

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



## 12.3 自感与互感

本节的研究内容

- 自感现象 自感电动势
- 互感现象 互感电动势

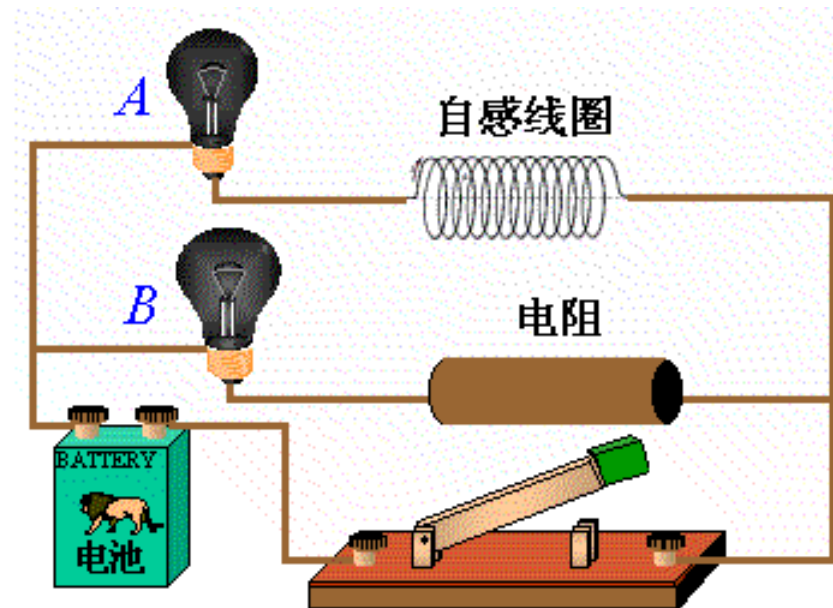
变化的电流  $\rightarrow$  变化磁场  $\rightarrow$  感生电动势

直接联系

### 12.3.1 自感现象 自感系数

➤ **思考：**为什么线圈支路的灯泡在开关闭合或断开时总是慢慢变亮或者熄灭呢？

由于回路电流变化，引起自身回路的磁通量变化，而在回路中激起感应电动势的现象叫做**自感现象**，产生的电动势叫做**自感电动势**

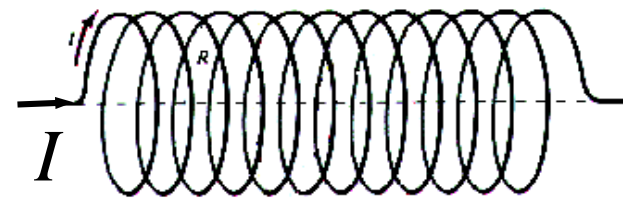




## (1) 自感电动势

设回路有 $N$ 匝线圈，通过线圈面积上的磁通量为 $\Phi_m$ ，则通过线圈的磁通链数：

$$N\Phi_m \propto I$$



设比例系数 $L$ ，叫做线圈的**自感系数**(简称自感)，即

$$N\Phi_m = LI$$

在非铁磁介质的情况下，自感系数 $L$ 与电流无关，仅与线圈的几何形状、大小、匝数及周围磁介质有关。在铁磁质中， $L$ 将受线圈中电流的影响。

根据法拉第电磁感应定律，**自感电动势**：
$$\varepsilon_L = -\frac{d(N\Phi_m)}{dt} = -\frac{d(LI)}{dt}$$

如果线圈自感系数 $L$ 为常量, 则

$$\varepsilon_L = -L \frac{dI}{dt}$$

式中负号说明:  $\varepsilon_L$ 总是阻碍(或者反抗) $I$ 的变化

若电流 $I$ 增加,  $\varepsilon_L$ 的方向与电流方向相反;

若电流 $I$ 减小,  $\varepsilon_L$ 的方向与电流方向相同

$L$ 有使回路保持原有电流不变的性质, 称为“电磁惯性”

