

物理学院



# 大学物理·电磁学

主讲教师：吴 喆

# 第 12 章 变化的电磁场

## 12.1 电磁感应定律

## 12.2 动生电动势与感生电动势

## 12.3 自感与互感

## 12.4 磁场能量

## 12.5 位移电流

## 12.6 麦克斯韦方程组

## 12.7 电磁波



## 12.1 电磁感应定律

### 本节的研究内容

- 电磁感应现象
- 电磁感应规律

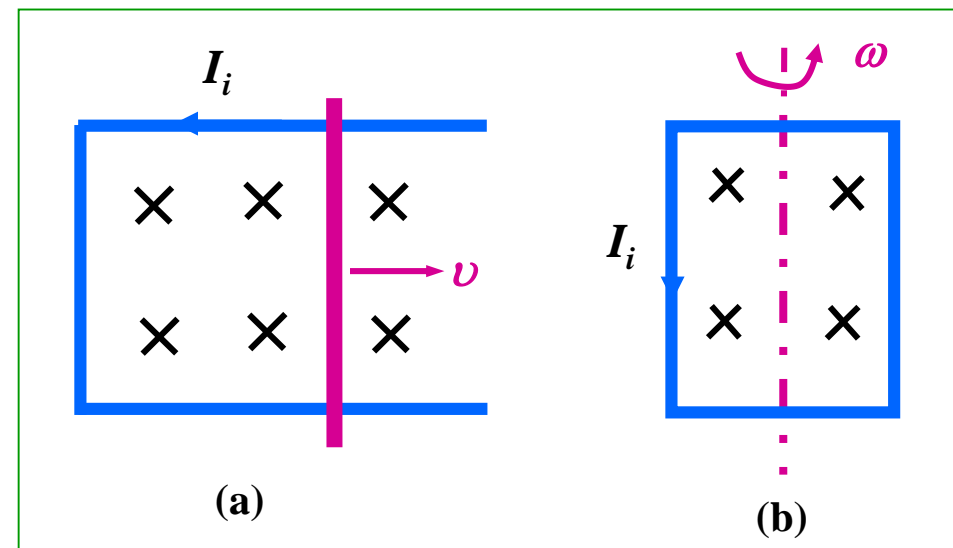
- 奥斯特实验：电流产生磁场
- 安培假说：一切磁现象起源于电荷的运动

电能生磁，磁能否生电？

### 12.1.1 电磁感应现象

#### (1) 导体在磁场中运动

如图所示，导体在磁场中运动，回路产生电流  $I_i$



## (2) 磁场变化

如图，导体不动磁场变化，回路中产生电流  $I_i$

➤ **思考：**这两类实验现象有什么共同点？

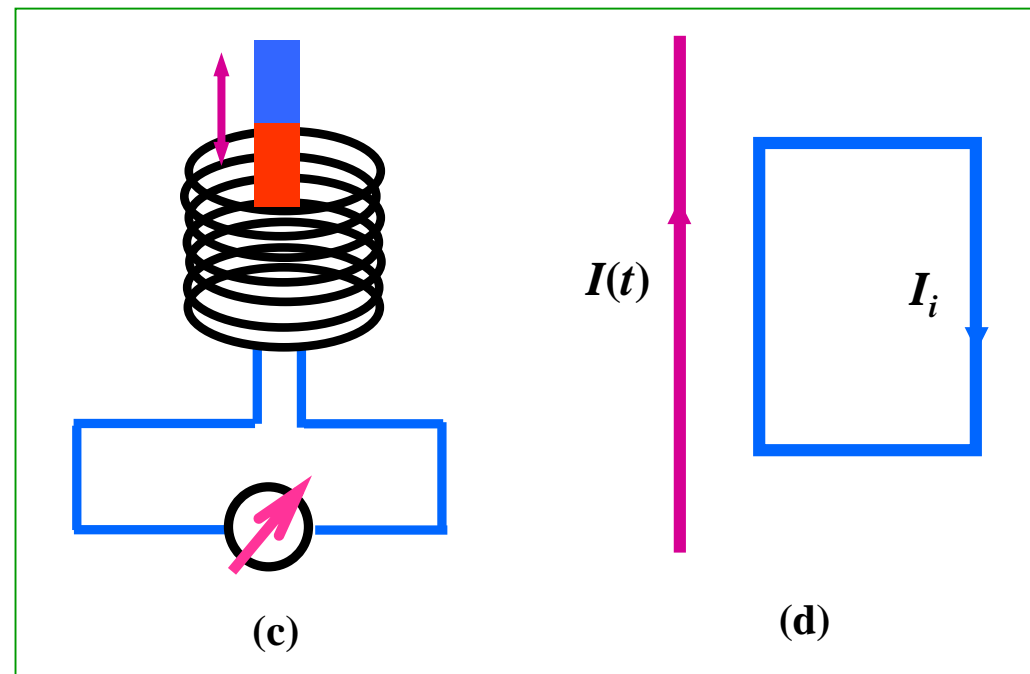
**共同点：**无论导体运动还是磁场变化，都引起回路中的磁通量发生变化，从而在回路中产生感应电流(感应电动势)，这就是**电磁感应现象**

