

# 磁介质 顺磁质和抗磁质的磁化

## 一、磁介质

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

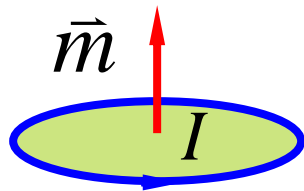
磁介质中的  
总磁感强度

真空中的  
磁感强度

介质磁化后的  
附加磁感强度

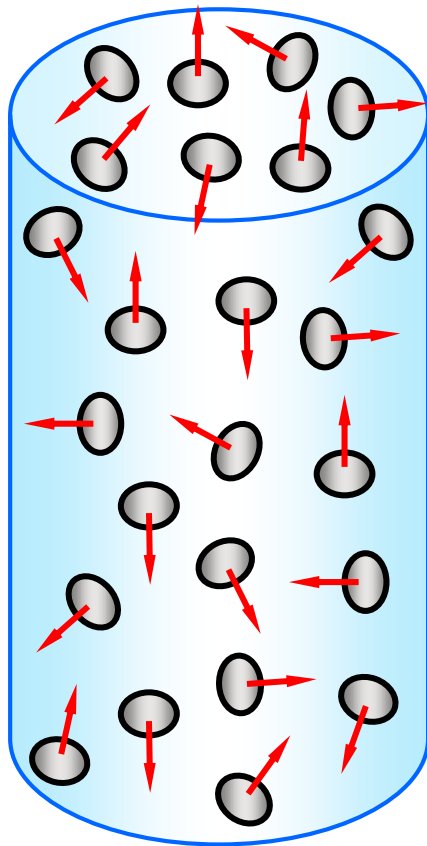
顺磁质	$\vec{B} > \vec{B}_0$	(铝、氧、锰等)	} 弱磁质
抗磁质	$\vec{B} < \vec{B}_0$	(铜、铋、氢等)	
铁磁质	$\vec{B} \gg \vec{B}_0$	(铁、钴、镍等)	

