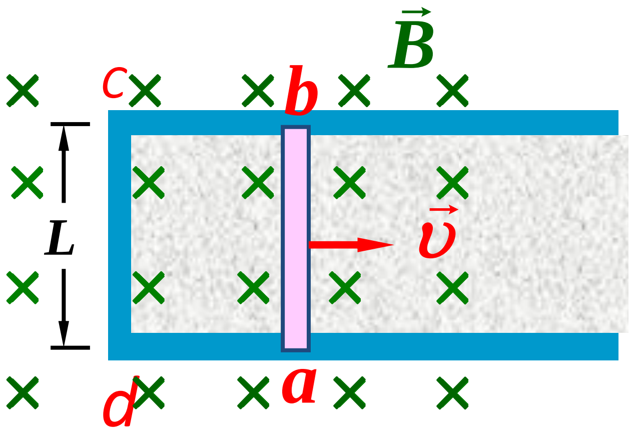
7.4.1 动生电动势

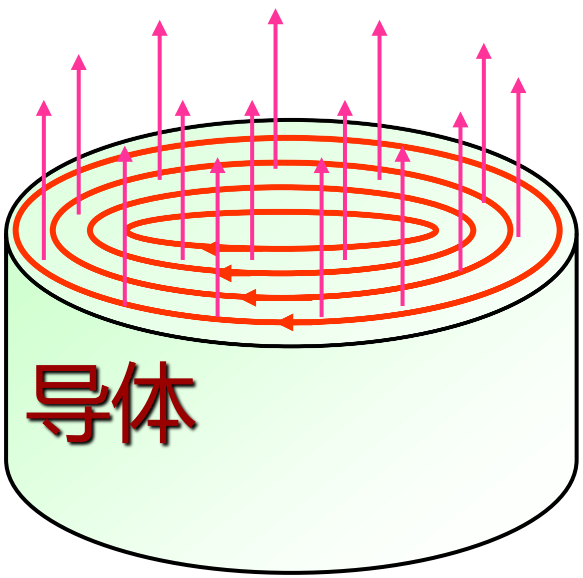
$$\varepsilon_i = -\frac{d}{dt}\int_S \vec{B}\cdot d\vec{S}$$



