

第十一章

§11-1 磁介质对磁场的影响

§11-2 铁磁质

§ 11-1 磁介质对磁场的影响

一 磁介质对磁场的影响

若以 B_0 和 \mathbf{B} 分别表示长直螺线管内为真空和充满磁介质时的磁感应强度，则

$$\vec{B} = \mu_r \vec{B}_0 \quad \mu_r \text{叫做磁介质的相对磁导率}$$

顺磁质 $\mu_r - 1 \square 10^{-4} \sim 10^{-5}$

大多数玻璃，锰，铝，铁盐与镍盐的溶液等；

抗磁质 $1 - \mu_r \square 10^{-6} \sim 10^{-7}$

铜，硫，铋，氢气，水及惰性气体等；

铁磁质 $\mu_r - 1 \square 10 \sim 10^6, \quad \mu_r >> 1$

铁，钴，镍及其合金，铁氧体等。

二 磁介质的磁化

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

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
paramagnet

$$B > B_0 \quad (\text{铝、氧、锰等})$$

抗磁质
diamagnetic

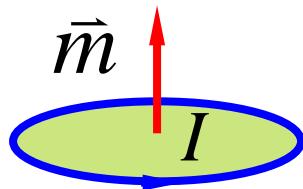
$$B < B_0 \quad (\text{铜、铋、氢等})$$

铁磁质
ferromagnetics

$$B \gg B_0 \quad (\text{铁、钴、镍等})$$

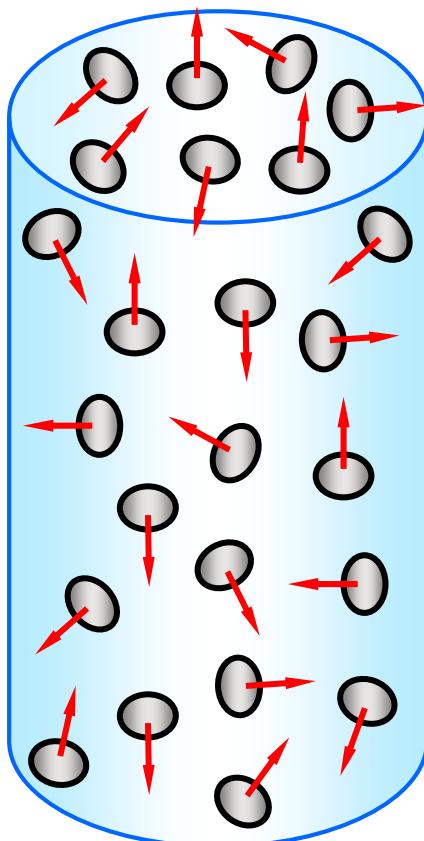
