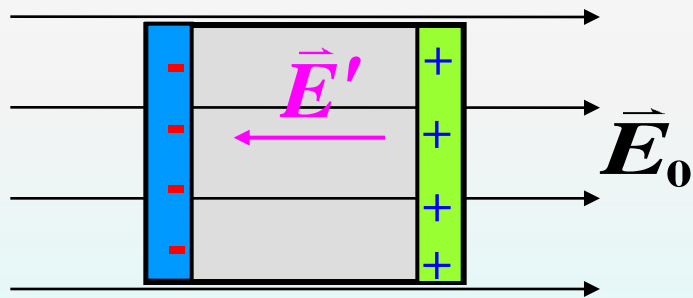


9.7 磁介质及磁化微观机制

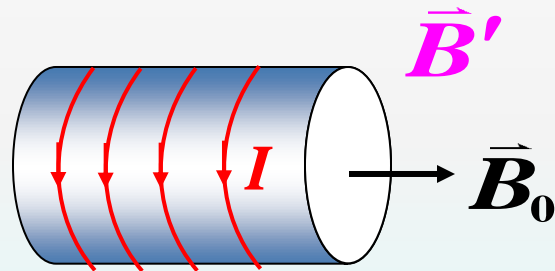
9.7 磁介质及磁化微观机制

一、磁介质

1. 磁介质：是经磁化后能够影响磁场分布的物质。



$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}' = \frac{\vec{E}_0}{\epsilon_r} < \vec{E}_0$$



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

μ_r —相对磁导率

2. 磁介质的分类：（根据 \vec{B}' or μ_r 的不同）

- 顺磁质 (*paramagnetic substance*) 弱磁质

$\vec{B}' \uparrow \uparrow \vec{B}_0$, 且 $B' \ll B_0$, $\mu_r > 1$ 如: Mn , Al, O₂...

- 抗磁质 (*diamagnetic substance*) 弱磁质

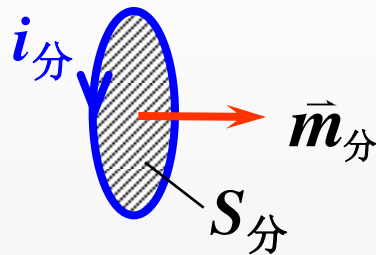
$\vec{B}' \uparrow \downarrow \vec{B}_0$, 且 $B' \ll B_0$, $\mu_r < 1$ 如: Cu, Ag, H₂...

- 铁磁质 (*ferromagnetic substance*) 强磁质

$\vec{B}' \uparrow \uparrow \vec{B}_0$, 且 $B' \gg B_0$, $\mu_r \gg 1$ 如: Fe, Co, Ni ...

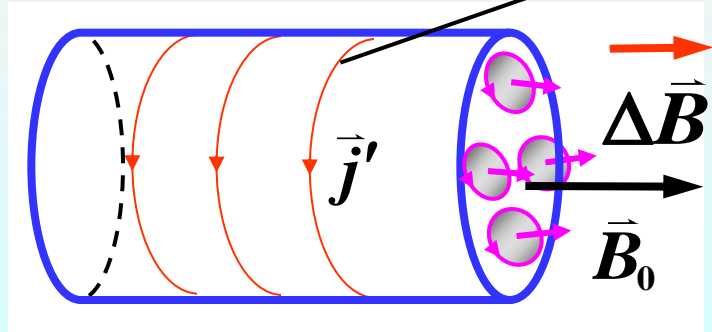
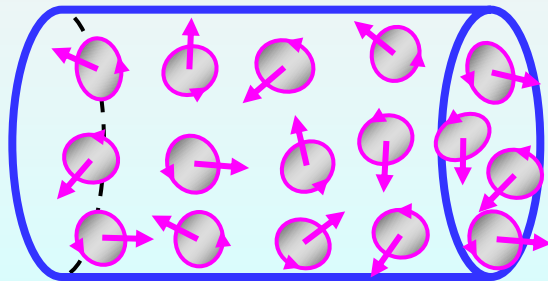
二、顺（抗）磁质磁化的微观机制

