

# 本节课作业

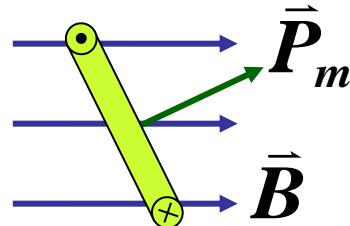
P59: 10-T1~T4

# 上节课的主要内容

- 安培定律

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

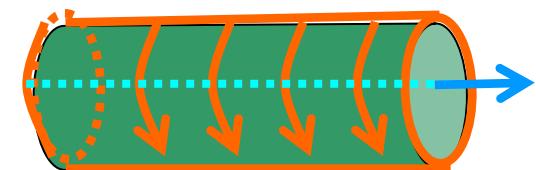
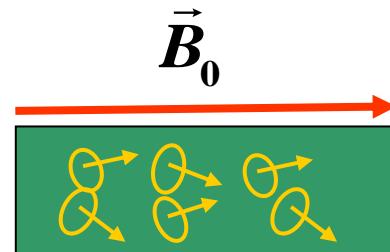
- 平面线圈



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

- 磁介质

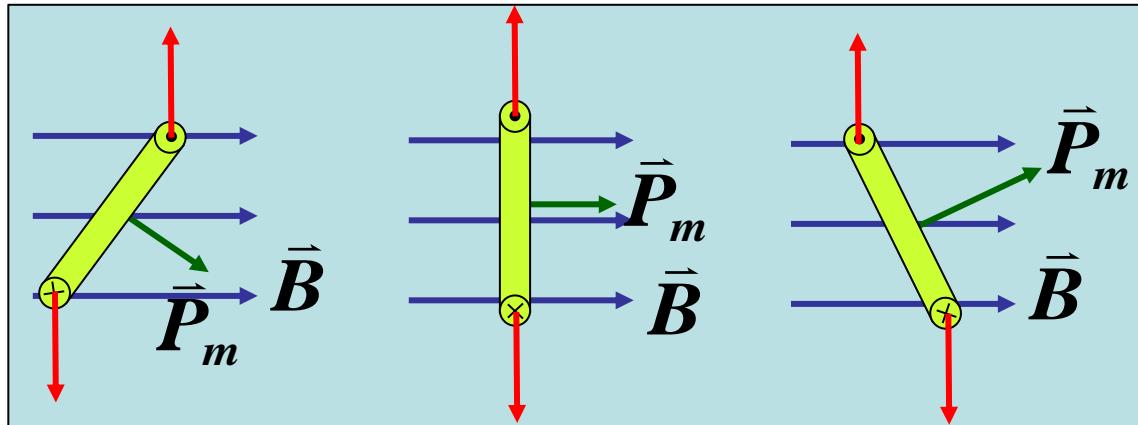
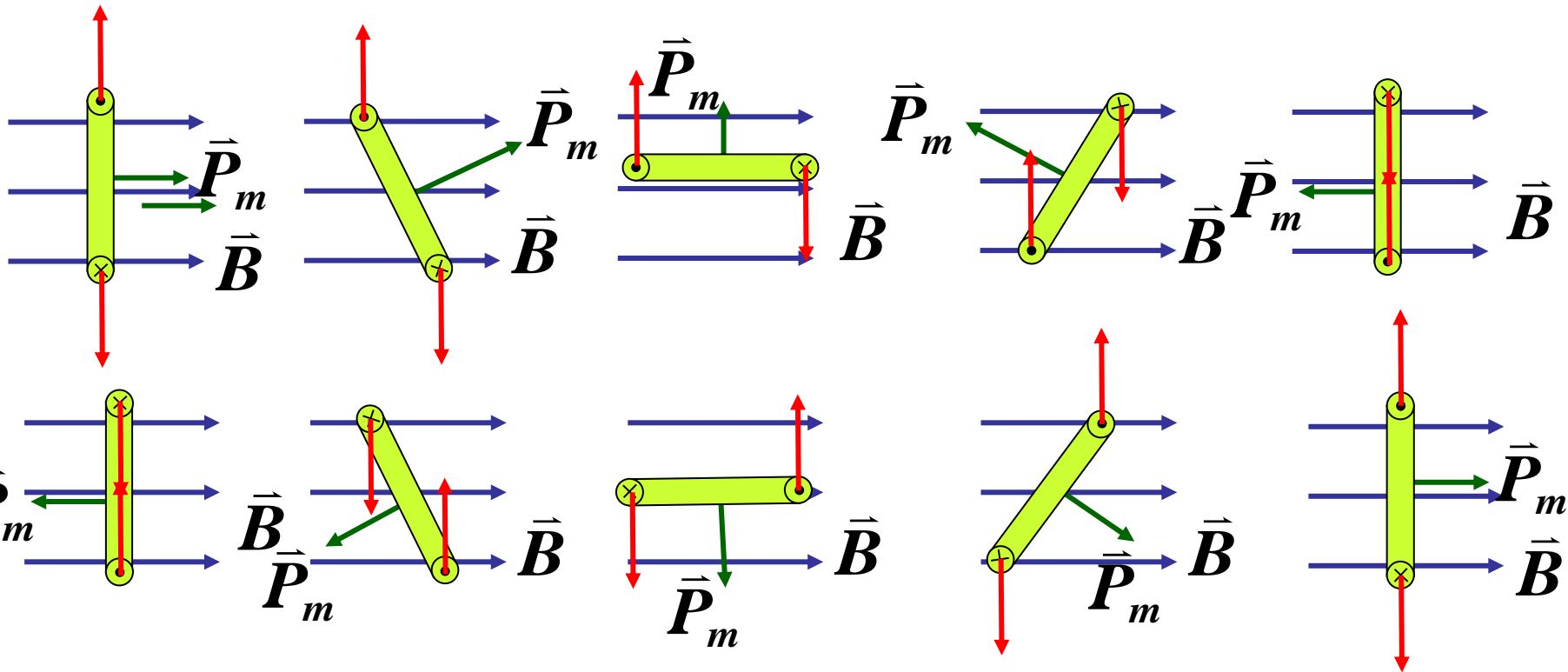
$$\mu_r = \frac{B}{B_0}$$