# 分子圆电流和磁矩

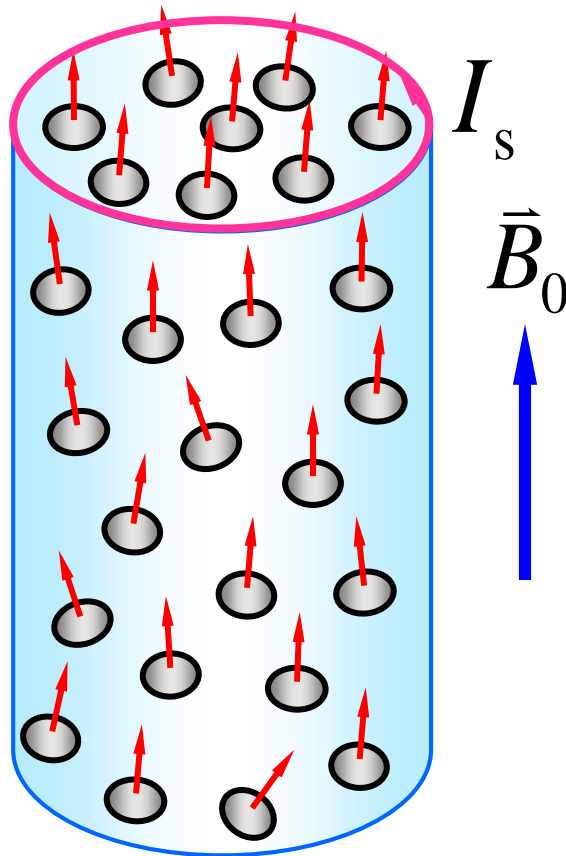


$$B = B_0 + B'$$

## 顺磁质的磁化



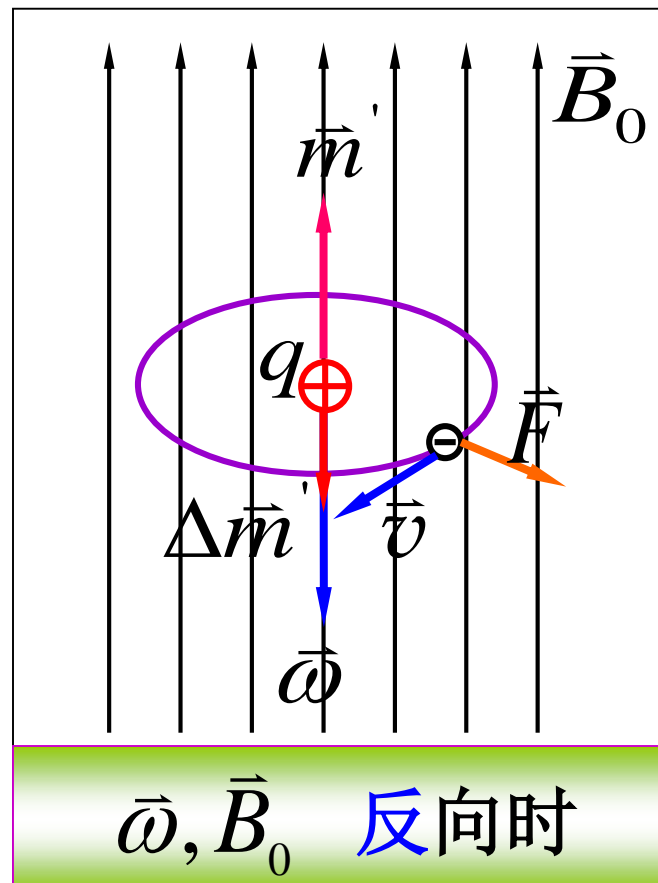
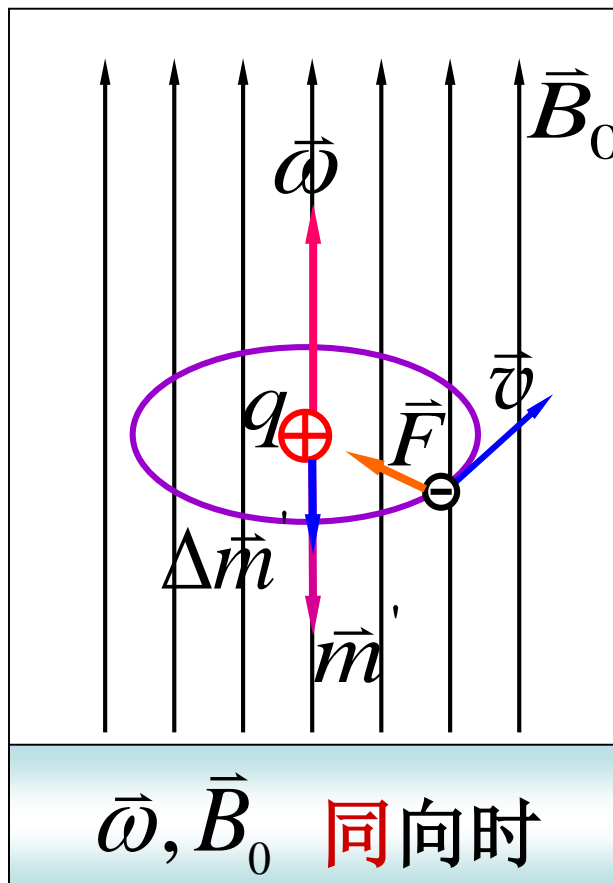
无外磁场



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



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  $B = B_0 - B'$

## 二 磁化强度

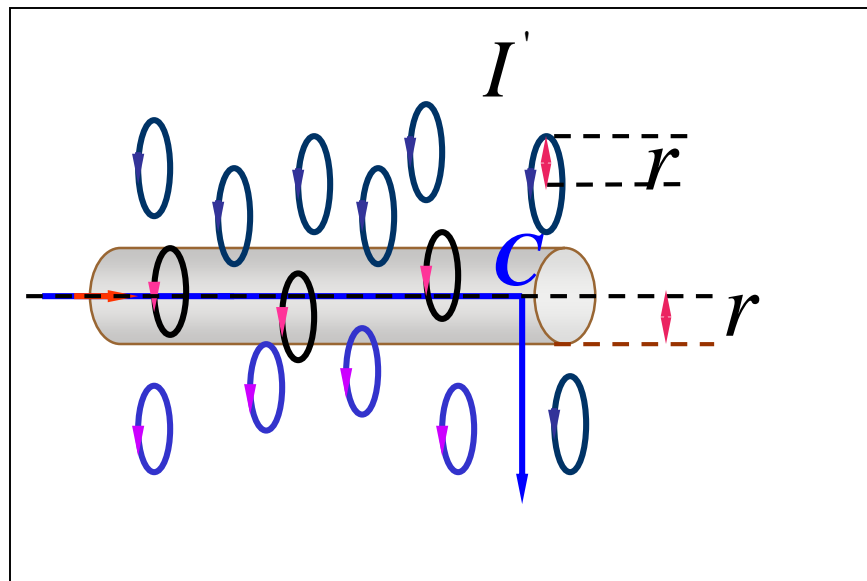
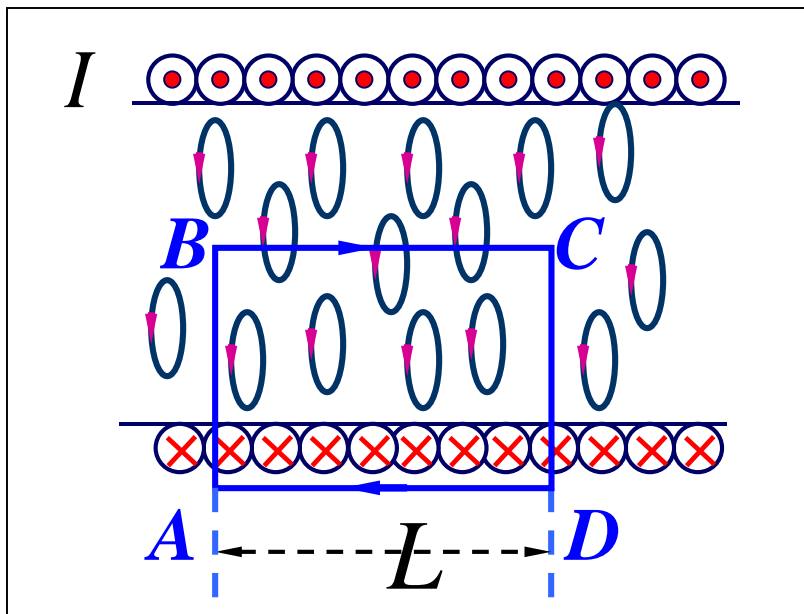
$$\vec{M} = \frac{\sum \vec{m}}{\Delta V}$$