1. 顺磁质 特点：分子具有固有的分子磁矩
(主要是电子轨道和自旋磁矩的贡献)

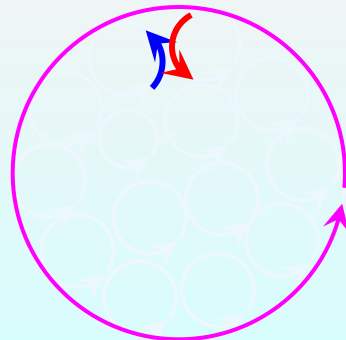


$\vec{B}_0 = 0$ 热运动使 $\vec{m}_{\text{分}}$ 完全混乱，不显磁性。

$\vec{B}_0 \neq 0$ 固有磁矩趋向外磁场方向

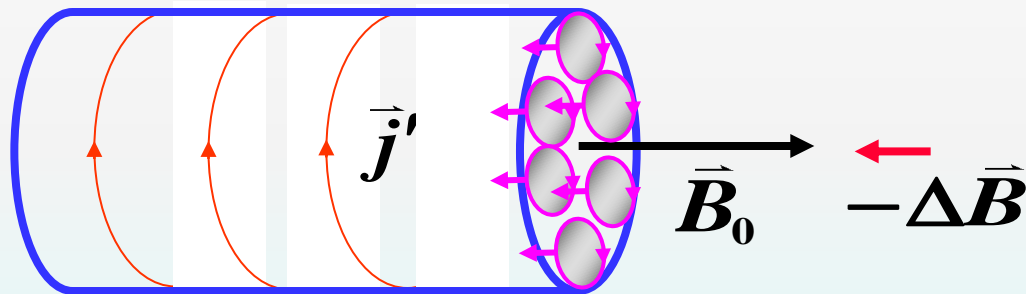


磁化(束缚)电流



2. 抗磁质

特点：分子固有磁矩为零。但是，电子磁矩在外磁场力矩作用下进动产生和外磁场反向的感生磁矩。



出现反向的表面束缚电流→减弱磁场

抗磁质特点：分子固有磁矩为零

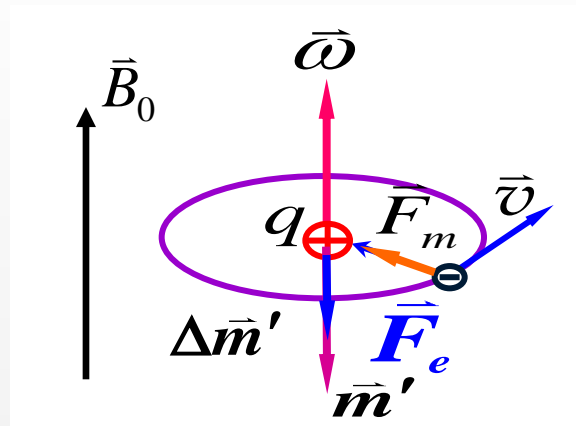
未加 \vec{B}_0 前 $\vec{F}_{\text{向心}} = \vec{F}_e$

加入 \vec{B}_0 后 $\vec{F}_{\text{向心}} = \vec{F}_e + \vec{F}_m$

$\because \vec{F}_e$ 与 \vec{F}_m 同向 $\therefore F_{\text{向心}} = F_e + F_m$

又 $\because F_{\text{向心}} = m \frac{v^2}{r}$ $F_{\text{向心}} \uparrow \Rightarrow v \uparrow \Rightarrow$ 等效 $i \uparrow \Rightarrow$ 磁矩 $\vec{m}' \uparrow$