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

# 稳恒磁场

E/P/D

H/M/B

$$\vec{P} = \chi_e \varepsilon_0 \vec{E}$$

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

$$\varepsilon_r = 1 + \chi_e$$

$$\mu_r = 1 + \chi_m$$

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \vec{E} = \varepsilon \vec{E}$$

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

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$

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

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum_S (q_i + q'_i)$$

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

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

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

## (四) 铁磁质的磁效应

### 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:  $H = \frac{NI}{2\pi R}$

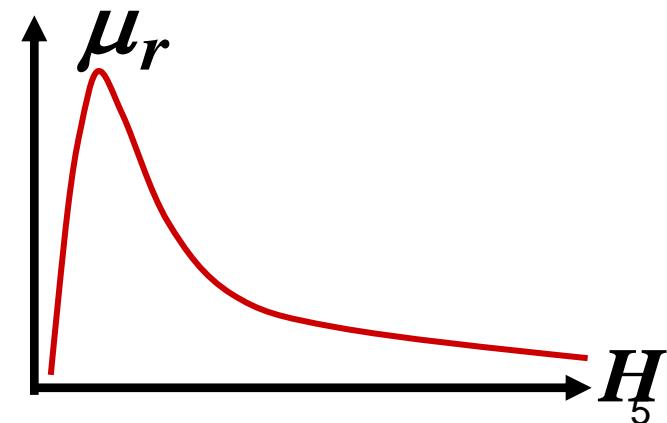
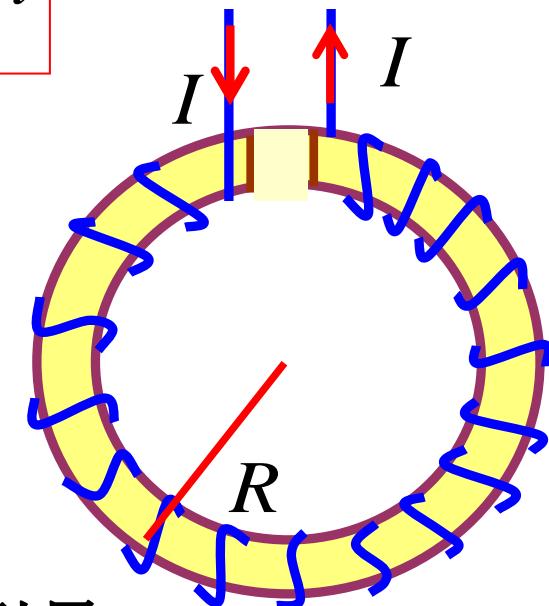
**实验测量**  $\vec{B}$ : 如用感应电动势测量  
或用小线圈在缝口处测量