## (2) 自感系数的计算

I 根据定义求 
$$L = \frac{N\Phi_m}{I} = \frac{\Psi_m}{I}$$

即自感系数在量值上等于线圈中通有单位电流时穿过线圈的磁通链数

## II 根据自感电动势求 $L = |-\varepsilon_L / (dI / dt)|$

即当线圈中电流变化率为一个单位时，线圈中自感电动势的大小就是线圈的自感系数

在SI制中，自感 $L$ 的单位为亨利，简称亨(H)。

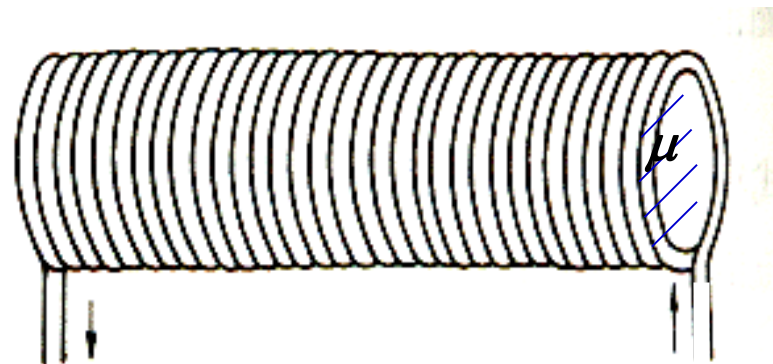
### (3)应用举例

**例** 一单层密绕、长为 $l$ 、截面积为 $S$ 的长直螺线管，单位长度上的匝数为 $n$ ，管内充满磁导率为 $\mu$ 的均匀磁介质。求该长直螺线管的自感系数。

**解** 设在长直螺线管中通以电流 $I$ ，则  $\Phi_m = BS = \mu n IS$

$$L = \frac{N\Phi_m}{I} = N\mu n S = \mu n^2 Sl, \quad Sl = V$$

长直螺线管的自感系数  $L = \mu n^2 V$



## 12.3.1 互感现象 互感系数

由于一个线圈中电流发生变化而在附近的另外一个线圈中产生感应电动势的现象叫做**互感现象**，产生的感应电动势叫做**互感电动势**

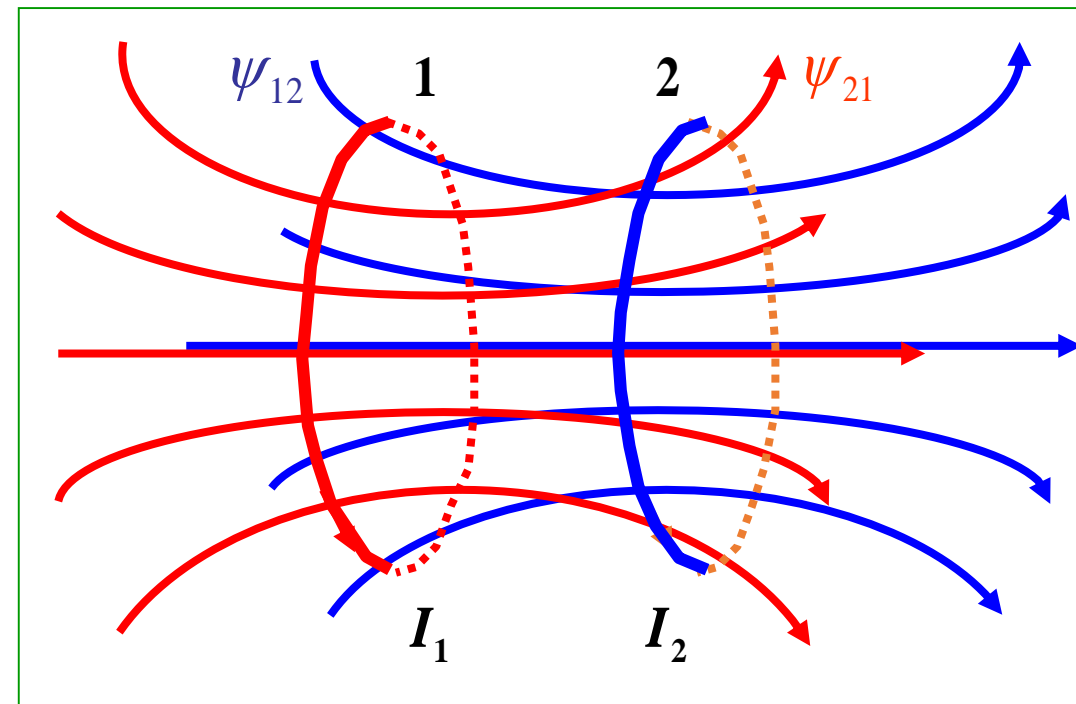
$I_1$  变化  $\longrightarrow \Psi_{21}$  变化  $\longrightarrow$  线圈2中产生  $\mathcal{E}_{21}$

$I_2$  变化  $\longrightarrow \Psi_{12}$  变化  $\longrightarrow$  线圈1中产生  $\mathcal{E}_{12}$

两线圈中的互感磁链

$$\begin{cases} \Psi_{21} = N_2 \Phi_{21} = M_{21} I_1 \\ \Psi_{12} = N_1 \Phi_{12} = M_{12} I_2 \end{cases}$$

