

本节课作业

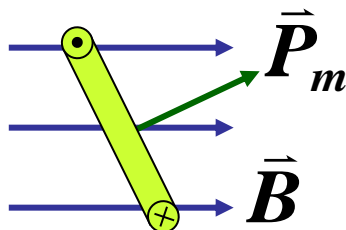
P59: 10-T1~T4

上节课的主要内容

- 安培定律

$$\vec{F} = \int_0^L I d\vec{l} \times \vec{B}$$

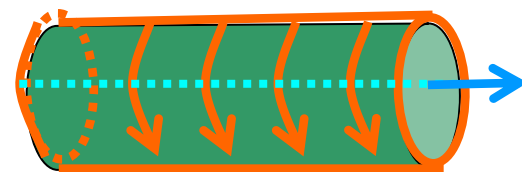
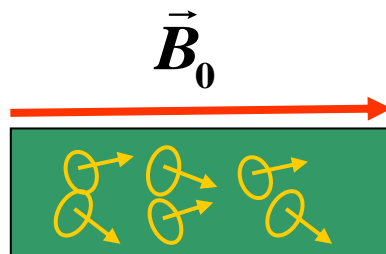
- 平面线圈



$$\vec{M} = \vec{P}_m \times \vec{B}$$

- 磁介质

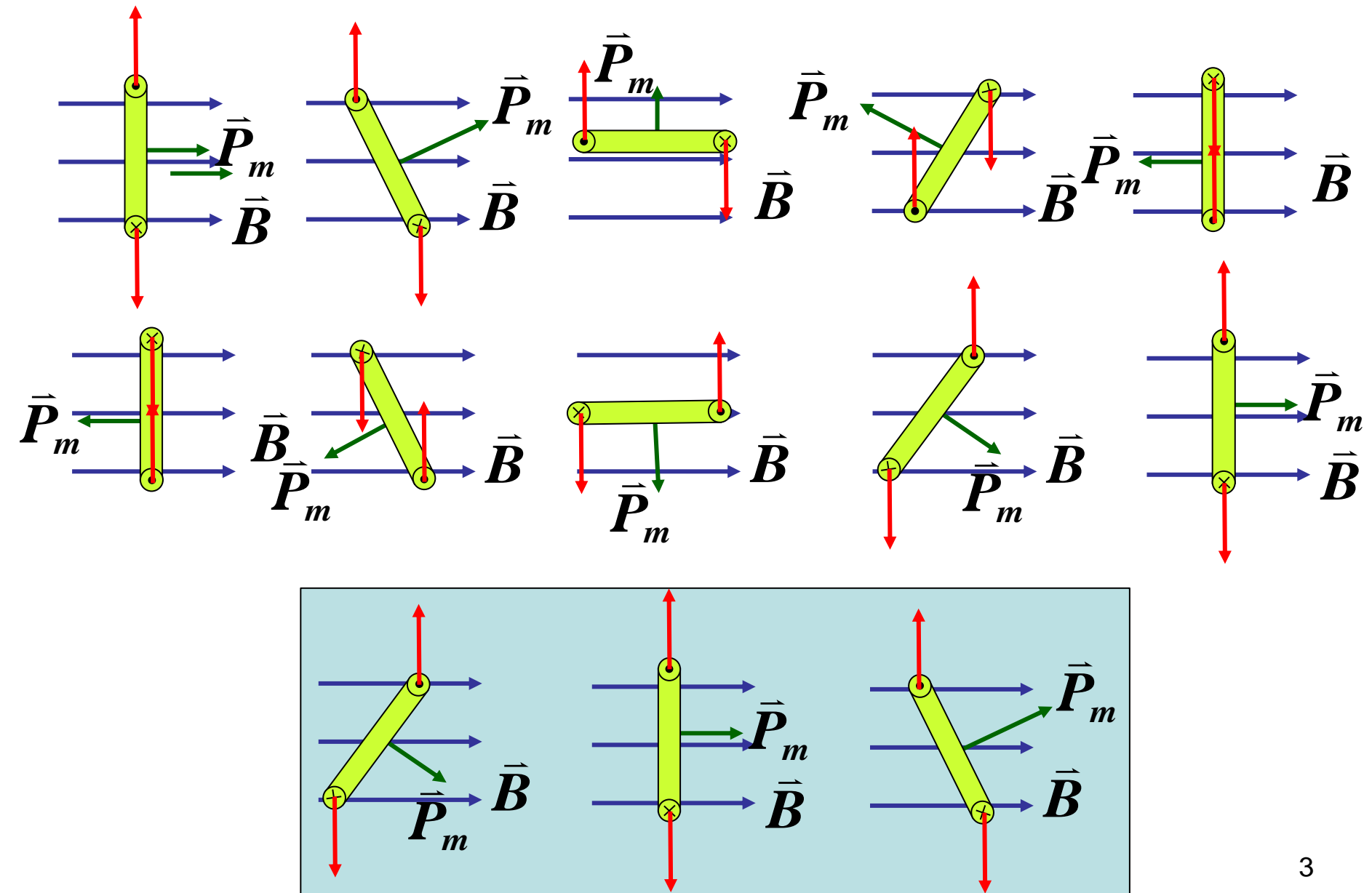
$$\mu_r = \frac{B}{B_0}$$



两类磁介质

$$\left\{ \begin{array}{ll} \vec{\mu}_{\text{分子}} \neq 0 & \rightarrow \text{顺磁质} \quad \mu_r \geq 1 \\ \vec{\mu}_{\text{分子}} = 0 & \rightarrow \text{抗磁质} \quad \mu_r < 1 \end{array} \right.$$

平面线圈在磁场中所受力矩



静电场

E/P/D

$$\vec{P} = \chi_e \epsilon_0 \vec{E}$$