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

得出  $\mu_r \sim H$  曲线:

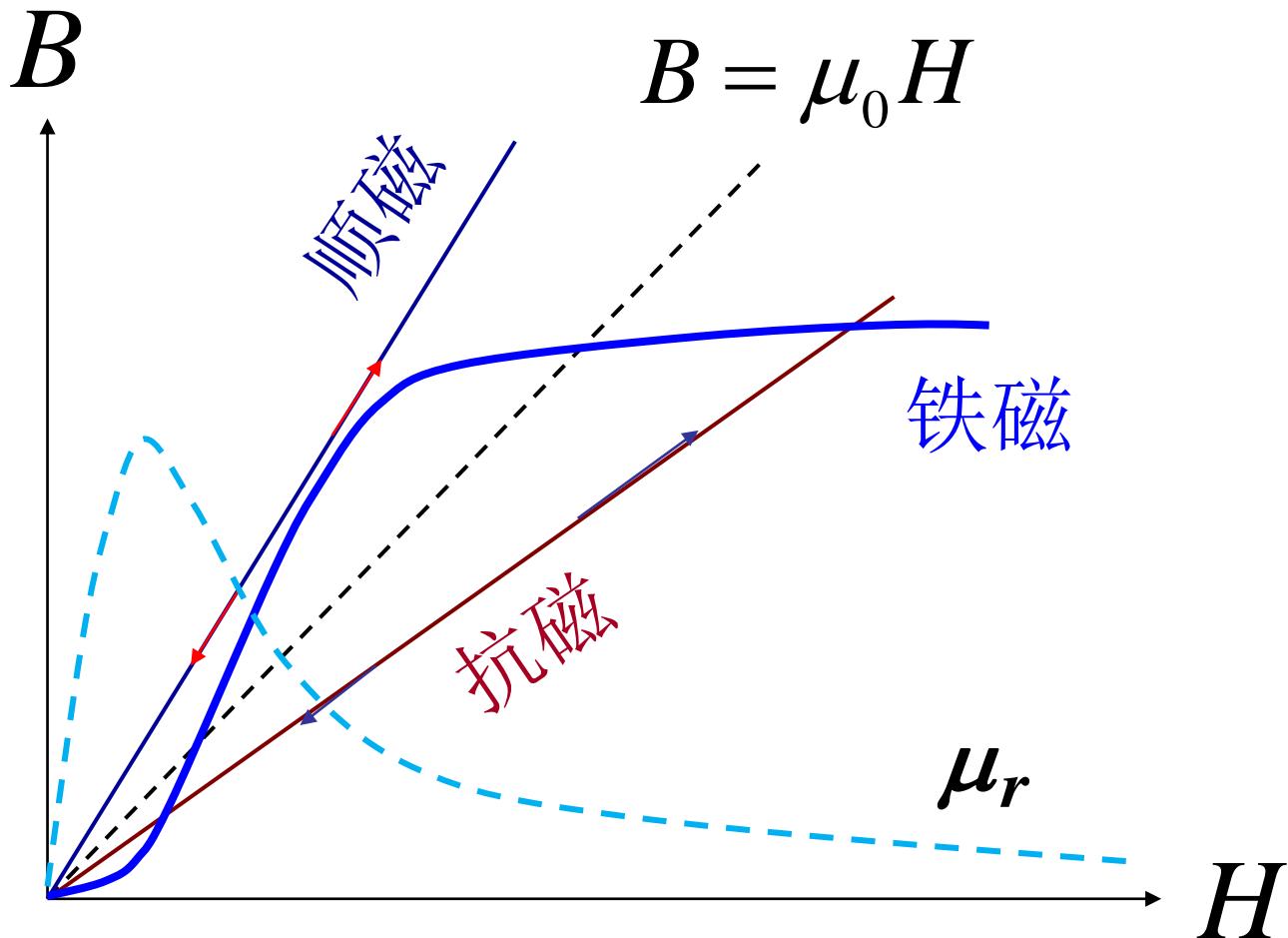
铁磁质的  $\mu_r$  不是个常数,  
它是  $\vec{H}$  的函数.