感应电动势可分为：

动生电动势：

磁场不变，导体运动（平动、转动）。

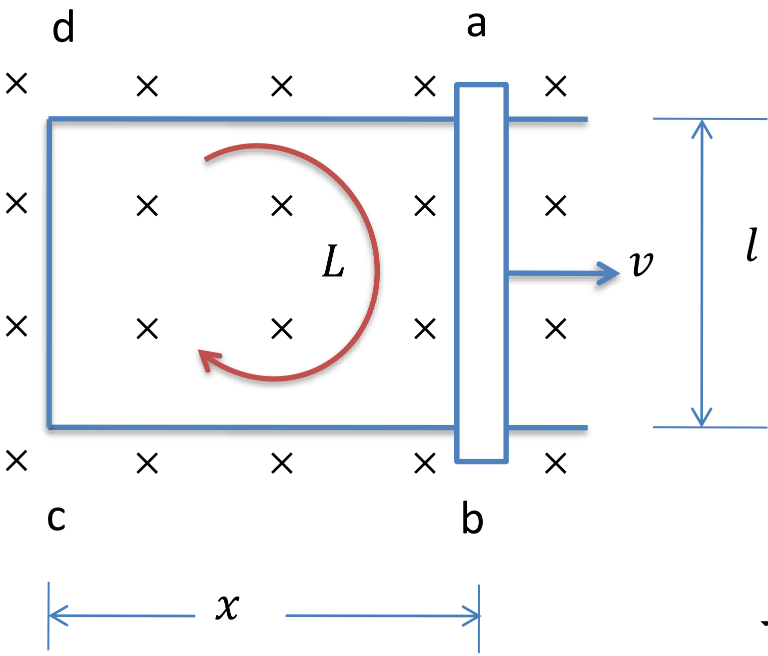


感生电动势：

磁场变化，导体不变。

7.4.1 动生电动势

动生电动势：导体在磁场中运动，切割磁感线。

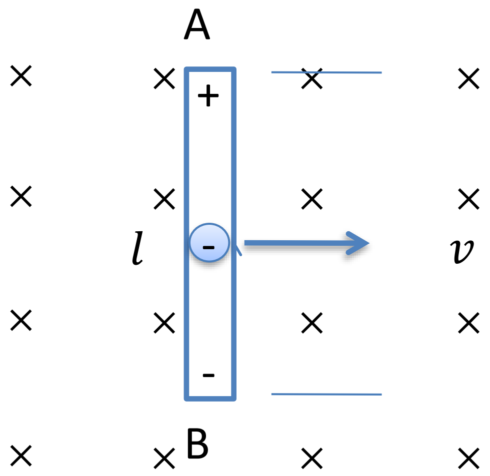


$$\varepsilon_i = -\frac{d}{dt}\int_S \vec{B}\cdot d\vec{S} = -B\frac{d}{dt}\int_S dS$$

$$= -B\frac{d(xl)}{dt} = -Bl\frac{dx}{dt} = -Blv$$

方向与回路L方向（在导体棒上，**a→b**）相反，即 **b→ a**

7.4.1 动生电动势



电子受洛伦兹力：$\vec{F} = -e\vec{v} \times \vec{B}$

非静电场强：$\vec{E}_k = \vec{v} \times \vec{B}$

电源电动势：$\varepsilon_i = \int_a^b (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l}$