$\Delta \vec{m}'$ 与 \vec{m}' 同向，即与 \vec{B}_0 反向



思考

如果速度方向相反，情况如何？

未加 \vec{B}_0 前 $\vec{F}_{\text{向心}} = \vec{F}_e$

加入 \vec{B}_0 后 $\vec{F}_{\text{向心}} = \vec{F}_e + \vec{F}_m$

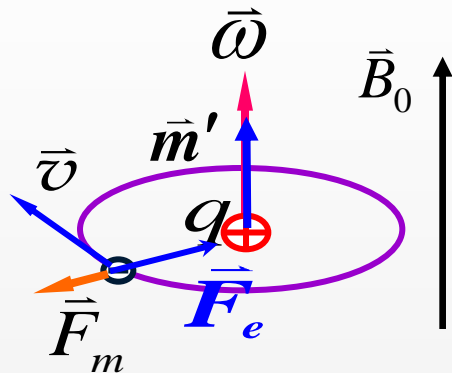
$\because \vec{F}_e$ 与 \vec{F}_m 反向 $\therefore F_{\text{向心}} = F_e - F_m$

又 $\because F_{\text{向心}} = m \frac{v^2}{r}$

$F_{\text{向心}} \downarrow \Rightarrow v \downarrow \Rightarrow \text{等效 } i \downarrow \Rightarrow \text{磁矩 } \vec{m}' \downarrow$

$\Delta \vec{m}'$ 与 \vec{m}' 反向，即与 \vec{B}_0 反向

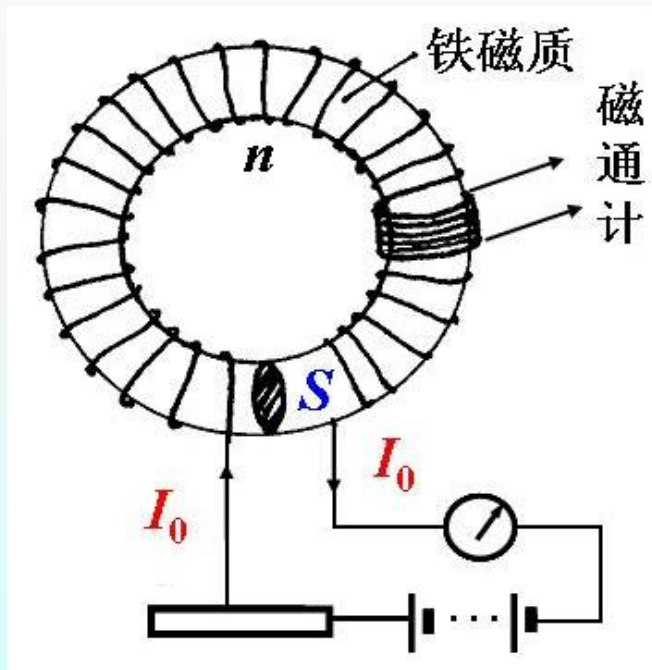
(结果是一样的)



说明： 这种效应在顺磁质中也有，不过与分子固有磁矩的转向效应相比弱得多。

三、铁磁质

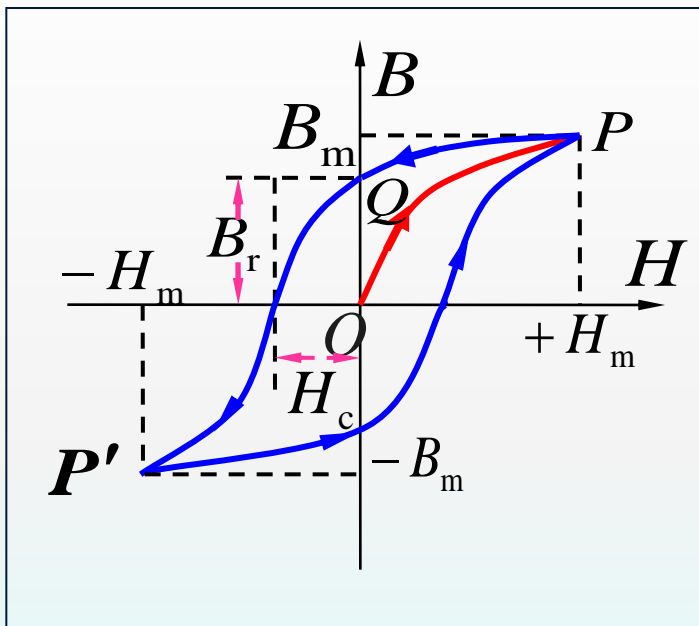
1. 磁滞回线 (*hysteresis loop*)