弱磁质

分子圆电流和磁矩

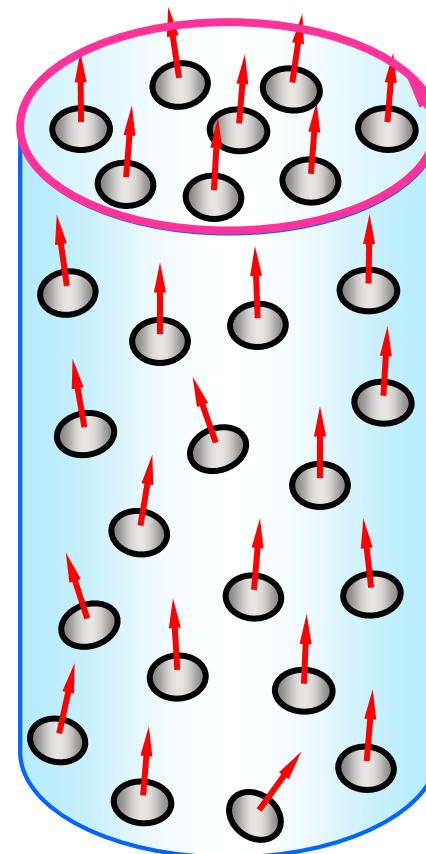


$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}'$$

顺磁质的磁化



无外磁场

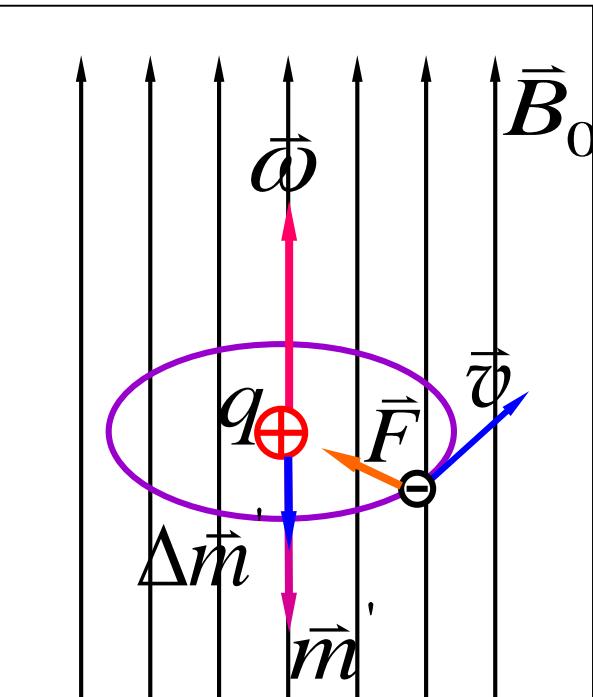


有外磁场

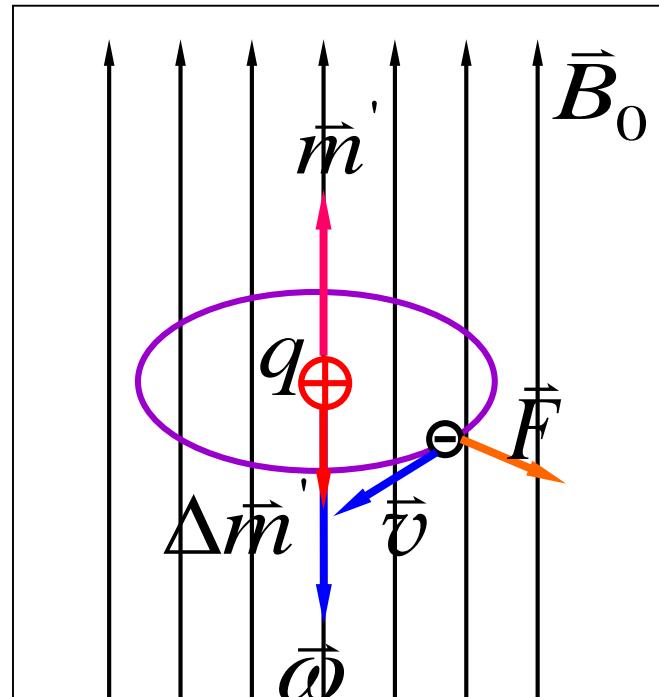
无外磁场时抗磁质分子磁矩为零

$$\vec{m} = 0$$

抗磁质的磁化



$\vec{\omega}, \vec{B}_0$ 同向时



$\vec{\omega}, \vec{B}_0$ 反向时

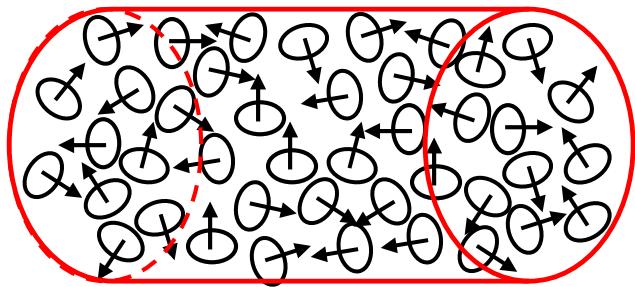
$$\text{抗磁质内磁场 } B = B_0 - B'$$

顺磁质内磁场

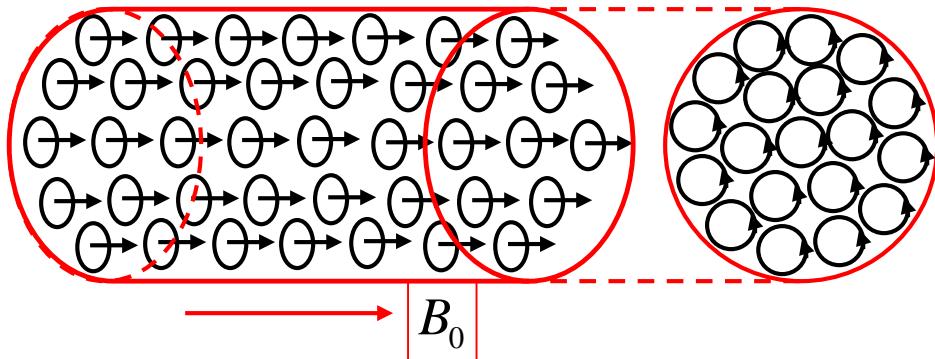
$$B = B_0 + B'$$

抗磁质内磁场

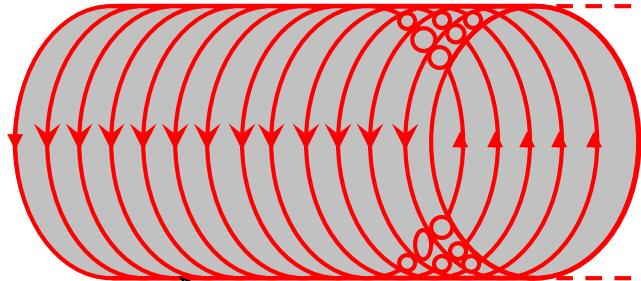
$$B = B_0 - B'$$



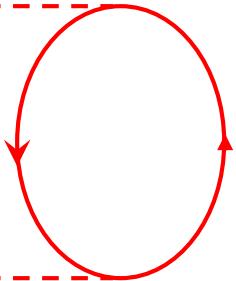
无外磁场时，
排列杂乱无章



外磁场作用
下规则排列



磁化电流



介质被磁化

三 磁介质中的安培环路定理