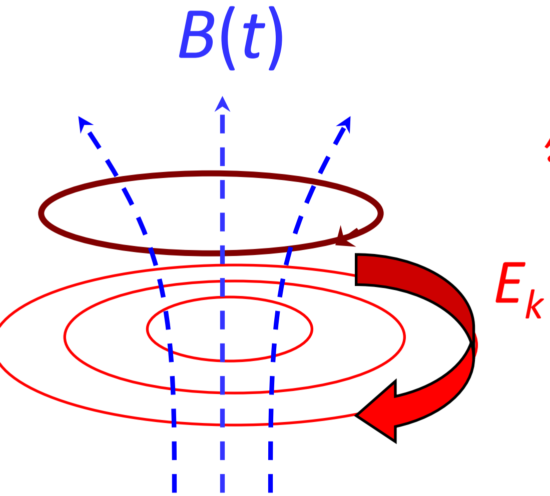
切割磁感应线 ⇨ 动生电动势

外力向右移动导线：
洛伦兹力向下分量移动电子，做正功。

电子向下运动：
洛伦兹力向左分量，做负功。
匀速运动的导线：水平方向的洛伦兹力与外力平衡。

洛伦兹力总功为零，机械能转化为电势能，即发电机。

7.4.2 感生电动势



感生电动势： $\varepsilon_i = -\dfrac{d\Phi_m}{dt} = -\displaystyle\int_S \frac{d\vec{B}}{dt}\cdot d\vec{S}$

导体与磁场无相对运动，非洛伦兹力。
静电力的来源？

感生电场（涡旋电场）： 变化磁场激发的一种电场。

感应电场的性质： 与是否有导体无关。

非保守场，电场线为闭合曲线。

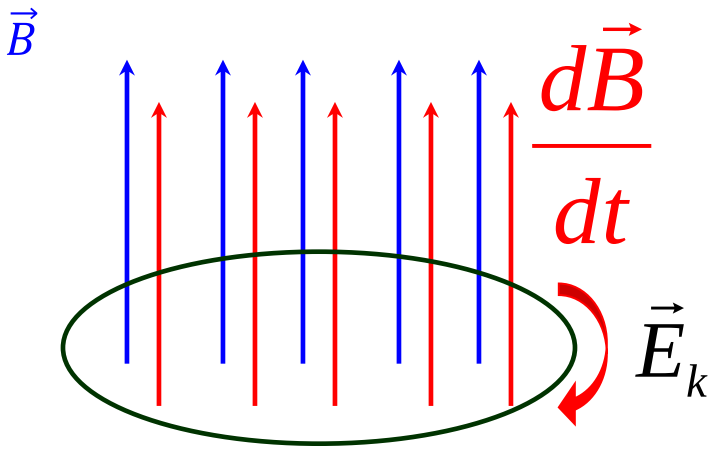
$$\varepsilon_i = \oint_l \vec{E}_k \cdot d\vec{l} = -\int_S \frac{d\vec{B}}{dt}\cdot d\vec{S} \neq 0$$