分子磁矩  
的矢量和

体积元

**意义** 磁介  
质中单位体积内  
分子的合磁矩.

单位 (安/米)  $A \cdot m^{-1}$



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

$$= \mu_0 (NI + I_s)$$

传导电流

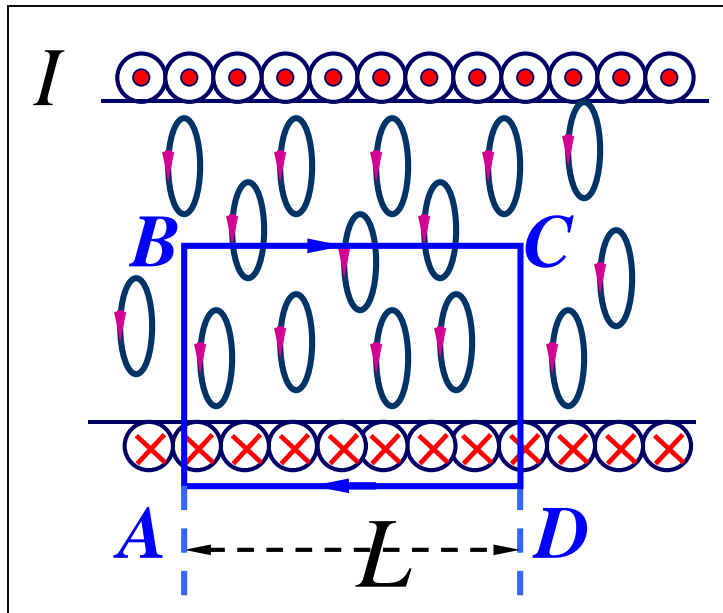
分布电流

分子磁矩  $m = I' \pi r^2$

$n$  (单位体积分子磁矩数)

$$I_s = n \pi r^2 L I' = n m L$$

$$M = \frac{\sum m}{\Delta V} = n m \quad I_s = M L$$



$$\oint_l \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 (NI + I_s)$$

$$I_s = ML = \int_{BC} \vec{M} \cdot d\vec{l}$$

$$I_s = \oint_l \vec{M} \cdot d\vec{l}$$

$$\oint_l \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 (NI + \oint_l \vec{M} \cdot d\vec{l})$$

$$\oint_l \left( \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M} \right) \cdot d\vec{l} = NI = \sum I \quad \text{磁场强度} \quad \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$$

磁介质中的安培环路定理

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

磁介质中的安培环路定理  $\oint_l \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum I$

各向同性磁介质  $\vec{M} = \chi_m \vec{H}$   $\chi_m$  (磁化率)

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \chi_m \vec{H} \quad \vec{B} = \mu_0 (1 + \chi_m) \vec{H}$$

相对磁导率  $\mu_r = 1 + \chi_m$   $\mu_r \left\{ \begin{array}{ll} > 1 & \text{顺磁质} \\ < 1 & \text{抗磁质} \\ \gg 1 & \text{铁磁质} \end{array} \right.$   
(非常数)

