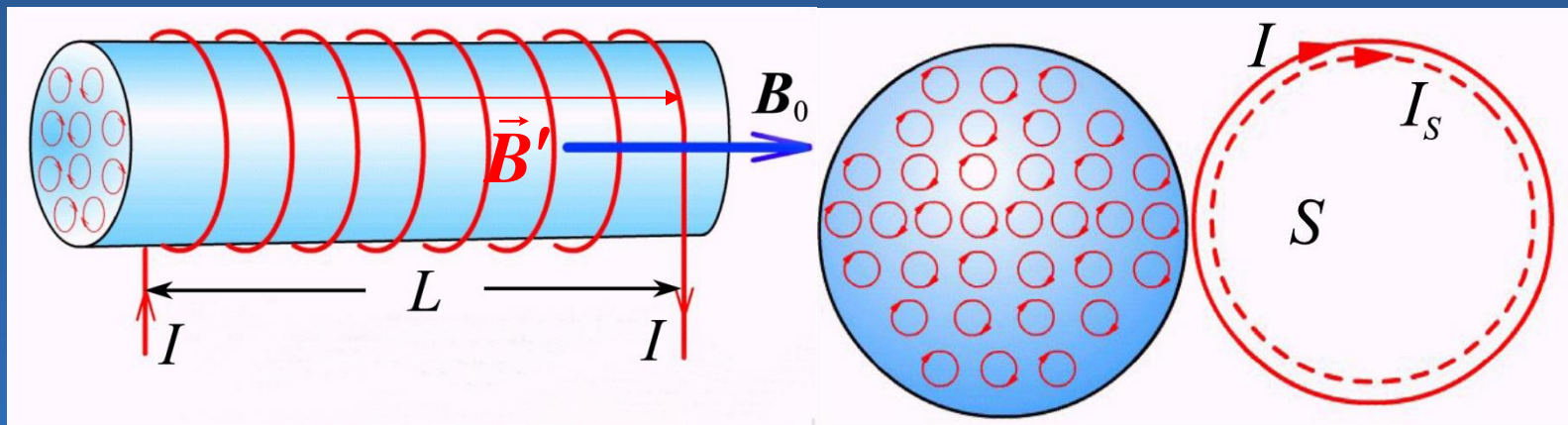


# 上节回顾

## 介质的磁化

当一块介质放在外磁场中将会与磁场发生相互作用，介质表面会产生磁化电流，介质中出现附加磁场。这种现象叫“磁化”。



# 上节回顾

## 有介质时高斯定理和安培环路定理

$$\oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{\sum_{\text{内}} (q + q')}{\epsilon_0}$$

$$\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum_{\text{内}} (I + I_s)$$

$$\oiint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \sum_{\text{内}} q$$

$$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_{\text{内}} I$$

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

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu}$$

$$\epsilon = \epsilon_0 (1 + \chi_e) = \epsilon_0 \epsilon_r \quad \mu = \mu_0 (1 + \chi_m) = \mu_0 \mu_r$$