7.4.2 感生电动势

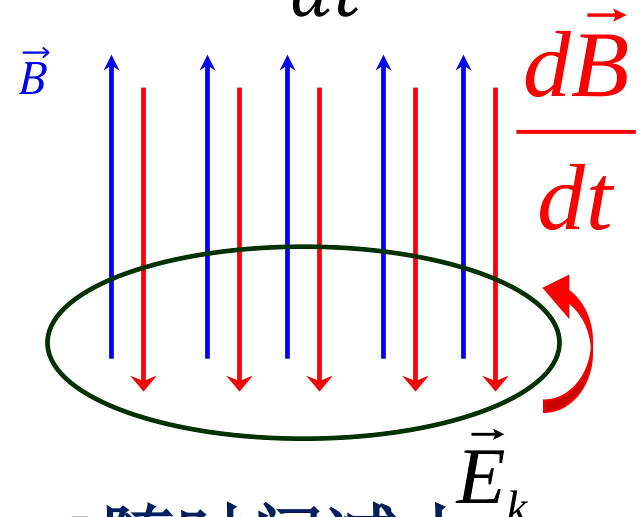
感生电动势： $\varepsilon_i = \oint_l \vec{E}_k \cdot d\vec{l} = -\int_S \frac{d\vec{B}}{dt} \cdot d\vec{S}$ 法拉第电磁感应定律

斯托克斯公式： $\oint_l \vec{E}_k \cdot d\vec{l} = \int_S (\nabla \times \vec{E}_i) \cdot d\vec{S}$

电磁感应定律的微分形式： $\nabla \times \vec{E}_i = -\frac{d\vec{B}}{dt}$



B随时间增加



B随时间减小

曲线积分基本公式:

对于单连通区域，无旋场是保守场；
保守场是无旋场；
积分结果与路径无关。

$$\int_a^b \vec{F} \cdot d\vec{r} = W(b) - W(a)$$

曲线积分　　端点的值　　端点--之间路径

斯托克斯公式:

XOY面上投影
即为格林公式

$$\int_S (\nabla \times \vec{E}) \cdot d\vec{S} = \oint_l \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

曲线--围成面积

向量场旋度的曲**面**积分　　向量场在曲面边界处的**线**积分

高斯公式:

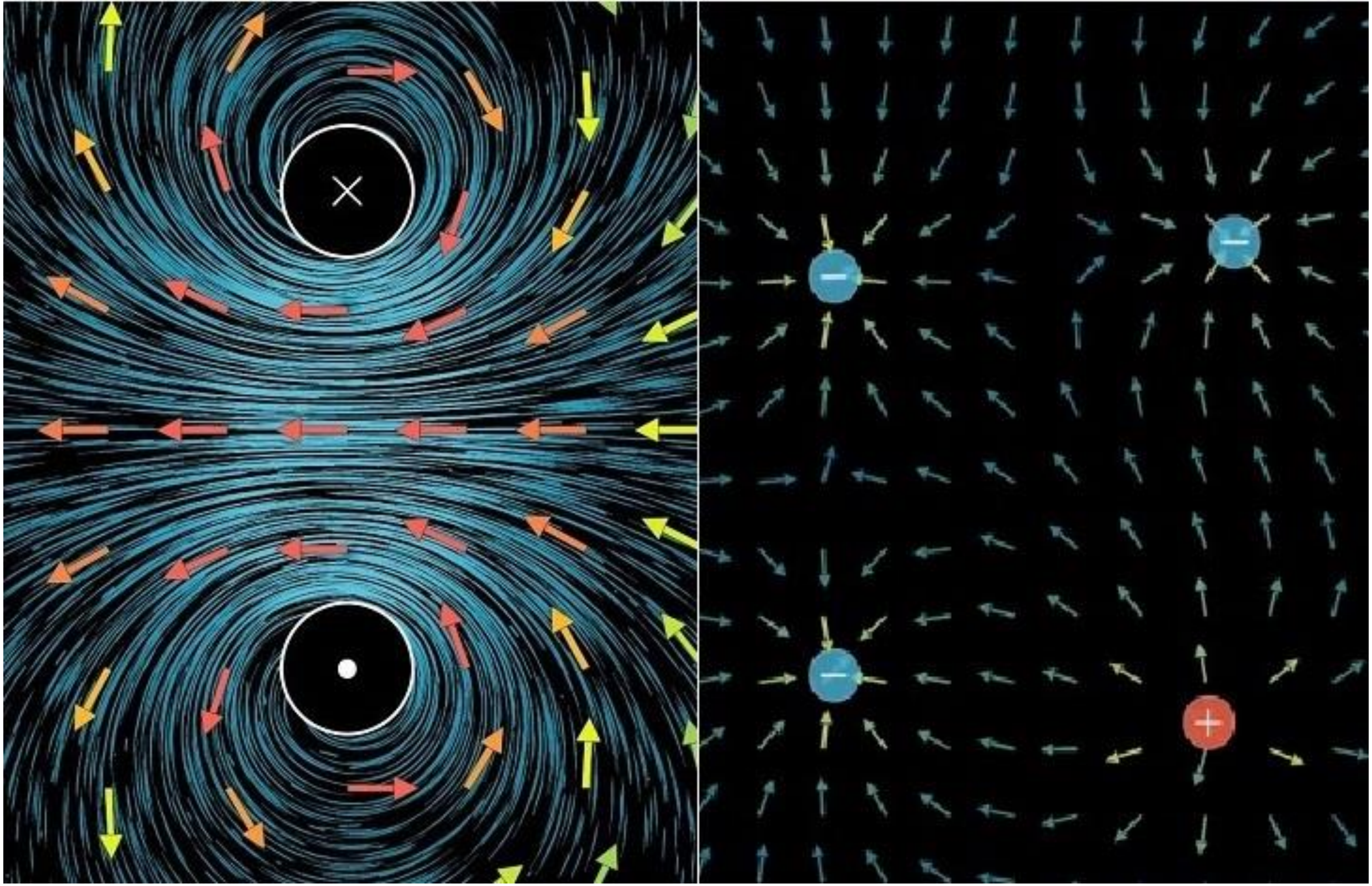
$$\int_V \vec{\nabla} \cdot \vec{E} dV = \oint_S \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{S}$$