磁导率  $\mu = \mu_0 \mu_r$

➤ 各向同性磁介质

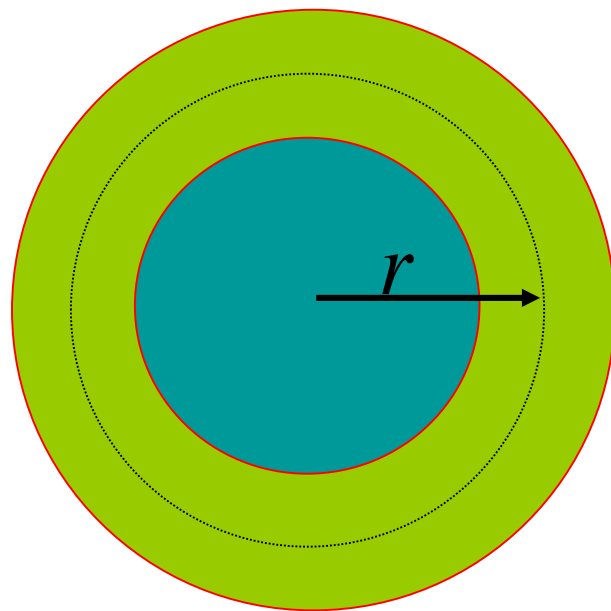
$$\vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H} = \mu \vec{H}$$

**例：**在均匀密绕的螺绕环内充满均匀的顺磁介质，已知螺绕环中的传导电流为  $I$ ，单位长度内匝数  $n$ ，环的横截面半径比环的平均半径小得多，磁介质的相对磁导率和磁导率分别为  $\mu$  和  $\mu_r$ 。求环内的磁场强度和磁感应强度。

**解：**

在环内任取一点，过该点作一和环同心、半径为  $r$  的圆形回路。

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = NI$$





式中 $N$ 为螺绕环上线圈的总匝数。由对称性可知，在所取圆形回路上各点的磁感应强度的大小相等，方向都沿切线。

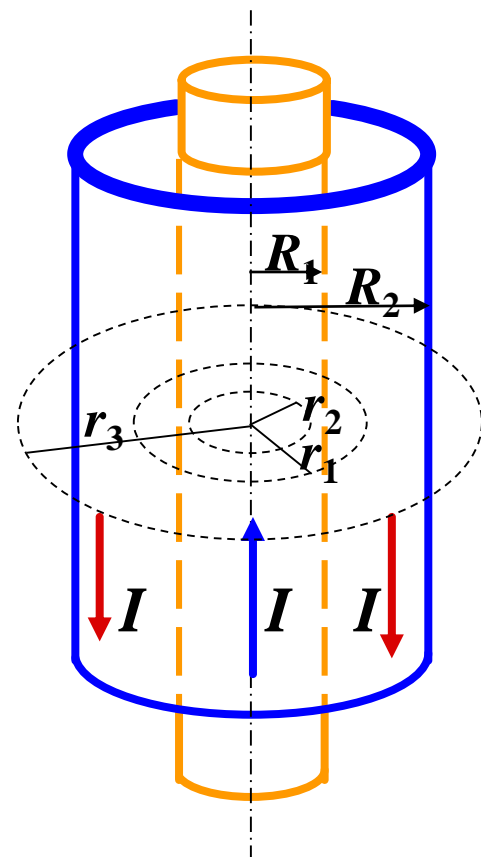
$$\longrightarrow H 2\pi r = NI \qquad H = \frac{NI}{2\pi r} = nI$$

当环内是真空时  $\vec{B}_0 = \mu_0 \vec{H}$

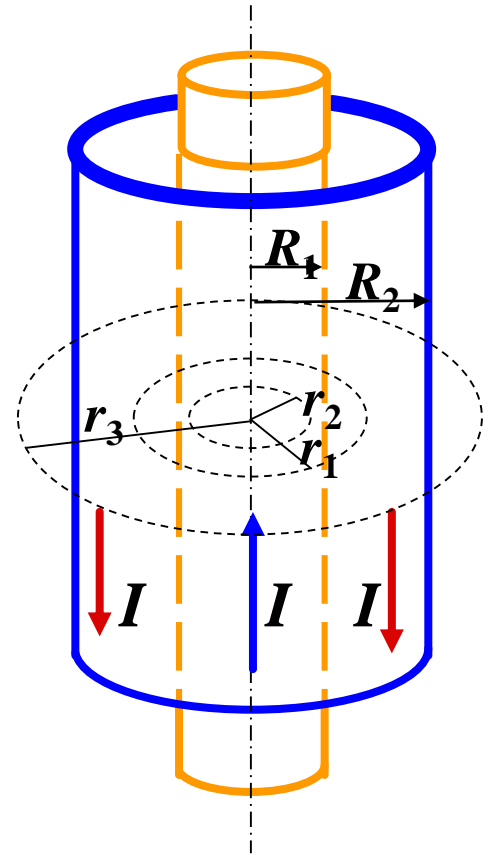
当环内充满均匀介质时

$$\vec{B} = \mu \vec{H} = \mu_0 \mu_r \vec{H} \qquad \frac{\vec{B}}{\vec{B}_0} = \mu_r$$