$$\epsilon_r = 1 + \chi_e$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E} = \epsilon \vec{E}$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_S (q_i + q'_i)$$

$$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \sum_S q_i$$

稳恒磁场

H/M/B

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

$$\mu_r = 1 + \chi_m$$

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

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M})$$

$$\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum_L I_i + \mu_0 \sum_L I'_i$$

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

(四) 铁磁质的磁效应

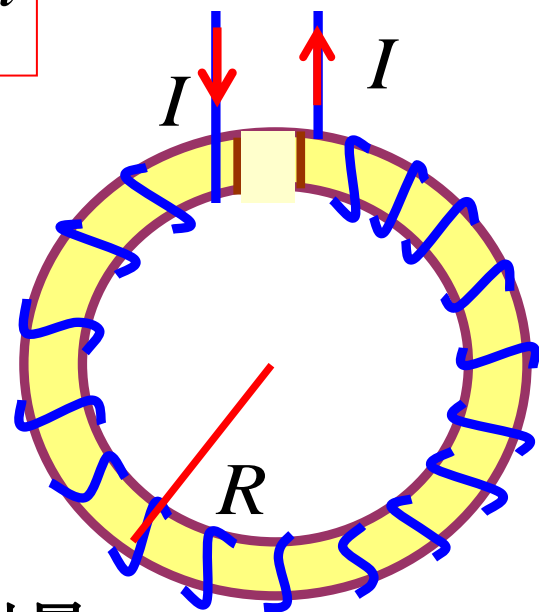
$$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_L I_i$$