测 $\Phi \rightarrow B = \frac{\Phi}{S}$

测 $I_0 \rightarrow H = nI_0$

由此可得到 $B \sim H$ 曲线:



磁滞回线

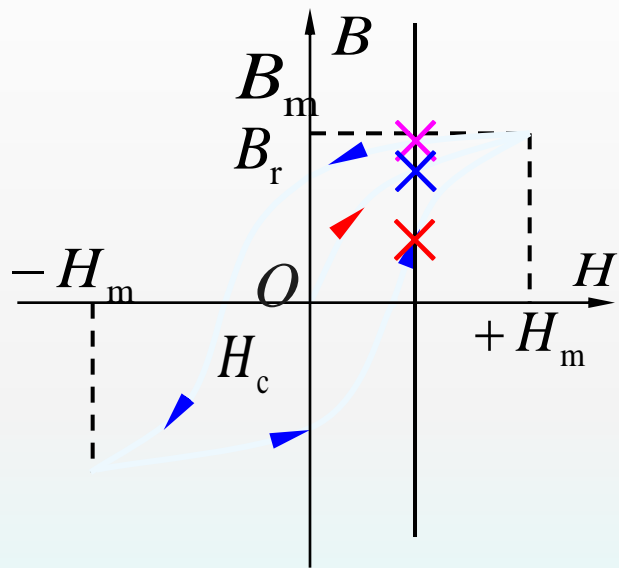
反向 $I_0 \uparrow \rightarrow$ 反向 $H \uparrow \rightarrow$ 反向 $B \uparrow$