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



# 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 $B_r$

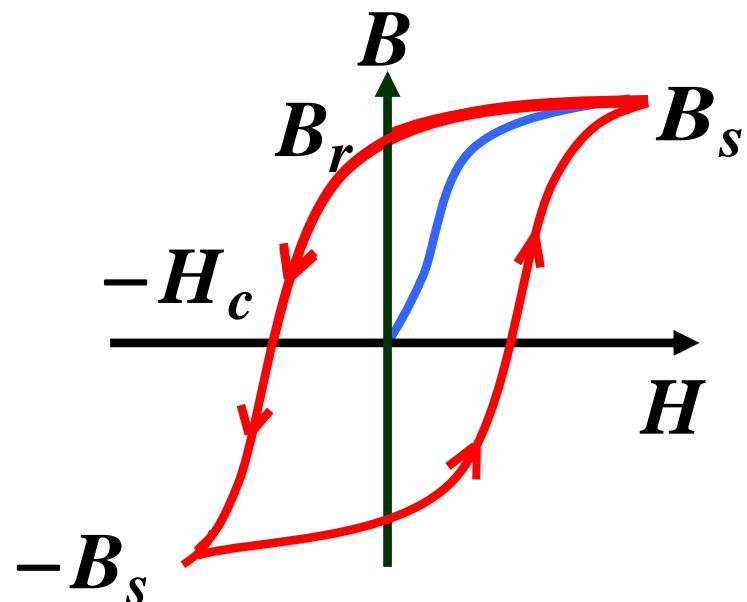
### 3) 矫顽力 $H_c$

$B$  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?

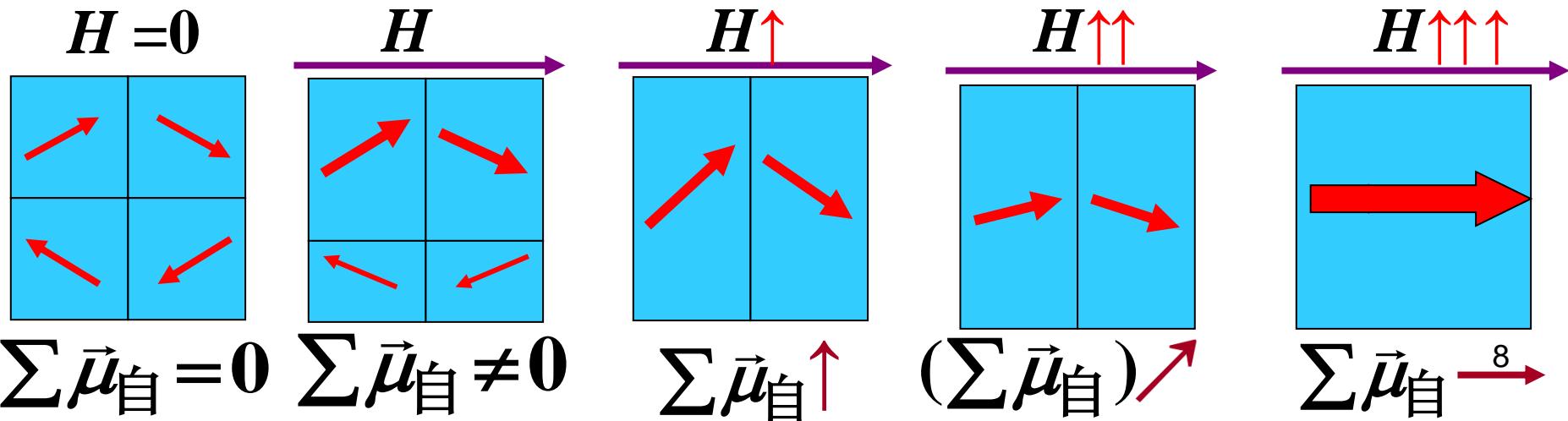
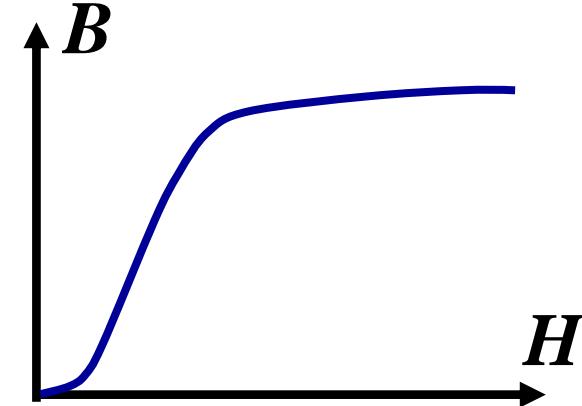
## 2. 铁磁质磁化的机制