曲面--围成体积

向量场旋度的**体**积积分　　向量场在体积表面的**面**积分

7.4.2 感生电动势

静电场	感生电场
场源：由静止电荷产生	由变化的磁场产生
共同点：对电荷有力的作用	对电荷有力的作用
$\oint_l \vec{E}_{静} \cdot d\vec{l} = 0$	$\oint_l \vec{E}_k \cdot d\vec{l} = \varepsilon_i \neq 0$
（无旋场）	（涡旋场）
$\oint_S \vec{E}_{静} \cdot \mathrm{d}\vec{S} = \frac{1}{\varepsilon_0}\sum_{i=1}^{n} q_i$	$\oint_S \vec{E}_k \cdot \mathrm{d}\vec{S} = 0$
（有源场）	（无源场）

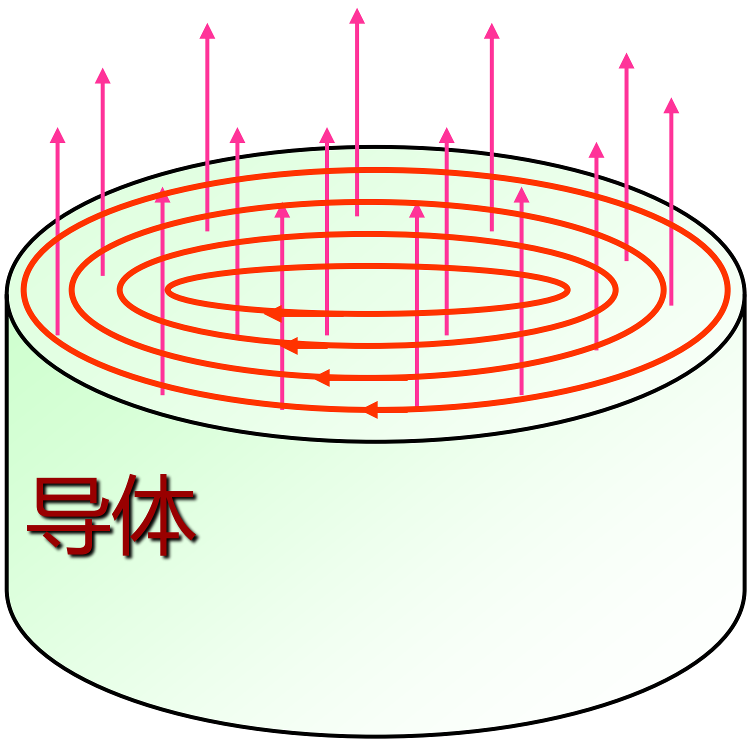


旋度描述矢量场中某点附近的旋转程度（切向）。
散度描述矢量场中某点附近的发散程度（法向）。

7.4.2 感生电动势

涡旋电流：感应电动势形成环形的感应电流。

电磁炉：利用涡旋电流的焦耳热效应使导体升温，从而实现加热



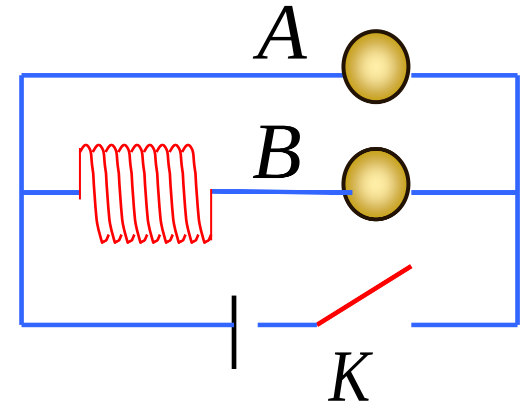
7.4 作业

7.9　7.15

7.5.1 自感现象与自感系数

自感现象： 线圈中**电流发生变化**时，线圈**本身**产生感生电动势。

$$I(t) \to B(t) \to \psi(t)\text{若变化} \to \varepsilon$$

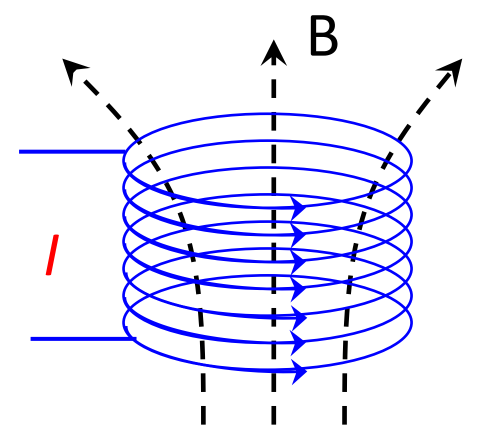


K 合上，灯 *A* 瞬间亮，
*B*缓缓变亮；
K 断开，两灯会逐渐变暗

电流产生磁通量： $\Psi = LI$

法拉第电磁感应：

$$\varepsilon_L = -\frac{d\Psi}{dt} = -\frac{d}{dt}(LI)$$

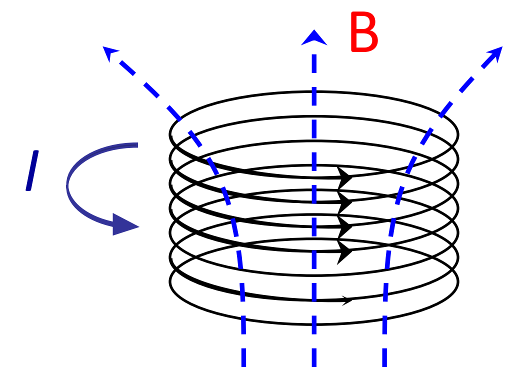


自感系数为常量时，自感电动势：

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

7.5.1 自感现象与自感系数

自感电动势： $$\varepsilon_L = -L\frac{dI}{dt}$$



自感系数：

