§ 10.2 动生电动势 感生电动势

产生感应电动势的非静电力：

◆ 动生电动势

$$\mathrm{E}_i = \int_{(-)}^{(+)} \vec{E}_k \cdot d\vec{l} = \int_{(-)}^{(+)} (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l}$$ 洛伦兹力

◆ 感生电动势

涡旋电场

与静电场差别

一、两种形式的感应电动势

感应电动势 $$\varepsilon_i = -\frac{\mathrm{d}\Phi_m}{\mathrm{d}t}$$

动生电动势 在稳恒磁场中运动的导体内产生的感应电动势。

感生电动势 导体不动，因磁场的变化产生的感应电动势。

$$\mathrm{d}\Phi = d(BS\cos\theta)$$

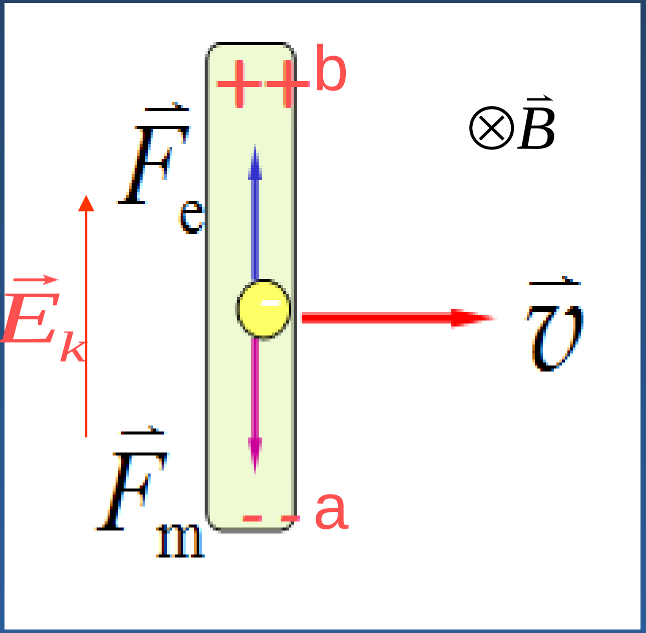
B变 感生电动势

S变 导体平动 动生电动势

θ变 导体转动 动生电动势

二、动生电动势

1、动生电动势产生机理



导体棒以v作匀速直线运动

运动导体内电子受洛伦兹力：

$$\vec{F}_m = (-e)\vec{v} \times \vec{B}$$

电荷积累在导体内建立电场：

$$\vec{F}_e = -e\vec{E}$$

动态平衡无宏观定向运动：$\vec{F}_m = \vec{F}_e$