# 上节回顾

## 磁介质分类

(1) 顺磁性介质：介质磁化后呈弱磁性。

附加磁场 $B$ 与外场 $B_0$ 同向。  $B > B_0$  ,  $\mu_r > 1$

(2) 抗磁性介质：介质磁化后呈弱磁性。

附加磁场 $B'$ 与外场 $B_0$ 反向。  $B < B_0$  ,  $\mu_r < 1$

(3) 铁磁性介质：介质磁化后呈强磁性。

附加磁场 $B'$ 与外场 $B_0$ 同向。  $B \gg B_0$  ,  $\mu_r \gg 1$

(4) 完全抗磁体：（ $\mu_r = 0$ ）：  $B = 0$ ，磁介质内的磁场等于零（如超导体）。

# 第十章

## 电磁感应 电磁场理论



## 本章内容

§ 10.1 电磁感应定律\*

§ 10.2 动生电动势 感生电动势\*\*

§ 10.3 自感和互感\*

§ 10.4 磁场的能量\*

§ 10.5 位移电流

§ 10.6 麦克斯韦方程组 电磁场理论

## § 10.1 电磁感应定律

### ◆ 电磁感应现象（磁生电）

### ◆ 电磁感应基本规律

- 楞次定律（方便判定感应电流方向）
- 法拉第电磁感应定律\*

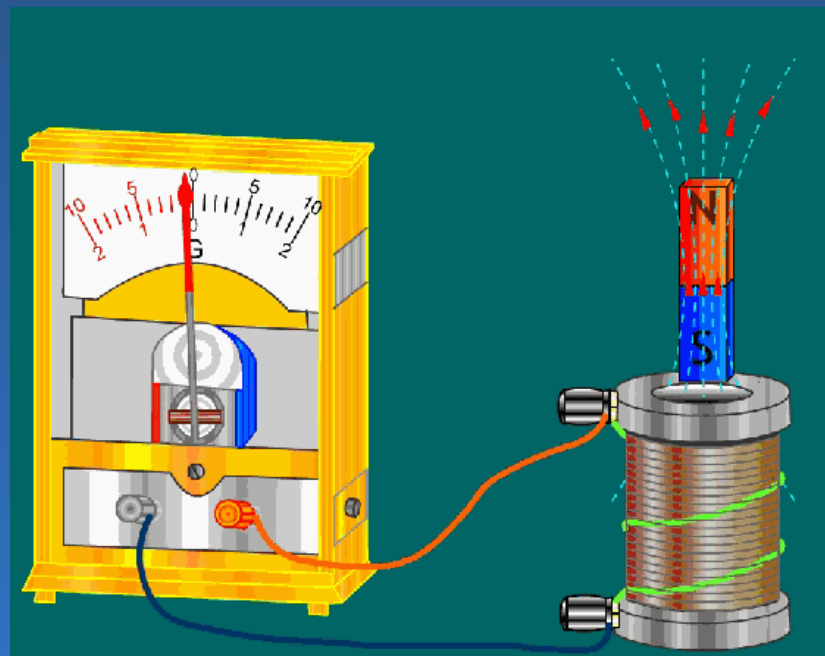
$$\varepsilon_i = - \frac{d\Phi_m}{dt}$$

# 一、电磁感应现象

## 实验一

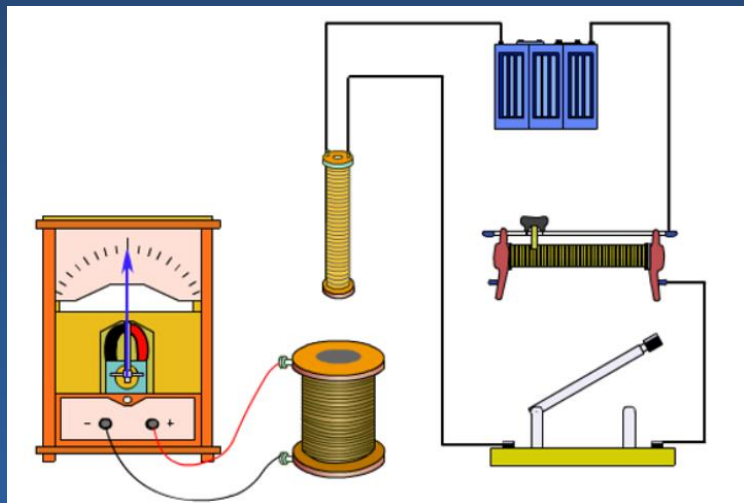
当磁铁与线圈保持相对静止时，回路中不存在电流。当条形磁铁插入或拔出线圈回路时，在线圈回路中会产生电流；