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  $\mu_r$ 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

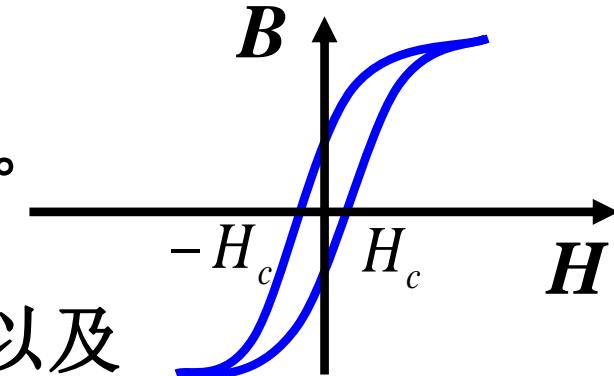
1. 软磁材料: 如 { 纯铁, 坡莫合金( $Fe, Ni$ ),  
硅钢, 铁氧体等。

特点:

$\mu_r$ 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。



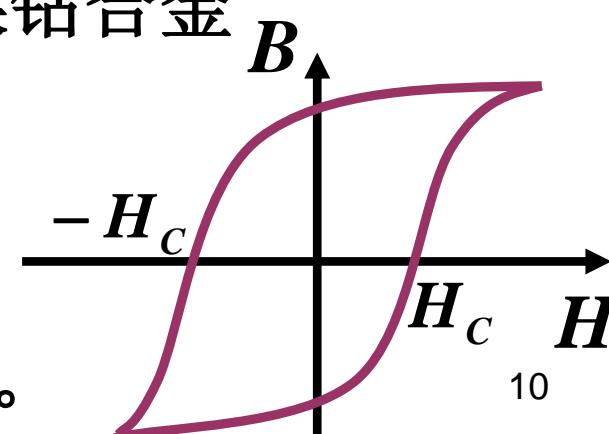
2. 硬磁材料: 如: 钨钢, 碳钢, 铝镍钴合金

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

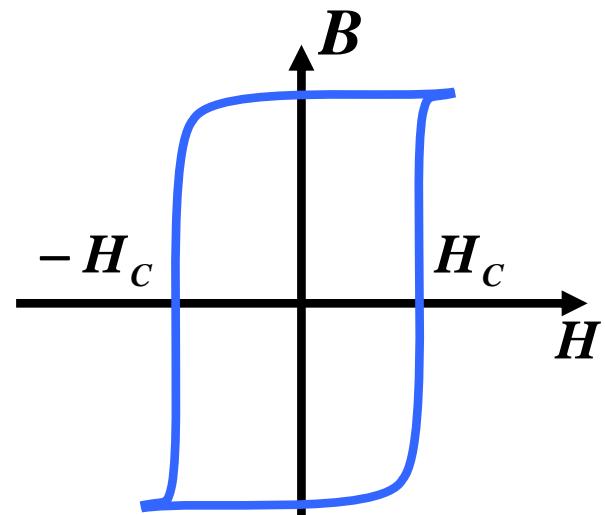
$B_r=B_s$ ， $H_c$ 不大，

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。

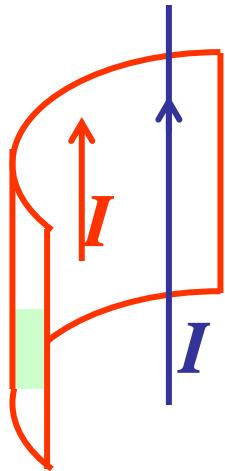


**例:** 求半圆柱面电流对其轴线上长直载流导线的作用力。

**解:** 平行电流相互作用力



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

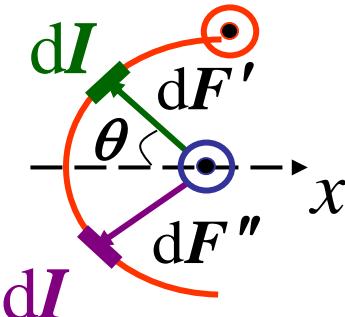


$$dF' = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} dI = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \cdot \frac{I}{\pi R} R d\theta$$

$$\text{由对称性: } \int dF_y = 0$$

$$dF_x = dF \cos \theta$$

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



$$dF'' = dF'$$

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

$$= \frac{\mu_0 I^2}{\pi^2 R} \quad \text{沿} x \text{轴负方向}$$