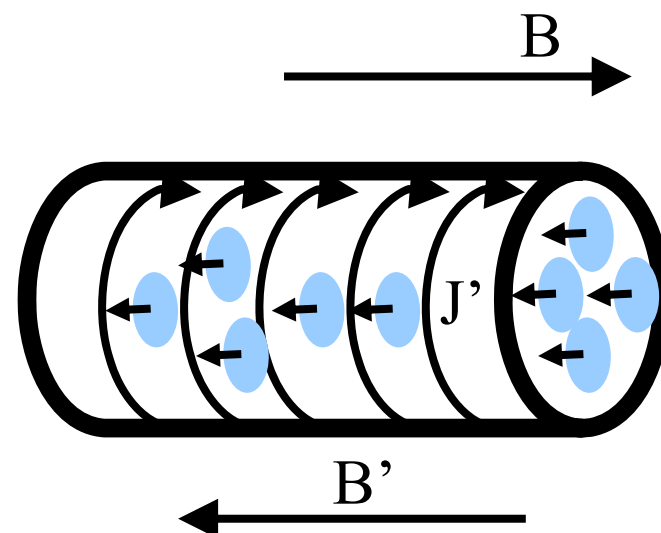
感生磁矩 \ll 固有磁矩



* 磁化电流（束缚电流）



顺磁质的磁化



抗磁质的磁化

顺磁质($\mu > 1$) $j' > 0$ 面束缚电流方向和自由电流方向相同

抗磁质($\mu < 1$) $j' < 0$ 面束缚电流方向和自由电流方向相反

铁磁质 $\mu \gg 1$ $j' > 0$ 面束缚电流方向和自由电流方向相同, 而且面束缚电流比自由电流大很多

谢谢！