磁铁运动产生感应电流？

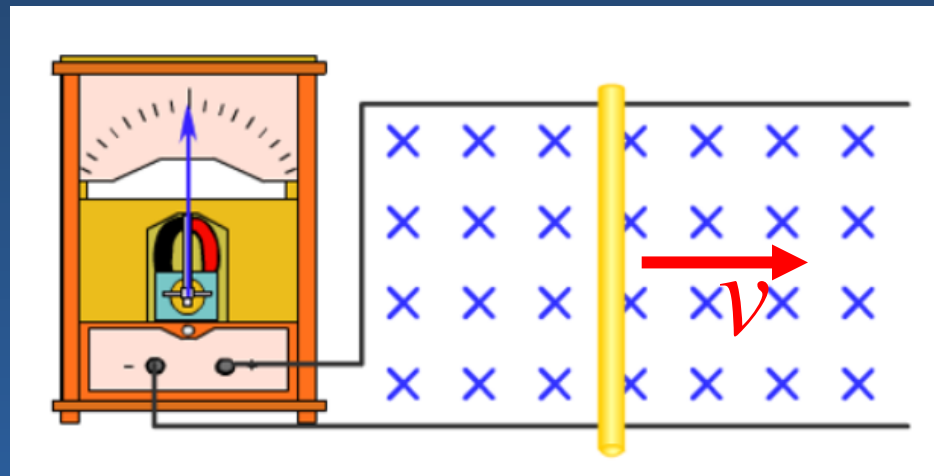


# 一、电磁感应现象

## 更多实验



变化磁铁产生感应电流？



导体棒切割磁感线运动产生感应电流？



# 一、电磁感应现象

---

## 结论

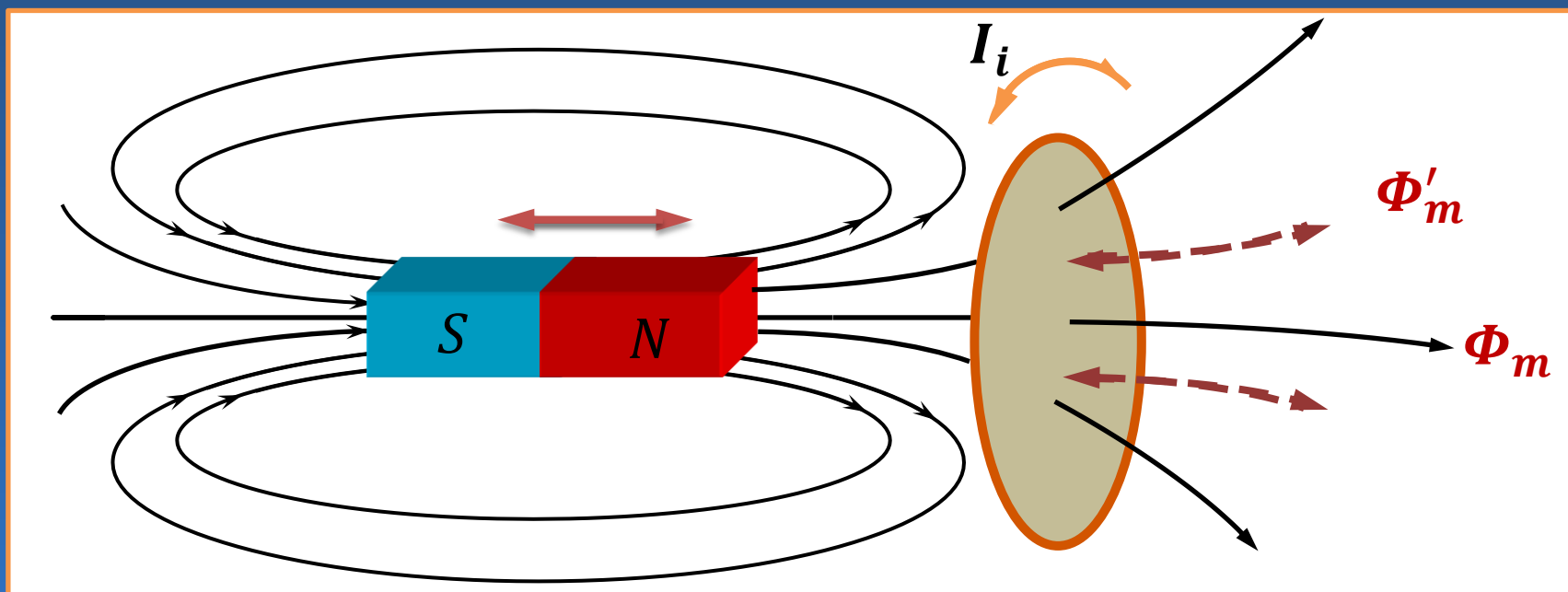
当穿过闭合回路的磁通量发生变化时（不管这种变化时什么原因引起的），将产生感应电动势，使回路中出现感应电流。这一现象称为电磁感应现象。

电磁感应现象中产生的电流称为感应电流，相应的电动势称为感应电动势。

## 二、电磁感应基本规律

### 1.楞次定律

闭合电路中感应电流  $I_i$  总是使它产生的磁通  $\Phi_m'$  阻碍引起  $I_i$  原磁通  $\Phi_m$  的变化。感应电流的效果总是反抗原磁通的变化。