线圈**反抗**电流变化的能力。

L越大，电流越难改变，“电惯性”。

单位：亨利。

负号表示自感电流反抗线圈中电流变化。

自感: $$L = -\frac{\varepsilon_L}{(\frac{dI}{dt})}$$

电阻： $$R = \frac{U}{I}$$

电动势与“电流对时间微分”成正比，
比例系数L。
负号：电动势阻止电流变化。

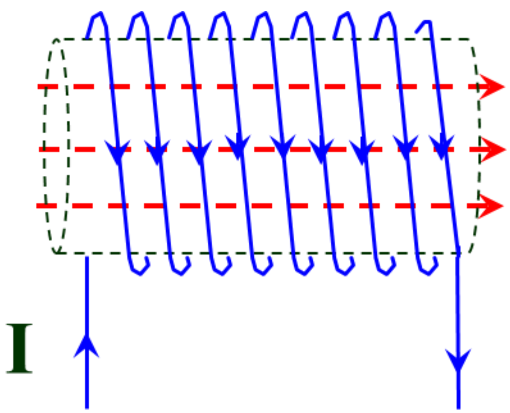
电压差与电流大小成正比，比例系数R。
正号：电流越大，电压差越大。

7.5.1 自感现象与自感系数

例： 求单层密绕长直螺线管的自感。

已知 匝线数*N*、面积S、长度l。

解： 设回路中通有电流I，



$$B = \mu_0 n I = \mu_0 I \frac{N}{l}$$

$$\Psi = NBS = \mu_0 \frac{N^2}{l} SI$$

$$L = \frac{\Psi}{I} = \frac{\mu_0 N^2 S}{l}$$

7.5.2 互感现象与互感系数

互感现象：

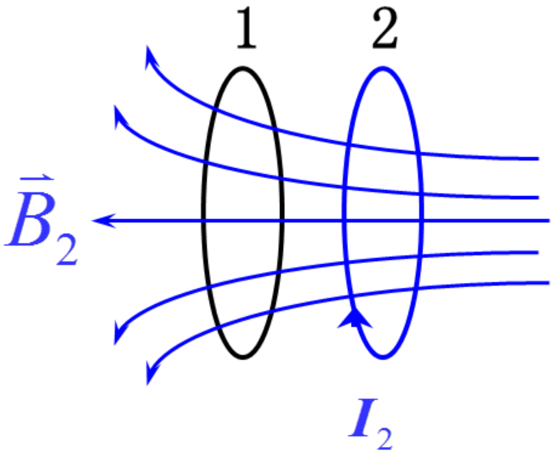
线圈内电流变化，引起临近线圈产生电动势。

$$I_2(t) \rightarrow B_1(t) \rightarrow \psi_1(t)\text{若变化} \rightarrow \varepsilon_1$$

磁链：

$$\psi_1(t) = M_{12} I_2$$

$$\psi_2(t) = M_{21} I_1$$



互感电动势：

$$\varepsilon_1 = -M_{12}\frac{dI_2}{dt}$$

$$\varepsilon_2 = -M_{21}\frac{dI_1}{dt}$$

注：此处默认互感系数为常量。

7.5.2 互感现象与互感系数

互感电动势：

$$\varepsilon_1 = -M_{12}\frac{dI_2}{dt} \qquad \varepsilon_2 = -M_{21}\frac{dI_1}{dt}$$

互感系数：

$$\mathrm{M}_{12} = -\frac{\varepsilon_1}{\frac{dI_2}{dt}} \qquad \mathrm{M}_{21} = -\frac{\varepsilon_2}{\frac{dI_1}{dt}}$$