$$\oint_l \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int_{BC} \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_i$$

$$= \mu_0 (\sum I + \sum I')$$

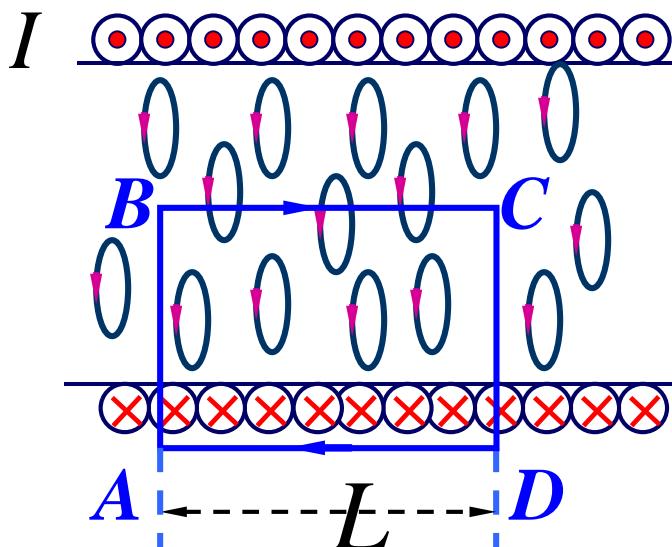
传导电流

磁化电流

I' 是未知量，难以确定 B

在充入电介质前：

$$\oint_l \vec{B}_0 \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum I_0$$



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

$$\oint_l \frac{\vec{B}_0}{\mu_0 \mu_r} \cdot d\vec{l} = \sum I_0$$

$$\text{令 } \vec{H} = \vec{B} / \mu_0 \mu_r = \vec{B} / \mu$$

磁场强度矢量 \vec{H}

磁介质磁导率 μ

磁介质中的安培环路定理

$$\oint_l \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum I_0$$

磁场强度的环流，等于穿过环路面积的传导电流的代数和。

真空中 $\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0}$ 或 $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$