### 12.1.2 电磁感应定律

法拉第指出：无论什么原因使通过回路的磁通量发生变化，就会在该回路产生**感应电动势**

**感应电动势：**

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



感应电动势:

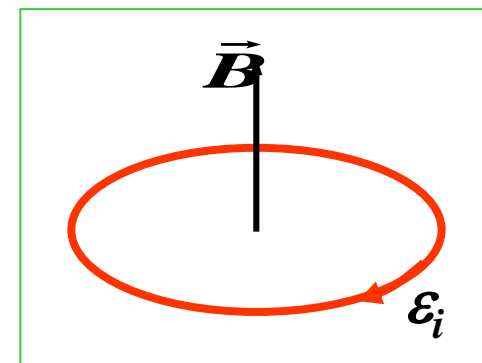
$$\varepsilon_i = -\frac{d\varphi_m}{dt}$$

- 式中  $\varphi_m$  是穿过回路所围面积  $S$  的磁通量, 即:  $\varphi_m = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$
- 式中负号表示感应电动势的方向与磁通量变化间的关系

如图所示, 若

$$\varphi_m \uparrow \rightarrow \frac{d\varphi_m}{dt} > 0 \rightarrow \varepsilon_i = -\frac{d\varphi_m}{dt} < 0$$

则  $\varepsilon_i$  与  $\vec{B}$  反方向符合右手螺旋关系。



- 若回路是面积相同的  $N$  匝线圈, 则

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

式中  $\Psi = N\varphi_m$  称为线圈的磁通链数简称**磁链数**

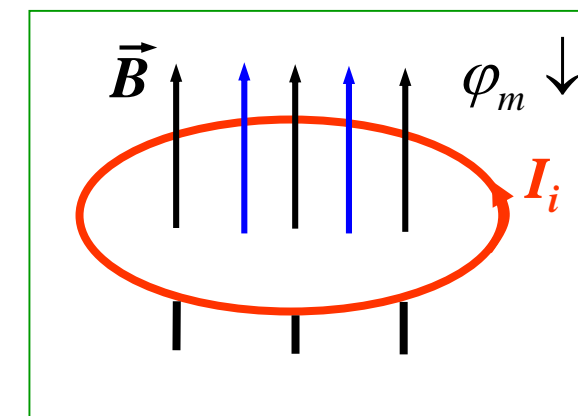
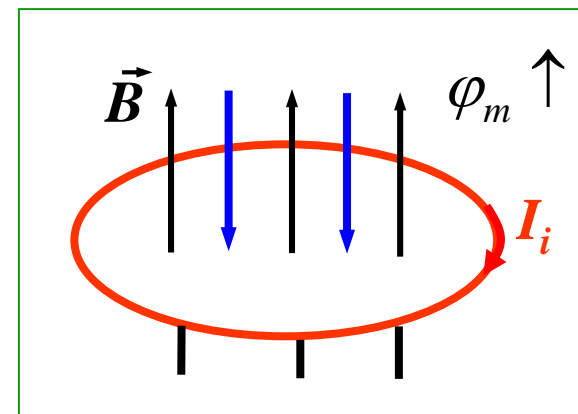


### 12.1.3 楞次定律

#### (1) 楞次定律

闭合导体回路中感应电流的方向，总是企图使它自身产生的磁场去**反抗**引起感应电流的**磁通量的改变**

- 若  $\varphi_m$  增加：感应电流的磁场线应与  $\vec{B}$  反向；  
所以感应电流  $I_i$  与原磁场  $\vec{B}$  的反方向成右手螺旋关系
- 若  $\varphi_m$  减少：感应电流的磁场线应与  $\vec{B}$  同向；  
所以感应电流  $I_i$  与原磁场  $\vec{B}$  的正方向成右手螺旋关系。