**例：**如图所示，一半径为 $R_1$ 的无限长圆柱体（导体 $\mu \approx \mu_0$ ）中均匀地通有电流 $I$ ，在它外面有半径为 $R_2$ 的无限长同轴圆柱面，两者之间充满着磁导率为 $\mu$ 的均匀磁介质，在圆柱面上通有相反方向的电流 $I$ 。试求（1）圆柱体外圆柱面内一点的磁场；（2）圆柱体内一点磁场；（3）圆柱面外一点的磁场。



**解：**（1）当两个无限长的同轴圆柱体和圆柱面中有电流通过时，它们所激发的磁场是轴对称分布的，而磁介质亦呈轴对称分布，因而不会改变场的这种对称分布。设圆柱体外圆柱面内一点到轴的垂直距离是 $r_1$ ，以 $r_1$ 为半径作一圆，取此圆为积分回路，根据安培环路定理有



$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = H \int_0^{2\pi r_1} dl = I$$

$$H = \frac{I}{2\pi r_1} \quad B = \mu H = \frac{\mu I}{2\pi r_1}$$

(2) 设在圆柱体内一点到轴的垂直距离是 $r_2$ ，则以 $r_2$ 为半径作一圆，根据安培环路定理有

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = H \int_0^{2\pi r_2} dl = H 2\pi r_2 = I \frac{\pi r_2^2}{\pi R_1^2} = I \frac{r_2^2}{R_1^2}$$

式中  $I \frac{\pi r_2^2}{\pi R_1^2}$  是该环路所包围的电流部分，由此得

$$H = \frac{I r_2}{2\pi R_1^2} \quad \text{由 } B = \mu_0 H, \text{ 得} \quad B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I r_2}{R_1^2}$$

(3) 在圆柱面外取一点，它到轴的垂直距离是  $r_3$ ，以  $r_3$  为半径作一圆，根据安培环路定理，考虑到环路中所包围的电流的代数和为零，所以得

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = H \int_0^{2\pi r_3} dl = 0$$

$$\text{即} \quad H = 0$$

$$\text{或} \quad B = 0$$

**又例：**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  $\mu_r$  的磁介质.当两圆筒通有相反方向的电流 时，试 **求**

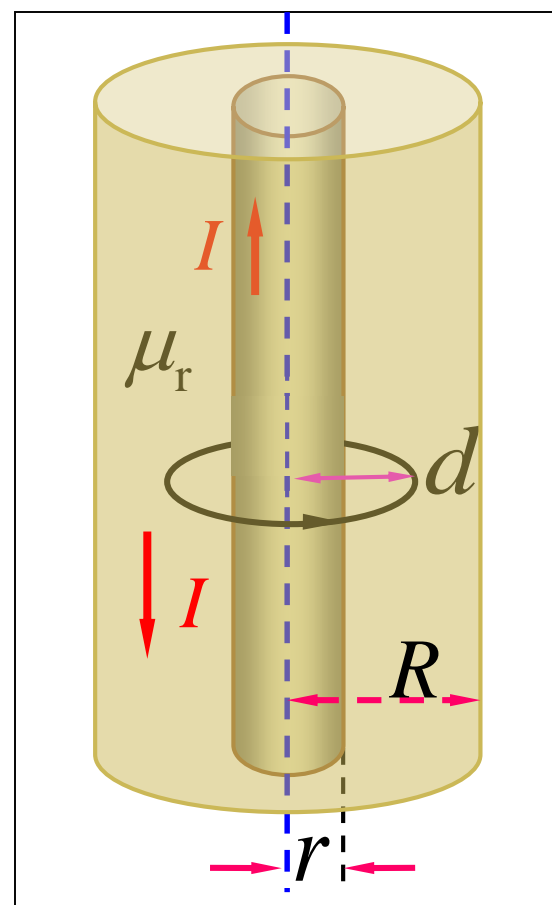
(1) 磁介质中任意点  $P$  的磁感应强度的大小；(2) 圆柱体外面一点  $Q$  的磁感强度.