SI单位制：1 安培/米 $= 4\pi \times 10^{-3}$ 奥斯特

【例】 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

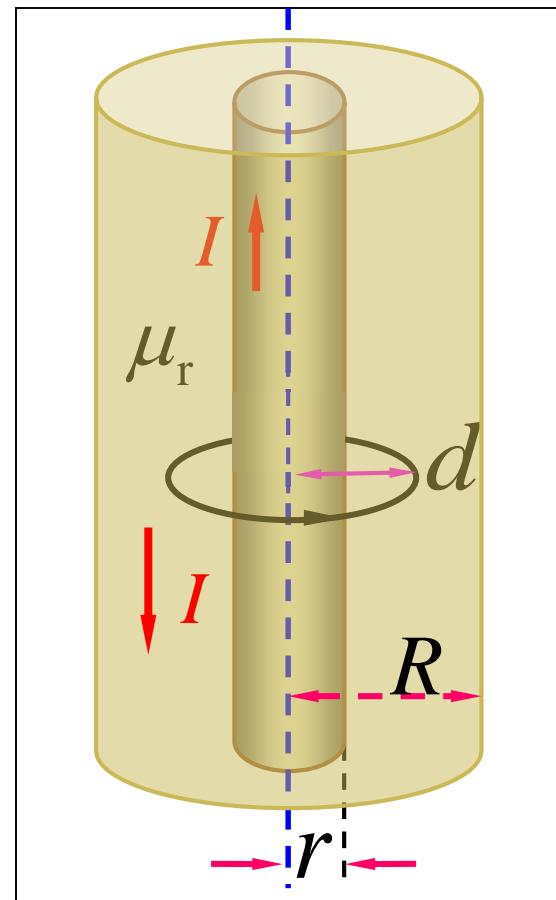
$$r < d < R$$

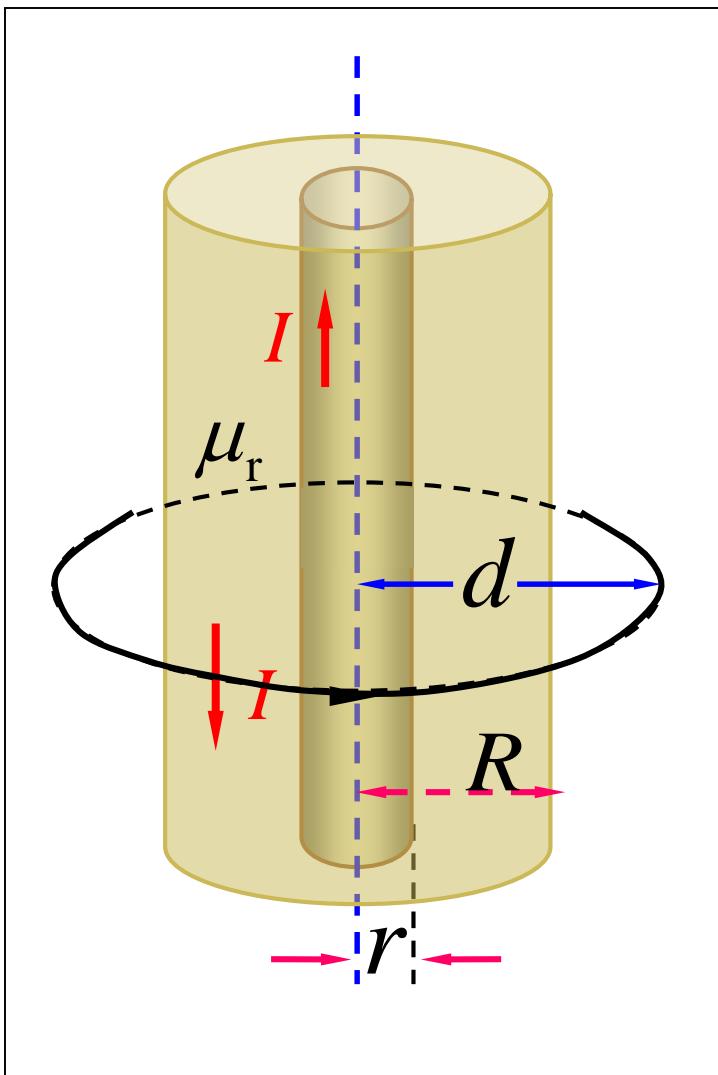
$$\oint_l \vec{H} \cdot d\vec{l} = I$$

$$2\pi d H = I$$

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

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





$$r < d < R \quad B = \frac{\mu_0 \mu_r I}{2\pi d}$$

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