1. 磁化曲线

装置： 环形螺绕环，用铁磁质
(Fe, Co, Ni) 填满环内空间

原理： 励磁电流为 I ，
根据安培定理得： $H = \frac{NI}{2\pi R}$

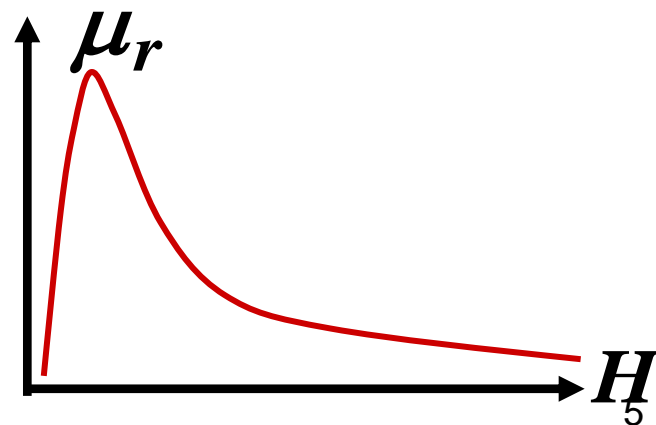
实验测量 \vec{B} ： 如用感应电动势测量
或用小线圈在缝口处测量



由 $\mu_r = \frac{B}{B_0} = \frac{B}{\mu_0 H}$

得出 $\mu_r \sim H$ 曲线：

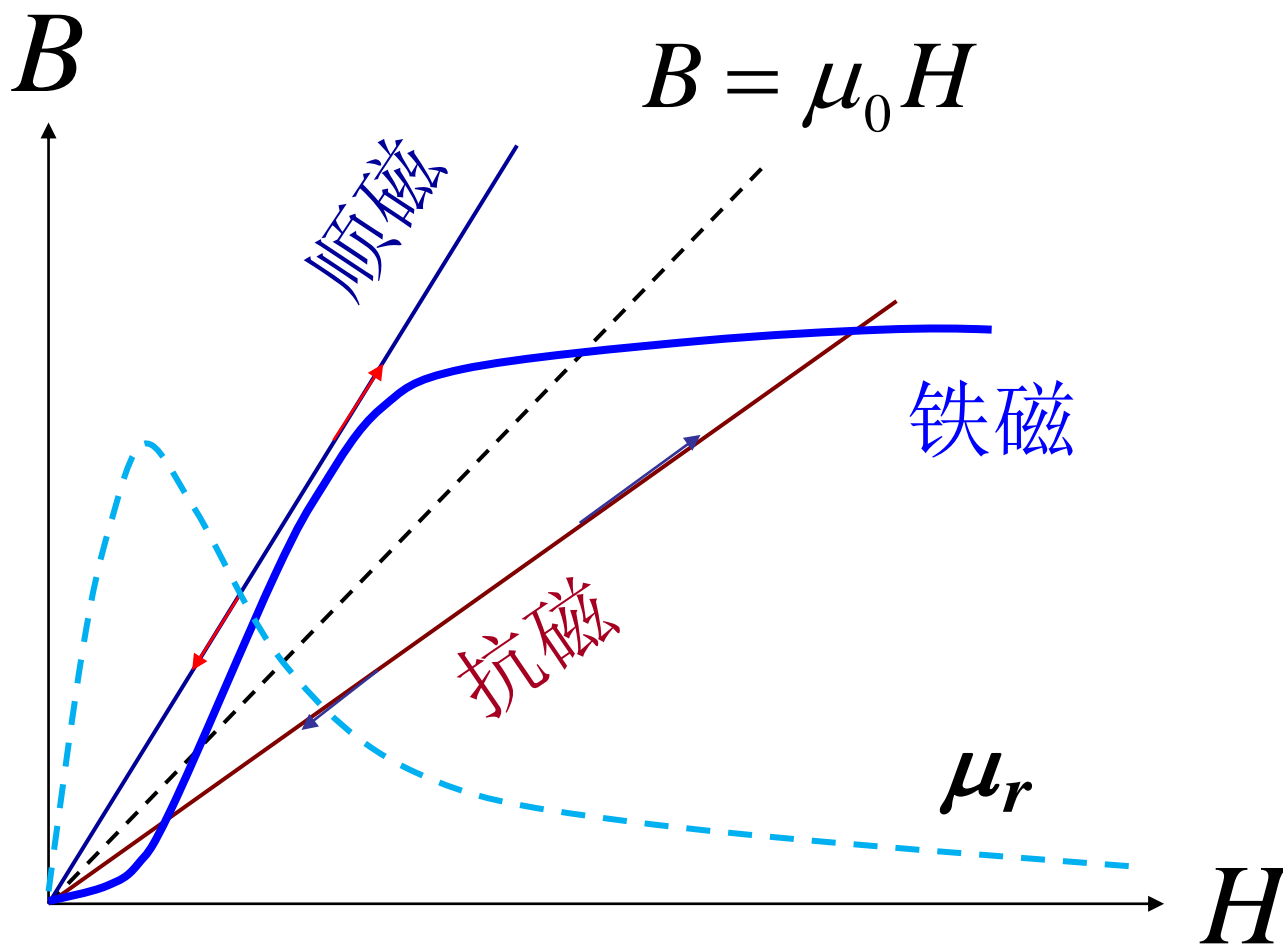
铁磁质的 μ_r 不是个常数，
它是 \vec{H} 的函数。



H-B曲线

真空中： $B = \mu_0 H$