式中  $M_{21}$ 、 $M_{12}$  称为两线圈间的**互感系数**(简称互感)，实验证明  $M_{21} = M_{12} = M$



### (1) 互感电动势

在非铁磁介质的情况下，互感系数 $M$ 与电流无关，仅仅与两线圈的形状大小、相对位置及周围的磁介质有关。当 $M$ 不变时，**互感电动势**：

$$\mathcal{E}_{21} = -M \frac{dI_1}{dt},$$

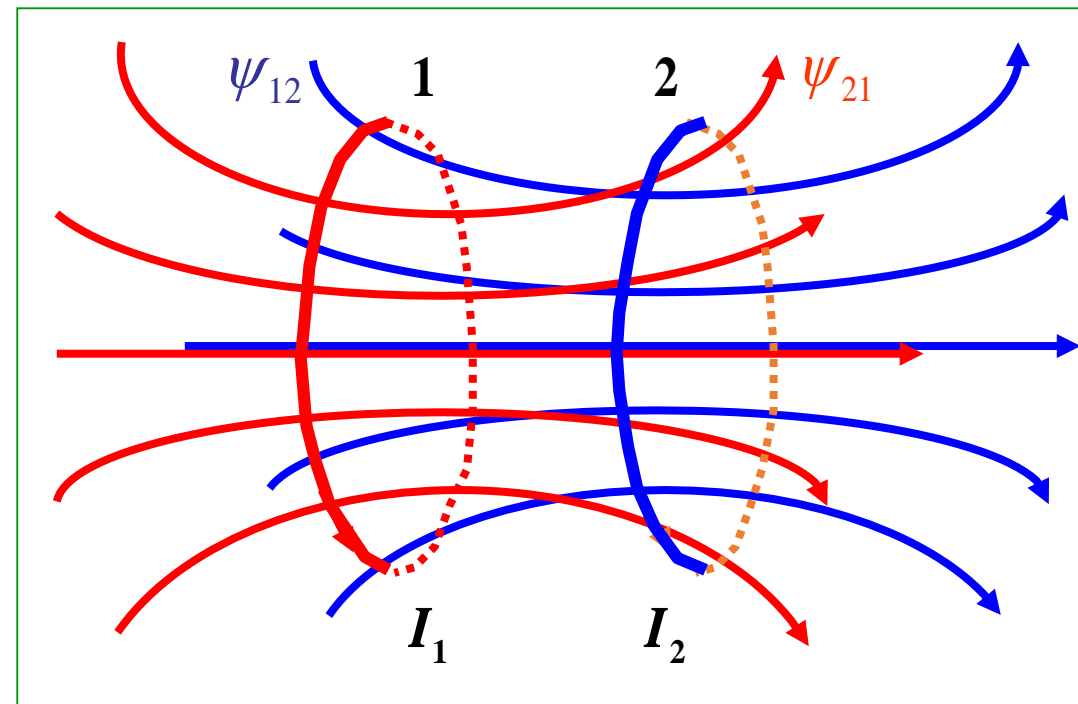
$$\mathcal{E}_{12} = -M \frac{dI_2}{dt}$$

互感电动势方向可根据楞次定律判断

### (2) 互感系数的计算

I 根据定义求  $M = \frac{\Psi_{21}}{I_1} = \frac{\Psi_{12}}{I_2}$

即互感系数在数值上等于其中一个线圈通有单位电流时，在另一个线圈中产生的总磁通量





II 根据互感电动势求  $M = \left| -\varepsilon_{21} / (dI_1 / dt) \right| = \left| -\varepsilon_{12} / (dI_2 / dt) \right|$