## 二、电磁感应基本规律

### 1. 楞次定律

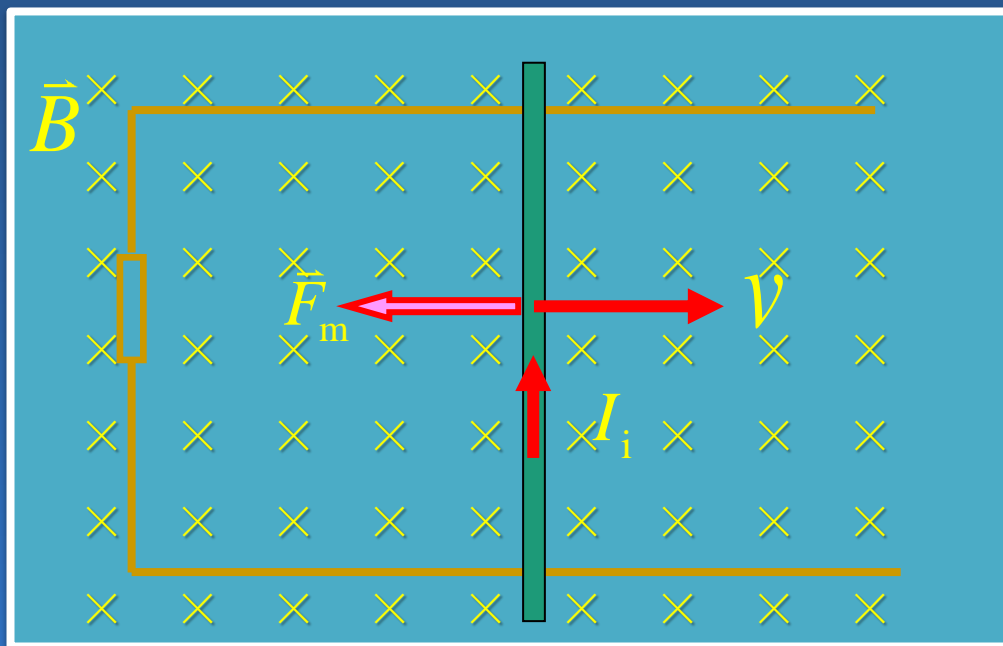
楞次定律是能量守恒与转化定律的必然结果。

例如

动能



电能



## 二、电磁感应基本规律

### 2. 法拉第电磁感应定律

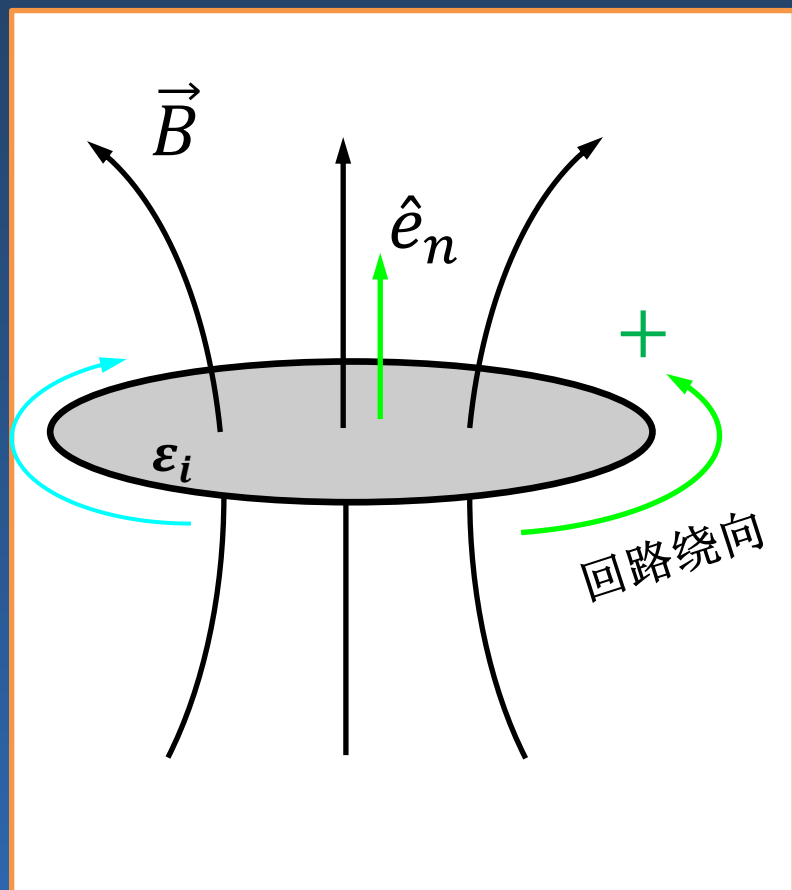
当穿过闭合回路所围面积的磁通量发生变化时，回路中会产生感应电动势，且感应电动势正比于磁通量对时间变化率的负值。