$$2\pi dH = 0, \quad H = 0$$

$$B = \mu H = 0$$

同理可求 $d < r, \quad B = 0$

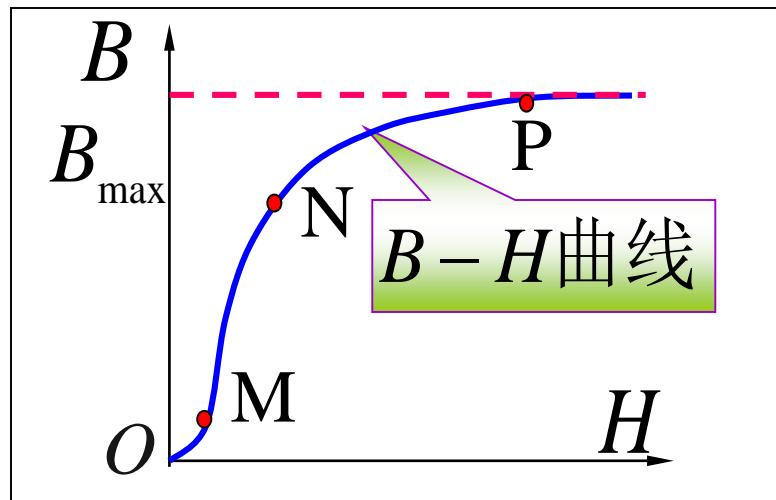
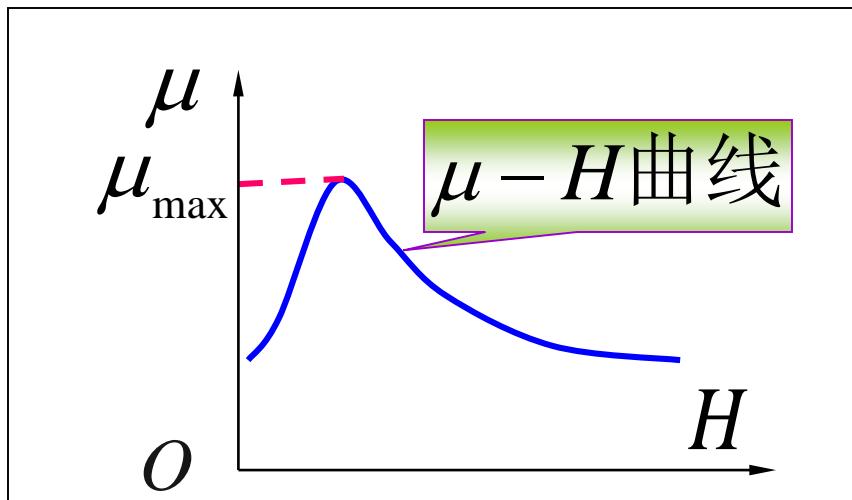
§ 11-2 铁磁质

一 铁磁质的磁化特性

- 1) 附加磁场 \vec{B}' 很大, $\mu_r - 1 \sim 10^3 - 10^6$
- 2) μ_r 是 \vec{H} 的复杂函数, (\vec{H} 是磁化强度)
- 3) 剩余磁性 —— 剩磁
- 4) 居里温度, 高于居里温度时, 铁磁质呈现顺磁性
温度降至居里点以下后, 又恢复铁磁性

| 材 料 | 铁 | 钴 | 镍 |
|-----|--------|--------|-------|
| 居里点 | 1043 k | 1388 k | 631 k |