$$\Rightarrow -H_m \quad \Rightarrow B = -B_m$$

反向 $I_0 \downarrow \rightarrow$ 反向 $H \downarrow \rightarrow$ 反向 $B \downarrow$

仍不按原路返回

当 $I_0 = 0, H = 0$ 时 $B = -B_r$



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

“**磁滞损耗**”正比于 **$B \sim H$ 回线所围的面积**。

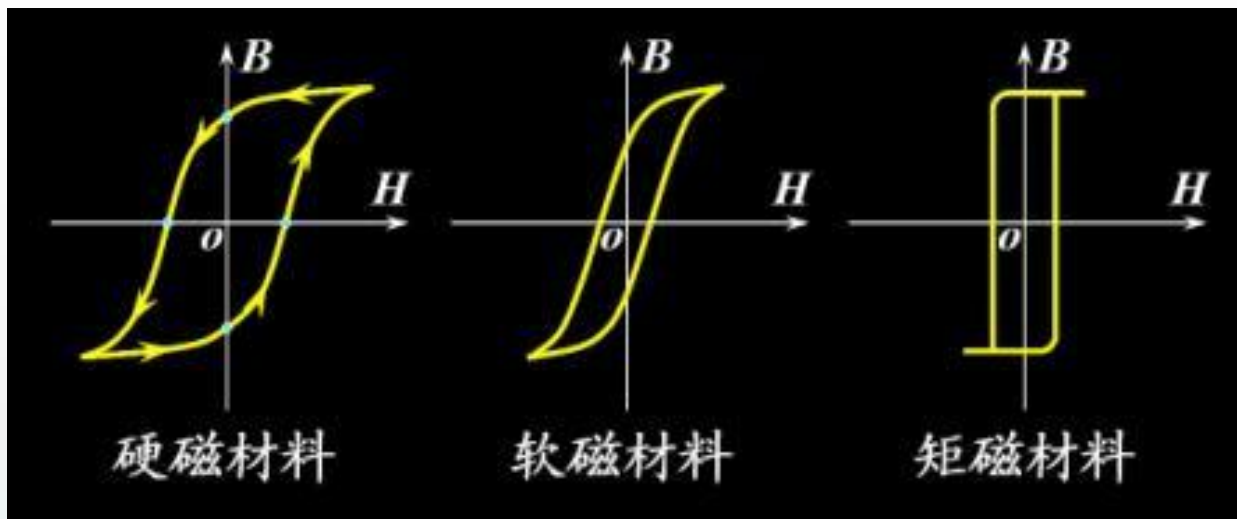
（证明留给同学课后思考）

铁磁质的性质：

高 μ 值、非线性、非单值性、磁滞性

2. 分类（按矫顽力的大小分）

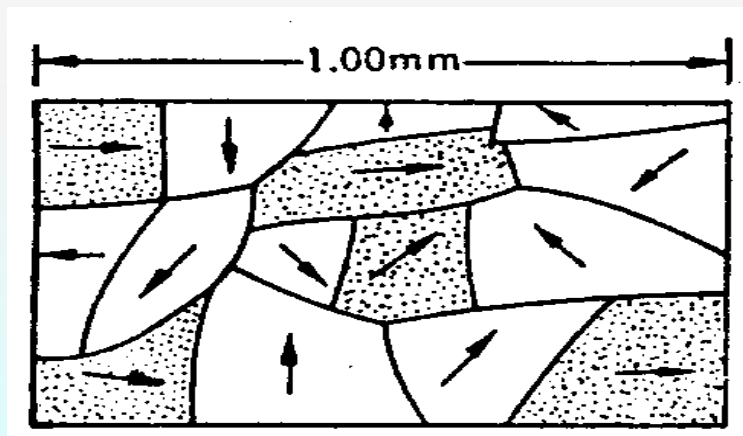
- 1) 硬磁材料 **特点：** 一般 H_c 较大， B_r 也大，磁滞显著
适合制作永磁体
- 2) 软磁材料 **特点：** 一般 H_c 较小， B_r 也小，磁滞损耗少
适于制作交流电磁铁、变压器铁芯等。
- 3) 矩磁材料 **特点：** 磁滞回线像矩形，有两个稳态
适于做计算机的记忆原件。



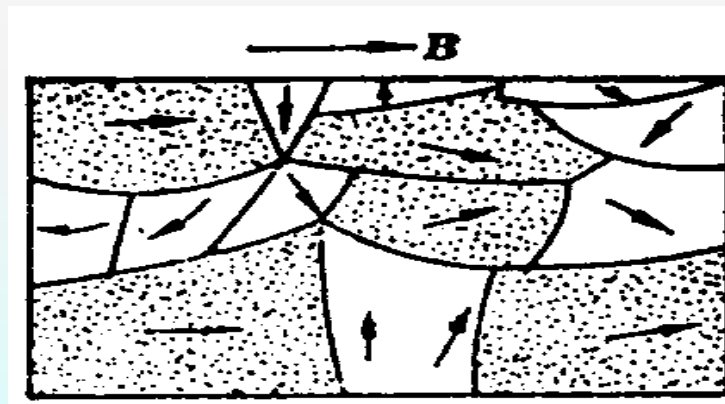
三种铁磁材料磁滞回线的比较

3. 铁磁质磁化的微观机制

铁磁质中起主要作用的是电子的自旋磁矩。各电子的自旋磁矩靠交换偶合作用使方向一致，从而形成**自发的均匀磁化小区域**——**磁畴**。



未加磁场



在磁场 B 中

主要磁化过程为：

壁移（大角度→小角度）

转向（磁畴方向与外场方向一致）

磁滞的解释：掺杂、内应力等对磁畴的钉扎作用。“畴壁位移”和“磁矩取向”过程不可逆。

居里点：温度 $T > T_C$ → 磁畴瓦解，铁磁质 → 顺磁质。

磁致伸缩：畴壁位移和磁矩取向，改变晶格间距（体积）