$$\varepsilon_i = - \frac{d\Phi_m}{dt}$$

$\varepsilon_i$  与  $\frac{d\Phi_m}{dt}$  有关，而与  $\Phi_m$  无关

等式中的“—”反映感应电动势或感应电流的方向与原磁通  $\Phi_m$  变化的关系，是楞次定律的数学体现。

## 二、电磁感应基本规律



符号规定

$$\mathcal{E}_i = - \frac{d\Phi_m}{dt}$$

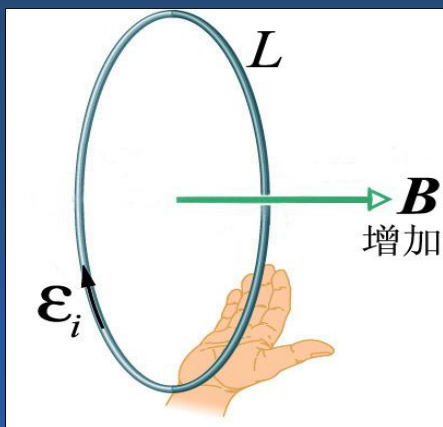
(1) 回路的正绕向可任取，但为了计算方便，一般将回路的绕行方向与原磁感应线方向成右手螺旋关系时取做正向 (+)，反之为负 (-)。

(2) 回路中的感应电动势与正绕行方向一致时为正，反之则为负。

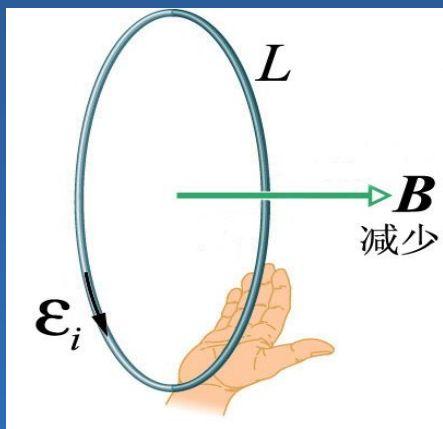
## 二、电磁感应基本规律

符号规定

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi_m}{dt}$$



$$\Phi_m > 0 \quad \frac{d\Phi_m}{dt} > 0 \quad \mathcal{E}_i < 0$$



$$\Phi_m > 0 \quad \frac{d\Phi_m}{dt} < 0 \quad \mathcal{E}_i > 0$$

## 二、电磁感应基本规律

### 2. 法拉第电磁感应定律

(1) 磁通量变化的原因:  $d\Phi = d(BS \cos \theta)$

$B$ 变、 $S$ 变、 $\theta$ 变

(2) 闭合回路由  $N$  匝密绕线圈组成

$$\varepsilon_i = -\frac{d}{dt}(\Phi_1 + \Phi_2 + \cdots + \Phi_N) = -\frac{d}{dt}\left(\sum_{i=1}^N \Phi_i\right) = -\frac{d\Psi}{dt}$$

全磁通

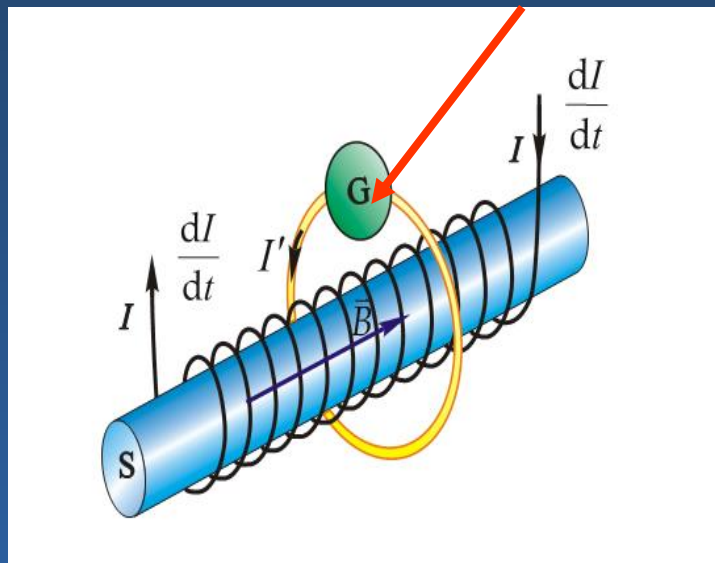
$$\Psi = \sum_{i=1}^N \Phi_i$$

磁通链数

$$\Psi = N\Phi \quad \varepsilon_i = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

## 二、电磁感应基本规律

(3) 设闭合线圈回路的电阻为 $R$ ,求通过导线的电量?



$$I' = \frac{\varepsilon_i}{R} = -\frac{1}{R} \frac{d\Psi}{dt}$$

$$q = \int_{t_1}^{t_2} I' dt = -\frac{1}{R} \int_{\Psi_1}^{\Psi_2} d\Psi$$
$$= \frac{1}{R} (\Psi_1 - \Psi_2)$$

**结  
论**

在  $t_1$  到  $t_2$  时间内感应电量仅与线圈回路中全磁通的变化量成正比，而与全磁通变化的快慢无关。