磁化曲线（起始磁化曲线）

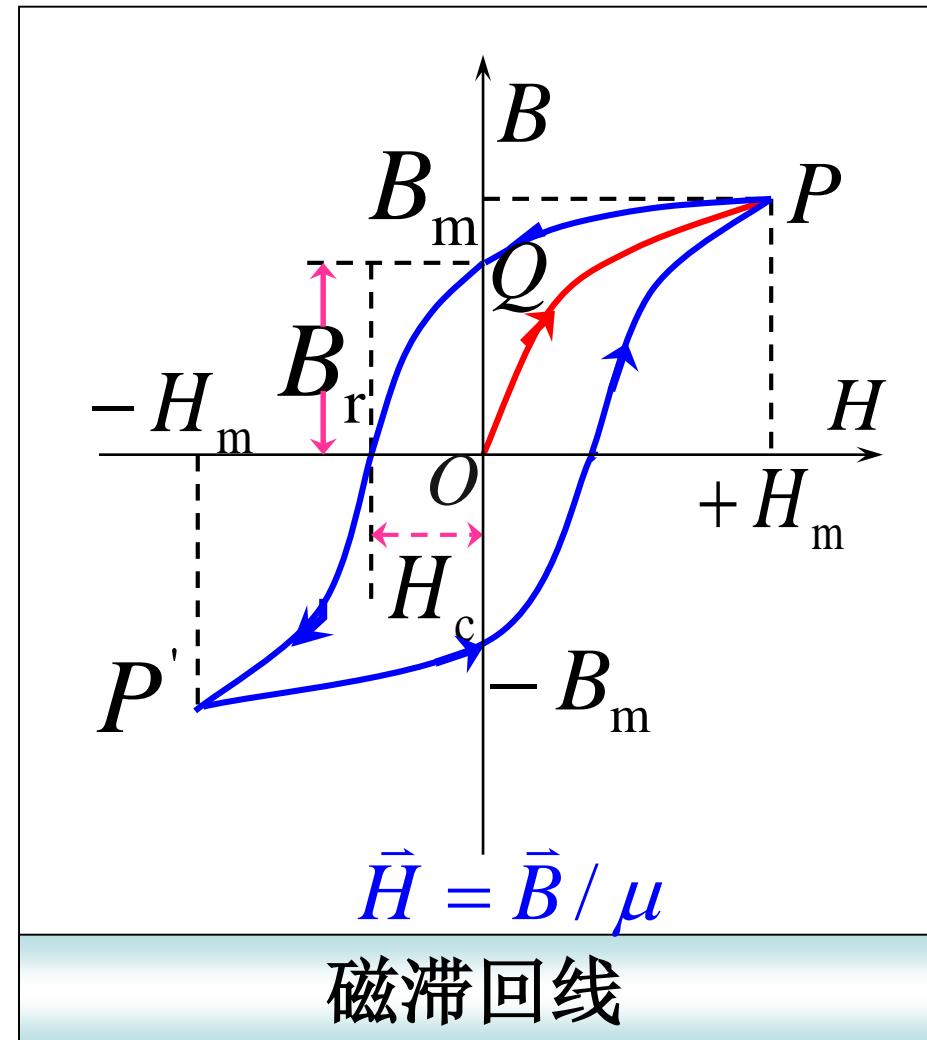


- 1) “O~M”：缓慢上升；
- 2) “M~N”：激烈上升；
- 3) “N~P”：减慢上升；
- 4) “P~ ”：B不变，
铁磁质达到了饱和状态。

磁滞回线(hysteresis loop)