即当一个线圈中电流变化率为一个单位时，在另一个线圈中产生的互感电动势的大小就是互感系数

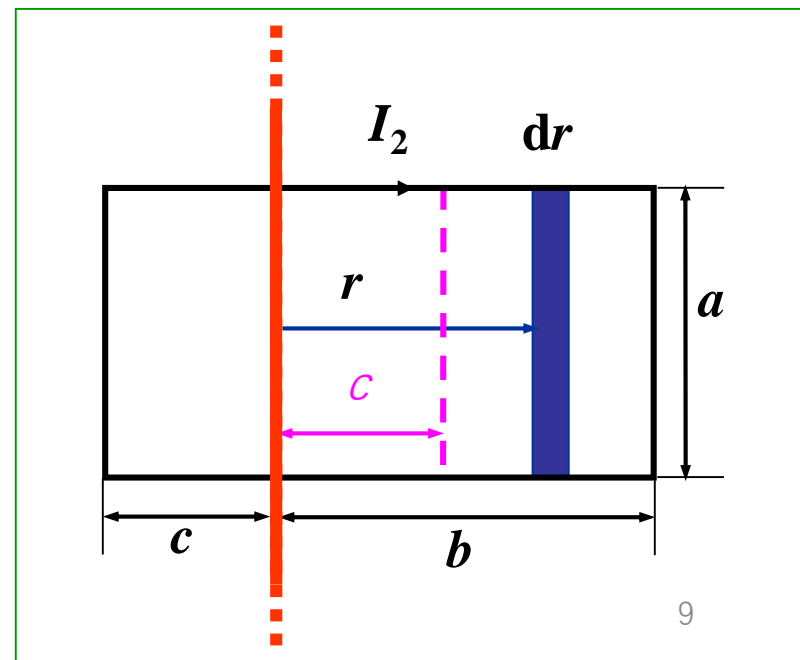
### (3)应用举例

**例** 一无限长直导线与一矩形线框在同一平面内，如图所示。当矩形线框中通以电流  $I_2 = I_0 \cos \omega t$  (式中  $I_0$  和  $\omega$  为常量) 时，求长直导线中的感应电动势。

**解** 先求互感系数  $M$

假定长直导线中通以电流  $I_1$ ，则  $B = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r}$

$$\Phi_{21} = \int_s B dS \cos \theta = \int_c^b \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r} a dr = \frac{\mu_0 I_1 a}{2\pi} \ln \frac{b}{c}$$



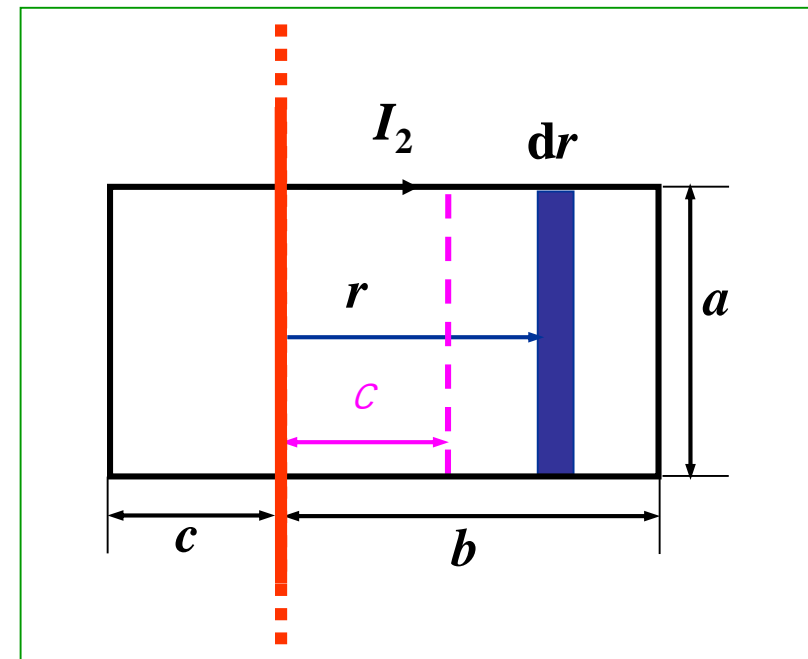
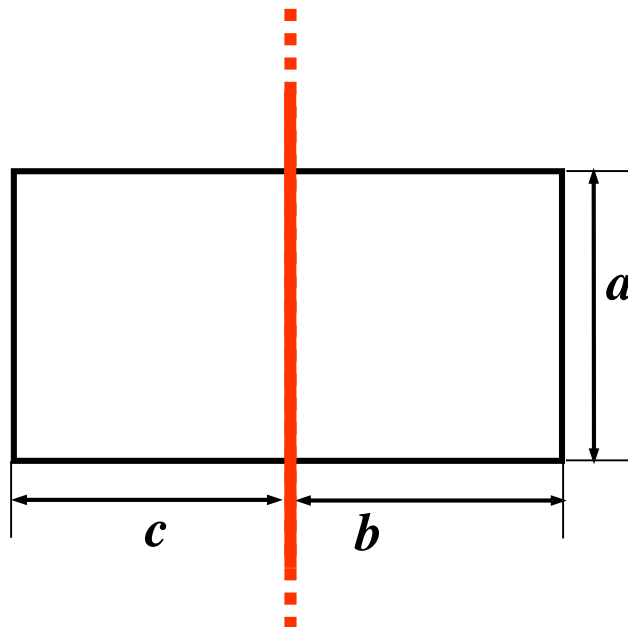
互感系数  $M = \frac{N_2 \Phi_{21}}{I_1} = \frac{\mu_0 a}{2\pi} \ln \frac{b}{c}$

长直导线中的感应电动势：

$$\varepsilon_{12} = -M \frac{dI_2}{dt} = \frac{\mu_0 a}{2\pi} \ln \frac{b}{c} I_0 \omega \sin \omega t$$

思考

两线圈怎样放置,  $M=0$ ?



$$b=c, M=0$$





物理学院

# 谢谢大家!