磁介质中： $B = \mu_0 \mu_r H$



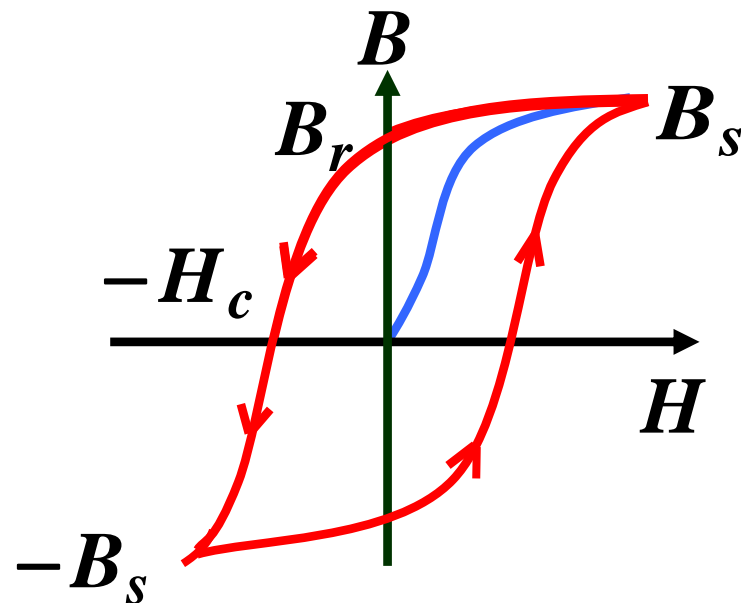
2. 磁滞回线——不可逆过程

1) 起始磁化曲线

饱和磁感应强度 B_s

2) 剩磁 B_r

3) 矫顽力 H_c



B 的变化落后于 H ，从而具有剩磁——磁滞效应

每个 H 对应不同的 B 与磁化的历史有关。

3. 在交变电流的励磁下反复磁化使其温度升高 ——磁滞损耗

磁滞损耗与磁滞回线所包围的面积成正比。

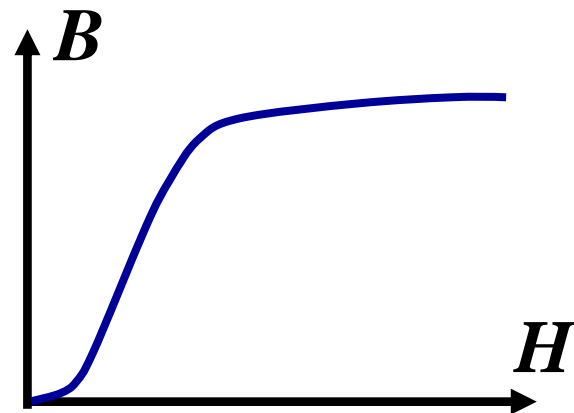
为什么会出现这些现象？

2. 铁磁质磁化的机制

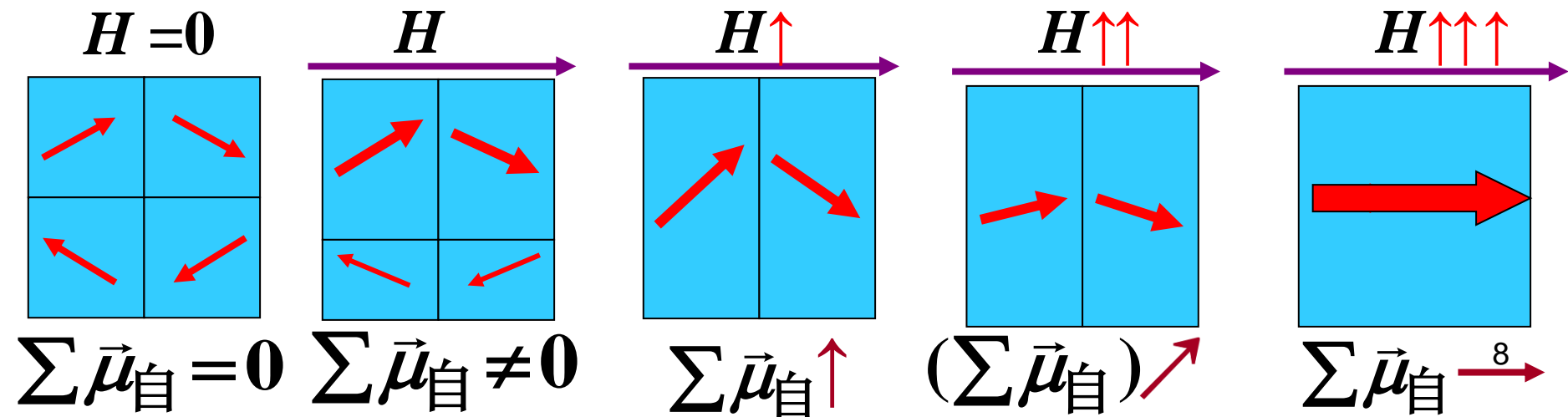
铁磁性主要来源于电子的自旋磁矩。

★ 交换力：电子之间的交换作用使其在自旋平行排列时能量较低，这是一种量子效应。

★ 磁畴：原子间电子交换耦合作用很强，使其自旋磁矩平行排列形成磁畴——自发的磁化区域。



★ 磁畴的变化可用金相显微镜观测



说明:

1. 当全部磁畴都沿外磁场方向时，铁磁质的磁化就达到饱和状态。饱和磁化强度 M_s 等于每个磁畴中原来的磁化强度，该值很大。

——这就是铁磁质磁性 μ_r 大的原因。

2. **磁滞**现象是由于材料有杂质和内应力等的作用，当撤掉外磁场时磁畴的畴壁很难恢复到原来的形状而造成的。
3. 当温度升高时，热运动会瓦解磁畴内磁矩的规则排列。在临界温度（相变温度 T_c ）时，铁磁质完全变成顺磁质。**居里点 T_c (Curie Point)**