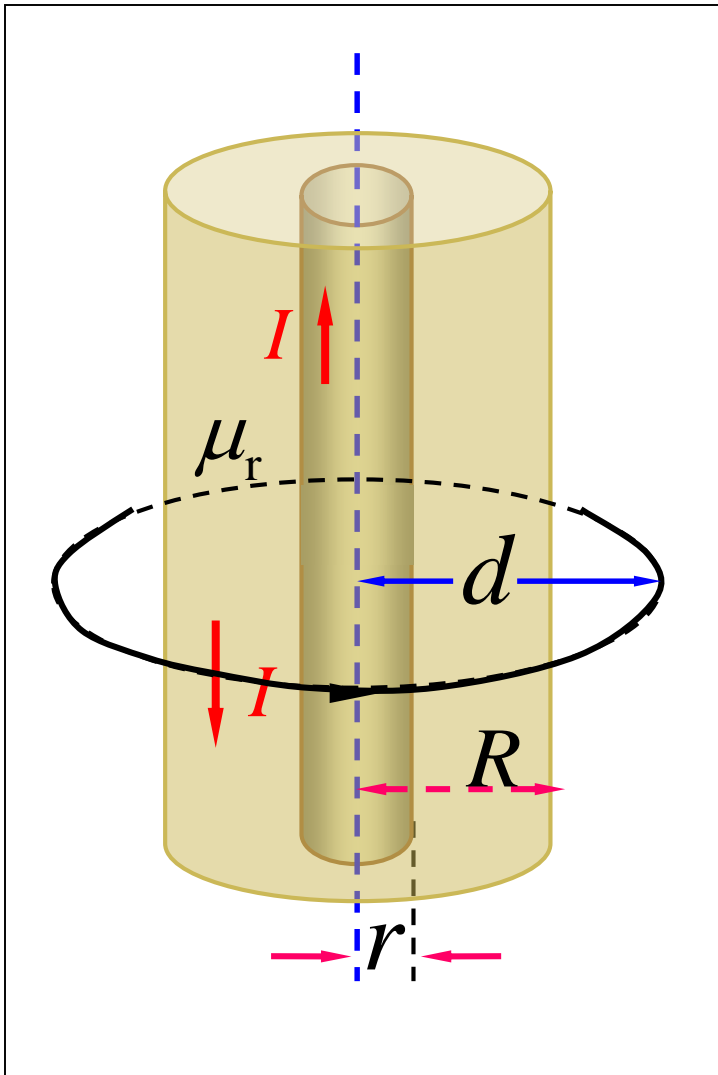
**解** 对称性分析

$$r < d < R \quad \oint_l \vec{H} \cdot d\vec{l} = I$$

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

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





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

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

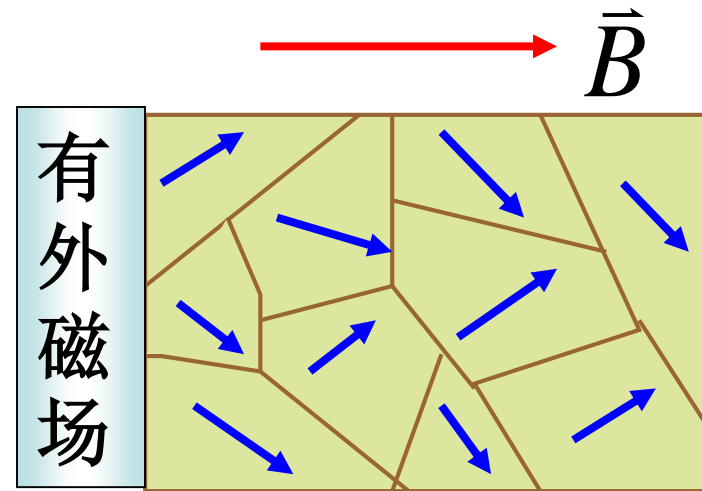
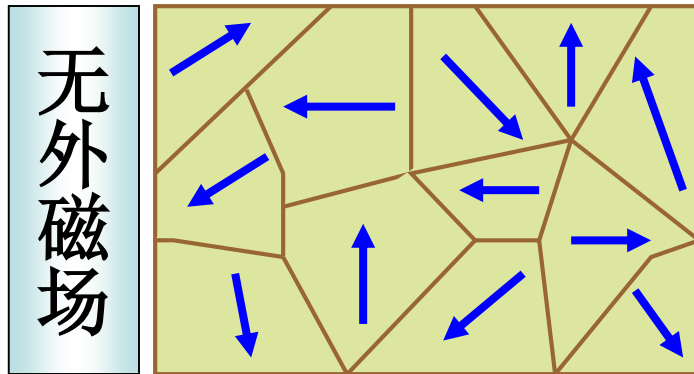
$$2\pi dH = 0, \quad H = 0$$