理论及实验证明：

$$M_{12} = M_{21} = M = K\sqrt{L_1L_2} \quad (0 \le K \le 1)$$

K=1，任一线圈产生的磁场都能无遗漏的穿过另一个线圈。

互感系数仅与两个线圈形状、大小、匝数、相对位置以及周围的磁介质有关，反映两个线圈互相影响的能力。

互感原理应用： 变压器，无线充电，感应发电机等。

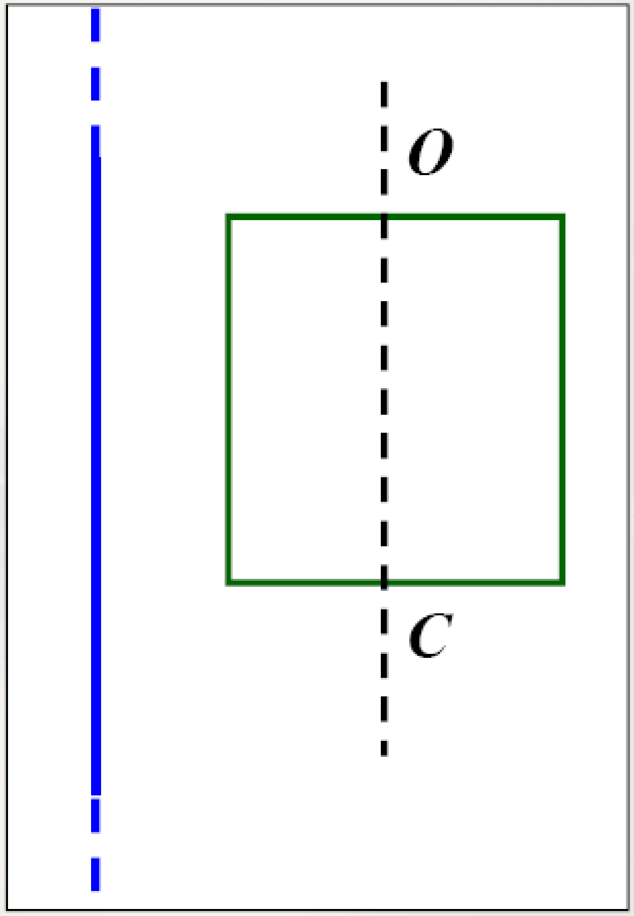
下列几种情况互感是否变化？

(1) 线框平行直导线移动；　无

(2) 线框垂直于直导线移动；　有

(3) 线框绕 *OC* 轴转动；　有

(4) 直导线中电流变化。　无

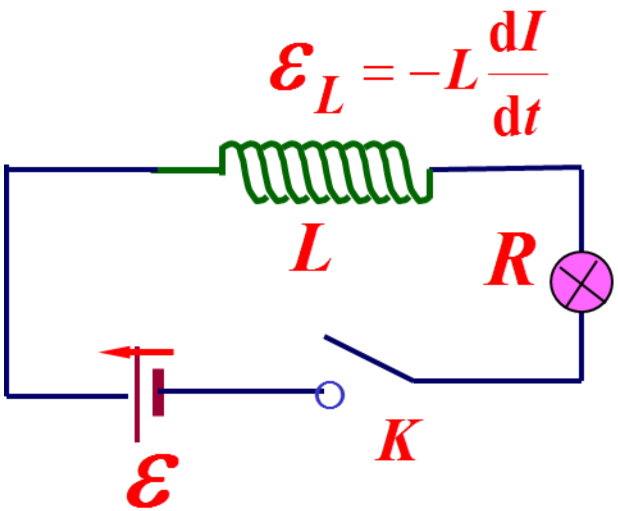


互感系数仅与两个线圈形状、大小、匝数、相对位置以及周围的磁介质有关。

7.5 作业

7.16，7.18

7.6 磁场的能量



自感电动势：

$$\varepsilon_L = -L\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t},$$

克服自感电动势所需要的功：

时间dt内： $dW = -(L\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t})Idt = LI\mathrm{d}I$

电流从0到I_0： $W = \int_0^{I_0} LI\mathrm{d}I = \frac{1}{2}LI_0{}^2$

自感线圈中磁场能量：

线圈内的自感系数 $L = \mu n^2 V$

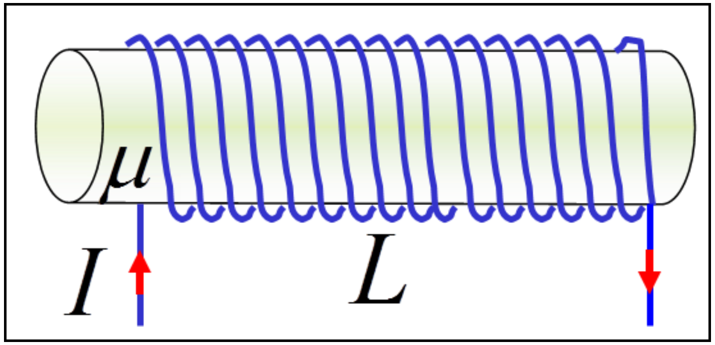
线圈内的磁感应强度 $B = \mu n I$

$$W_\mathrm{m} = \frac{1}{2}LI^2 = \frac{1}{2}\mu n^2 V(\frac{B}{\mu n})^2 = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu}V$$

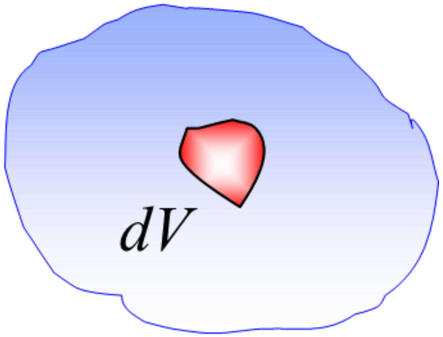
7.6 磁场的能量

自感线圈中磁场能量：

$$W_m = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu}V$$



磁能密度： $B = \mu H$



$$w_m = \frac{W_m}{V} = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu} = \frac{1}{2}\mu H^2 = \frac{1}{2}BH$$

对比电场能量密度： $w_e = \frac{1}{2}\varepsilon E^2$