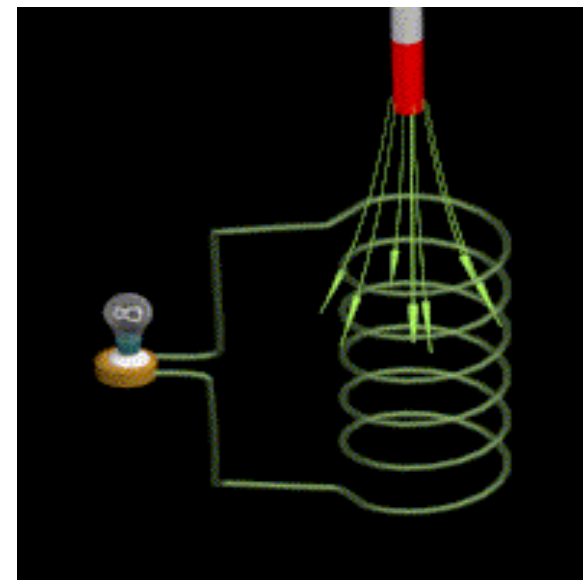


## (2) 楞次定律中的能量转换与守恒

### I 实验1:

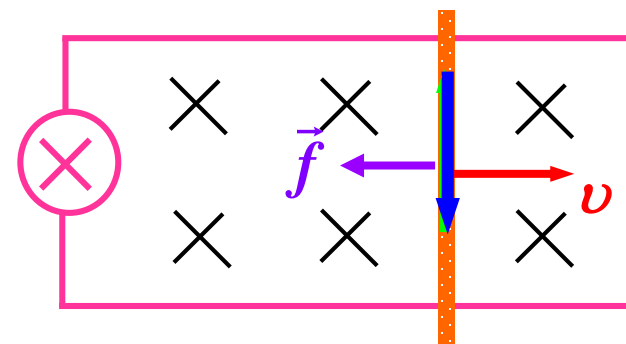
➤ **思考：**图中灯泡发光发热，能量从哪里来？

按楞次定律，线圈中感应电流的磁场对磁棒有阻力作用，磁棒移动过程中外界要克服磁力做功，正是这部分机械功转化成感应电流所释放的焦耳热。



### II 实验2:

按楞次定律，感应电流逆时针方向，导线受到与运动方向相反的安培力，所以要想维持回路中电流，外力必须克服安培力做功。这符合能量守恒定律。



➤ **思考：**如果把楞次定律中的“反抗”改为“助长”，情况会怎样？

### 12.1.4 电磁感应定律的应用

#### ——求闭合回路感应电动势、感应电流

##### (1) 求解步骤

- 求通过回路的磁通量(取正值):  $\varphi_m = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = \int_S B \cos \theta dS$

对匀强磁场中的平面线圈:  $\varphi_m = \vec{B} \cdot d\vec{S} = B \cos \theta dS$

- 求出回路的感应电动势:

$$\varepsilon_i = -\frac{d\varphi_m}{dt} \quad \text{或大小: } \varepsilon_i = \left| -\frac{d\varphi_m}{dt} \right|$$

- 根据楞次定律判断  $\varepsilon_i$  的方向
- 如果闭合回路的总电阻为  $R$ , 则回路中的感应电流:  $I_i = \frac{\varepsilon_i}{R}$



## (2) 应用举例

**例：** 面积 $S$ 、匝数 $N$ 的平面线圈，以角速度 $\omega$ 在匀强磁场中匀速转动；求线圈中的感应电动势。 设 $t=0$  线圈平面与磁场平行。

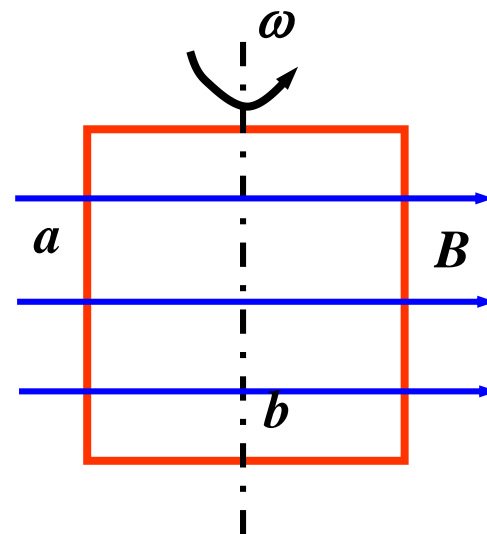
**解：** 均匀磁场中，穿过线圈的磁通量：  $\varphi_m = BS \cos \theta = BS \cos (\omega t + \theta_0)$

式中 $\theta_0$ 为 $t=0$ 时 $\vec{B}$ 与线圈法线方向间的夹角，此题中 $S=ab$ ， $\theta_0=\pi/2$

$$\therefore \varphi_m = Bab \cos (\omega t + \pi/2) = -Bab \sin(\omega t)$$

$$\varepsilon_i = -N \frac{d\varphi_m}{dt} = NBab \omega \cos \omega t$$

电动势大小和方向都做周期性变化，这就是交流发电机的工作原理







物理学院

# 谢谢大家!