$$B = \mu H = 0$$

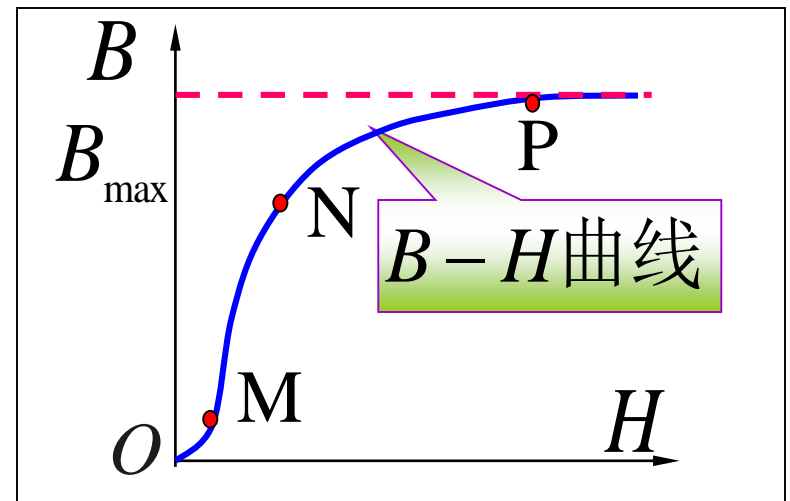
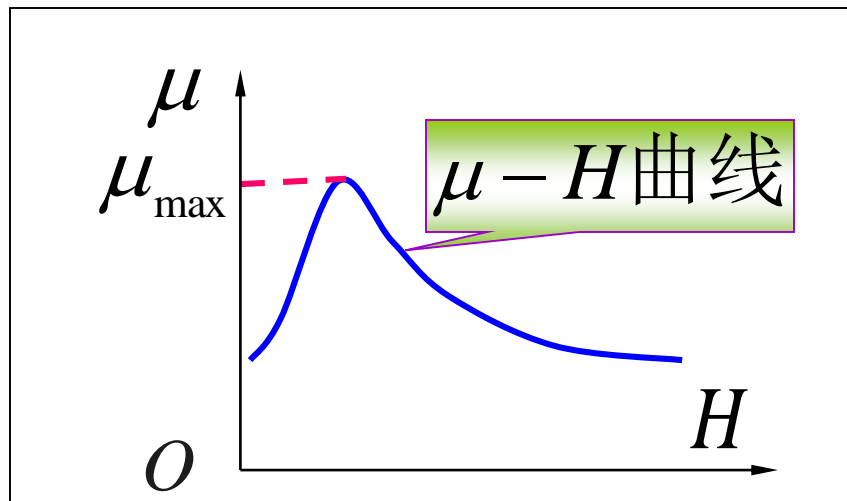
同理可求  $d < r$ ,  $B = 0$