如：铁为 **1040K**，钴为 **1390K**， 镍为 **630K**

3. 铁磁质的分类

1. 软磁材料：如 { 纯铁，坡莫合金(Fe , Ni),
硅钢，铁氧体等。

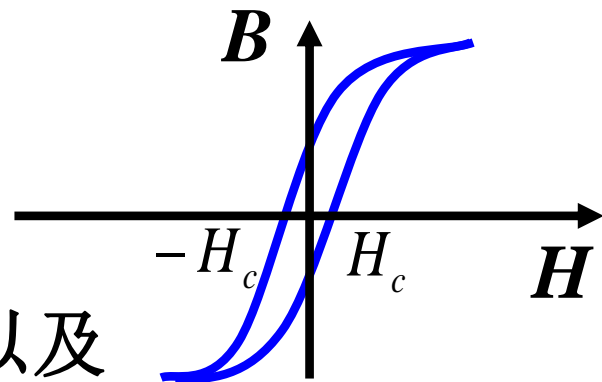
特点：

μ_r 大，(起始磁化率大)饱和磁感应强度大，

矫顽力(H_c)小，磁滞回线的面积窄而长，损耗小(回线面积小)。

易磁化、易退磁

适用于变压器、继电器、电机、以及各种高频电磁元件的磁芯、磁棒。



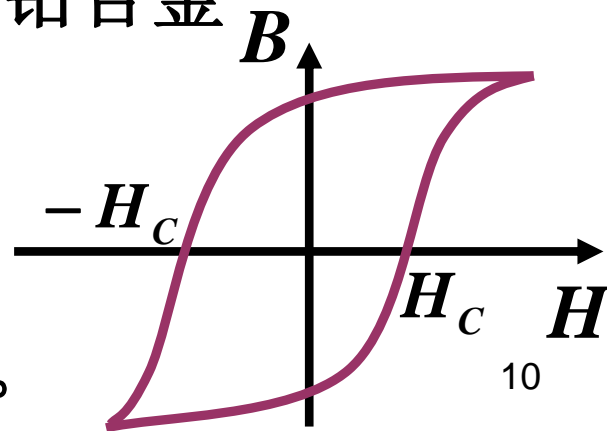
2. 硬磁材料：如：钨钢，碳钢，铝镍钴合金

矫顽力(H_c)大，剩磁 B_r 大

磁滞回线的面积大，损耗大。

适用于做永磁铁。

耳机中的永久磁铁，永磁扬声器。

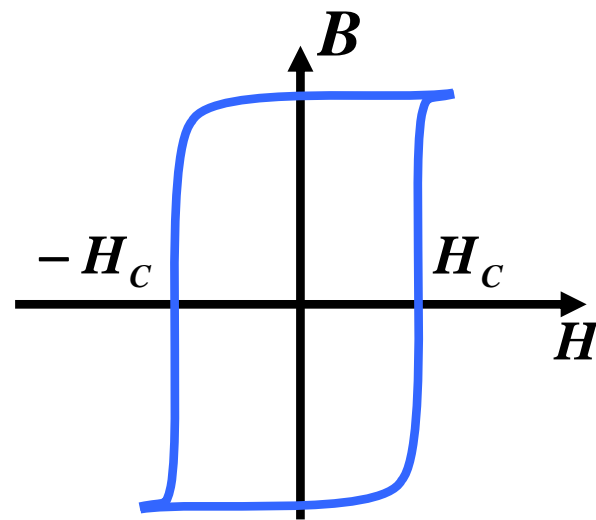


3. 矩磁材料

锰镁铁氧体， 锂锰铁氧体

$B_r=B_S$, H_c 不大,
磁滞回线是矩形。用于记忆元件,

当+脉冲产生 $H>H_C$, 使磁芯呈+ B 态,
则-脉冲产生 $H<-H_C$ 使磁芯呈- B 态,
可作为二进制的两个态。

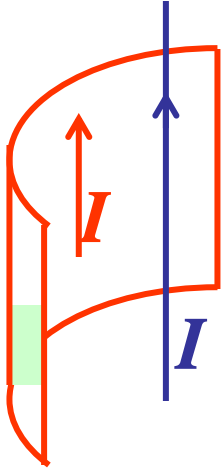


例：求半圆柱面电流对其轴线上长直载流导线的作用力。

解： 平行电流相互作用力



$$f_{12} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a}$$



$$dF' = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} dI = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \cdot \frac{I}{\pi R} R d\theta$$

由对称性： $\int dF_y = 0$

$$dF_x = dF \cos \theta$$

$$= \frac{\mu_0 I^2}{2(\pi R)^2} \cos \theta R d\theta$$

$$F = \int dF_x = \frac{\mu_0 I^2 R}{(\pi R)^2} \int_0^{\pi/2} \cos \theta d\theta$$

$$= \frac{\mu_0 I^2}{\pi^2 R}$$

沿x轴负方向