当外磁场由 $+H_m$ 逐渐减小时，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**。

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)**。

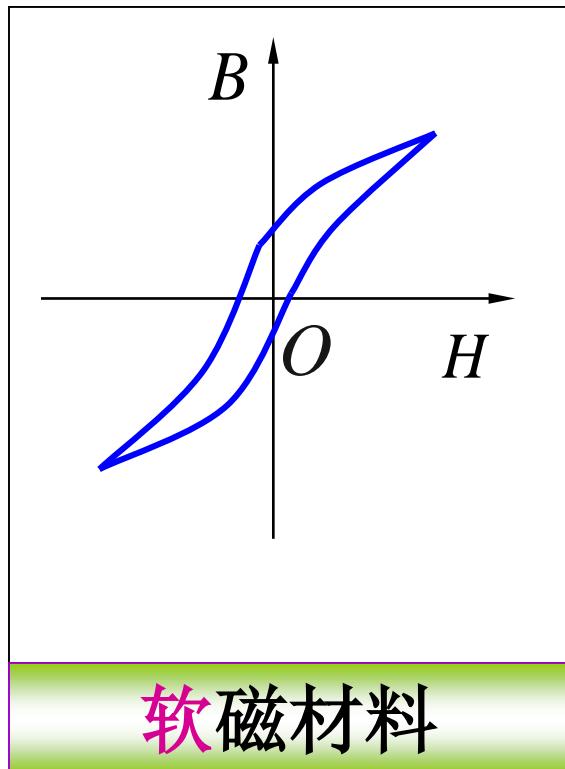


矫顽力(coercive force) H_c

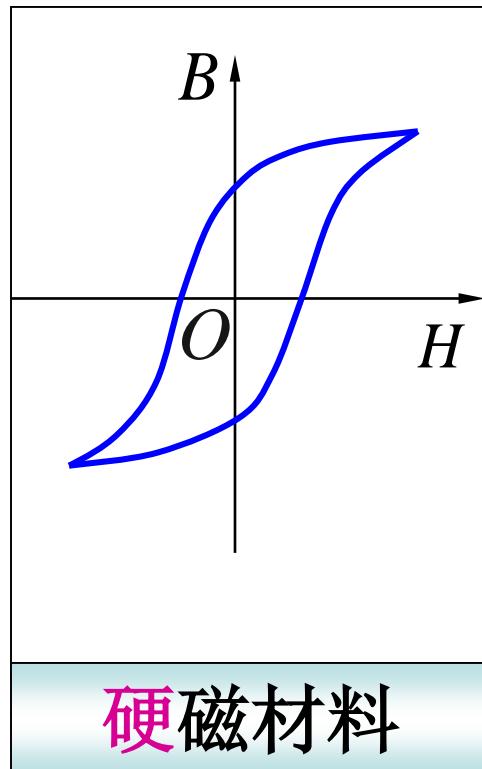
二 铁磁性材料(ferromagnetic material)

实验表明，不同铁磁性物质的磁滞回线形状相差很大。

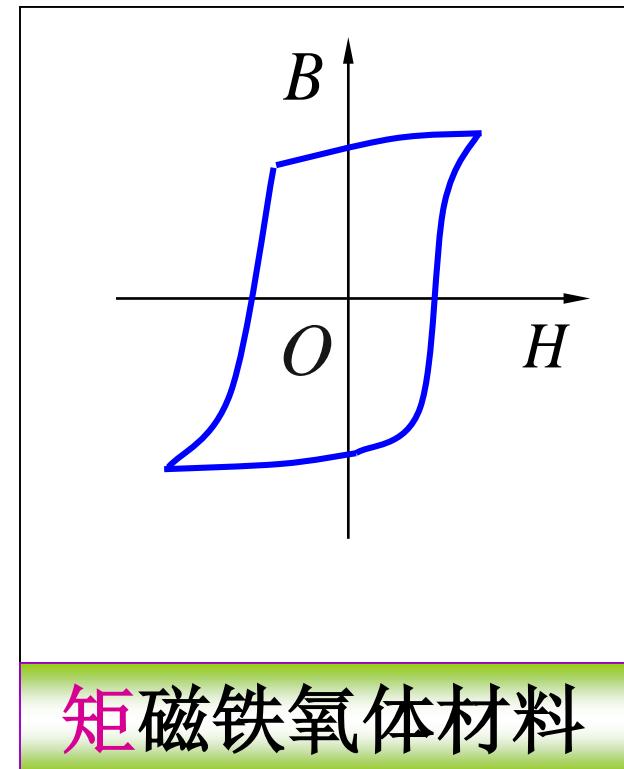
根据 H_c 的大小，可以把铁磁质分为：



软磁材料



硬磁材料



矩磁铁氧体材料

三 磁畴理论(magnetic domain)

当 $\vec{B}_0 = 0$ 时, 如图所示, 相邻原子间的电子存在很强的交换作用, 形成一个小小的自发磁化区域, 称为磁畴。

当 $\vec{B}_0 \neq 0$ 时, 磁畴转向外场方向排列。 — 铁磁质磁化