## § 12-5 铁磁质

### 一 磁畴



### 二 磁化曲线

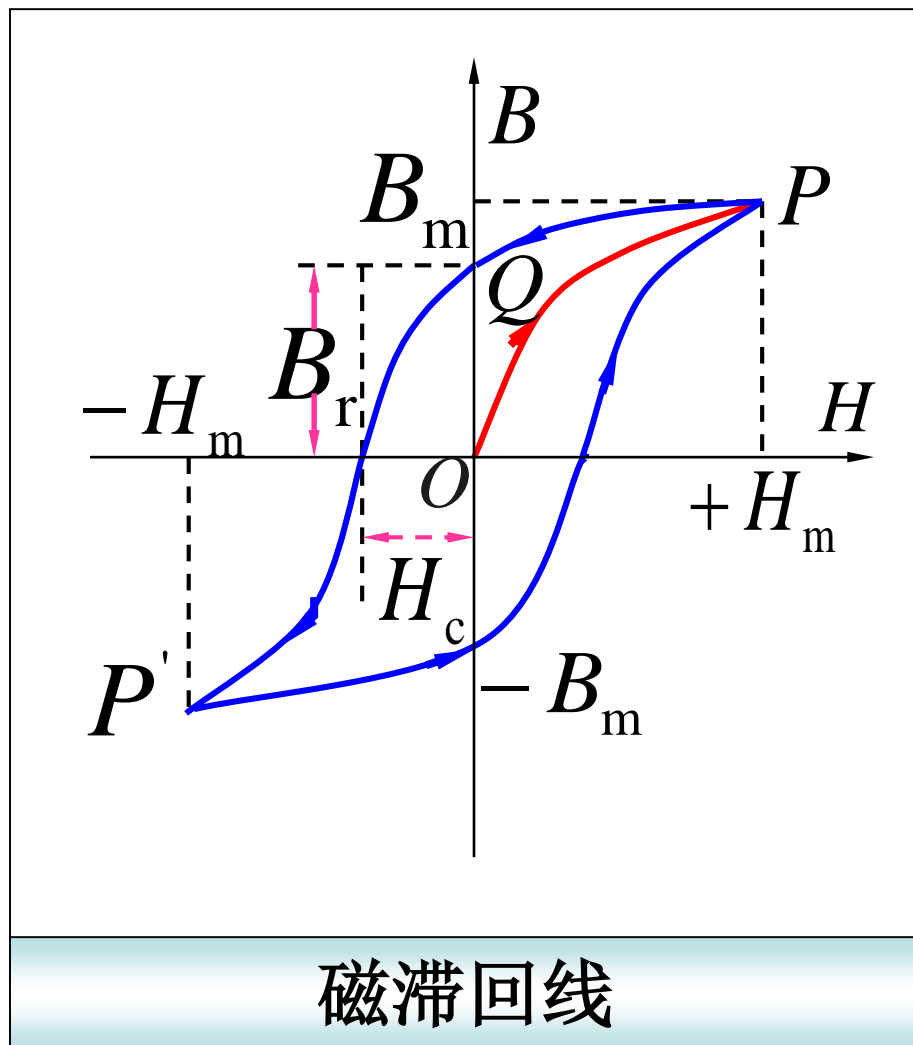




### 三 磁滞回线

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**）。

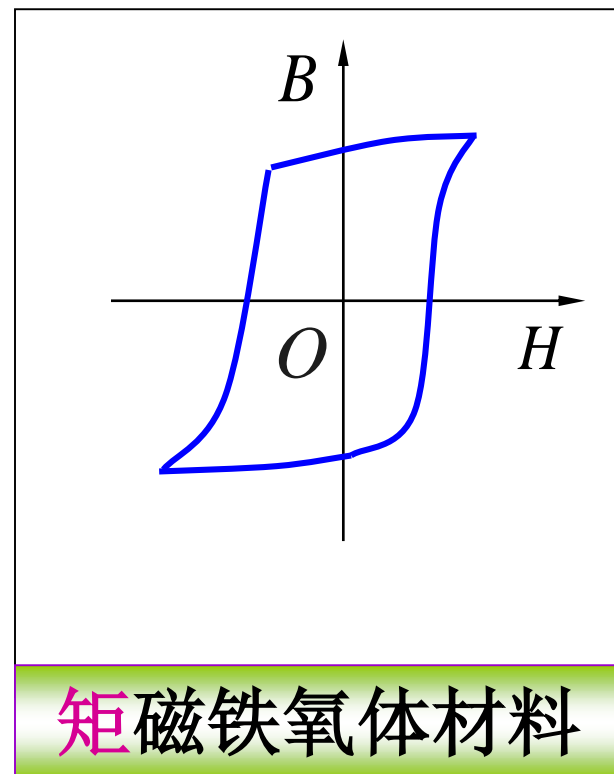
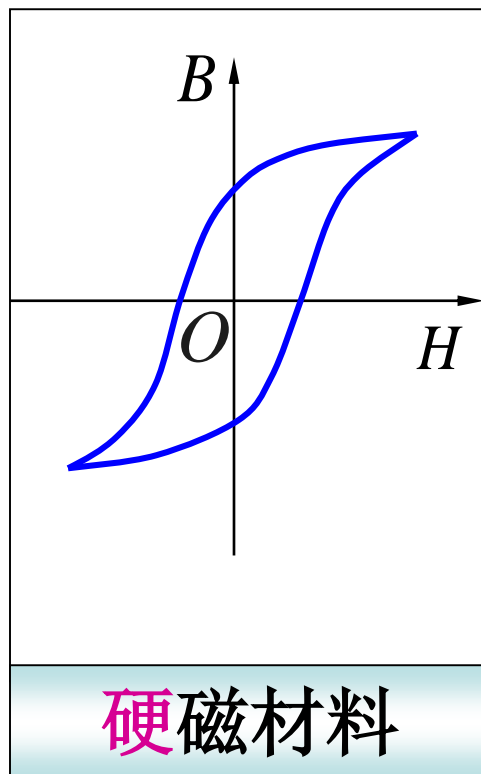
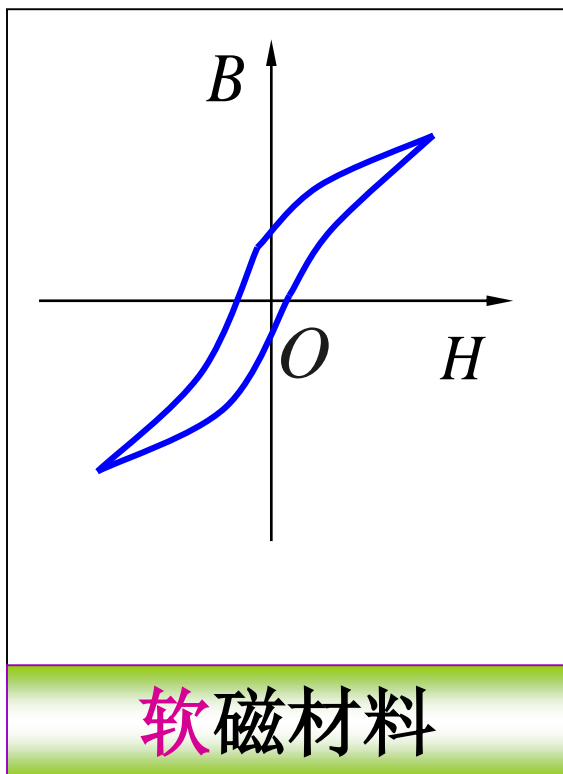


矫顽力

$H_c$

## 四 铁磁性材料

实验表明，不同铁磁性物质的磁滞回线形状相差很大。



## 五 磁屏蔽

把磁导率不同的两种磁介质放到磁场中，在它们的交界面上磁场要发生突变，引起了磁感应线的折射。