导体棒相当一电源：上端为正极，下端为负极

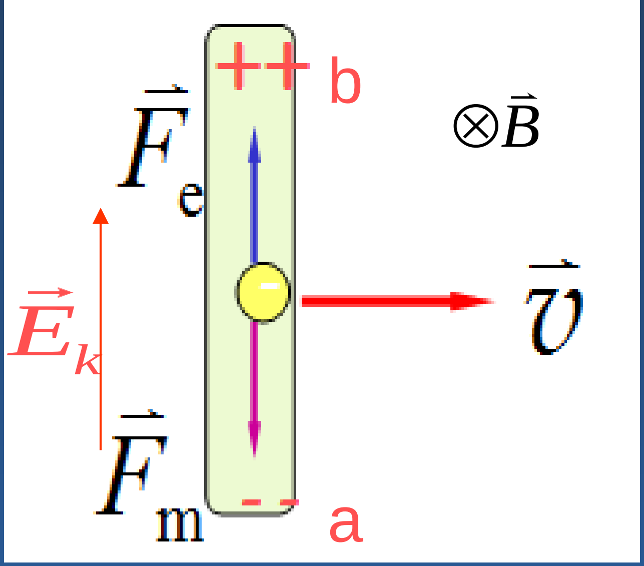
二、动生电动势

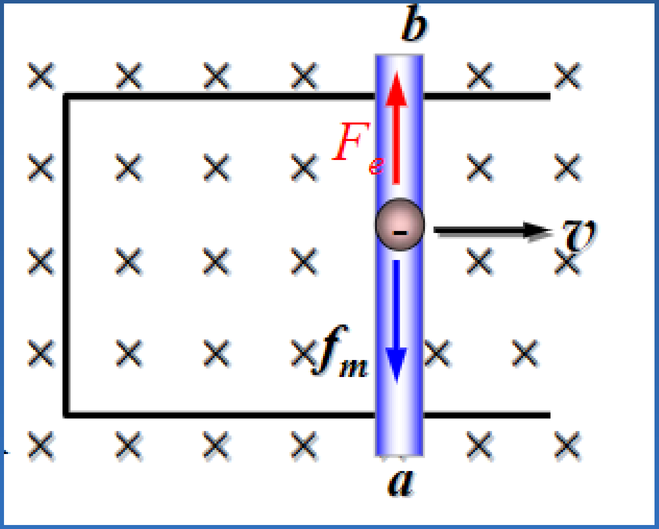
1、动生电动势产生机理

非静电力：$\vec{F}_{\mathrm{m}} = (-e)\vec{v} \times \vec{B}$

非静电场：$\overrightarrow{E_k} = \vec{v} \times \vec{B}$

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





（1）动生电动势存在于运动导体上；不动的导体不产生电动势，提供电流通路

（2）没有回路的导体在磁场中运动，有电动势而无感应电流当

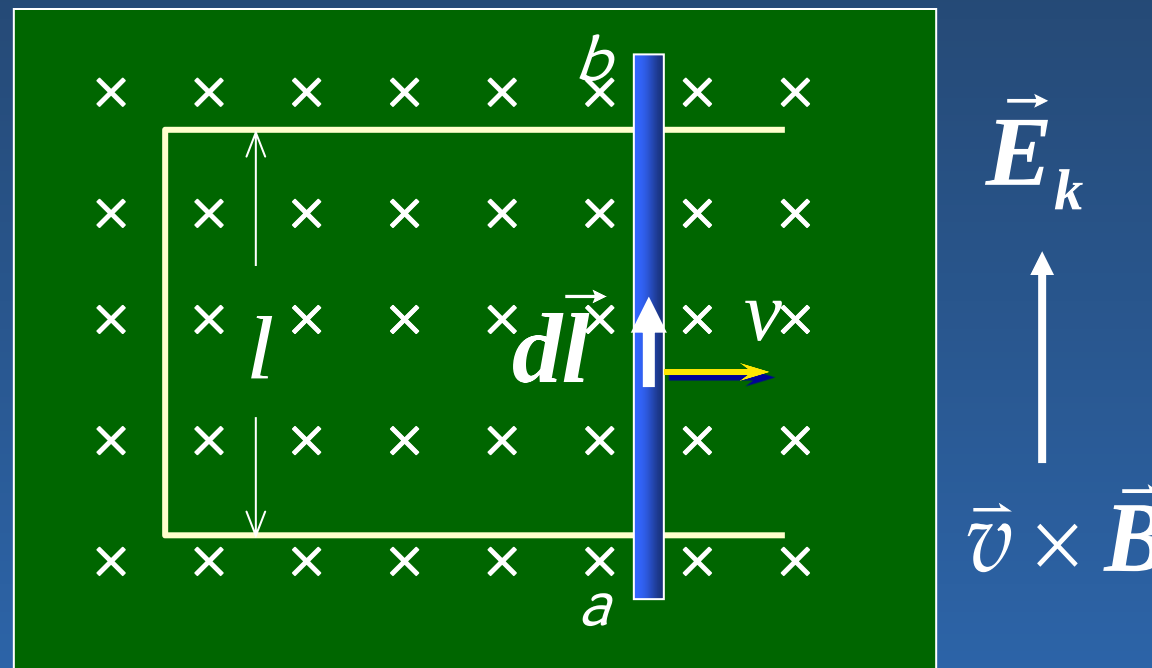
例1. 一矩形导体线框，宽为l，与运动导体棒构成闭合回路。如果导体棒一速度v 作匀速直线运动，求回路内的感应电动势。

解：　法一

$$\varepsilon_i = \int_a^b (\vec{v}\times\vec{B})\cdot \mathrm{d}\vec{l}$$

$$= \int_0^l vB\mathrm{d}l$$

$$= vBl$$



电动势方向 $a \rightarrow b$

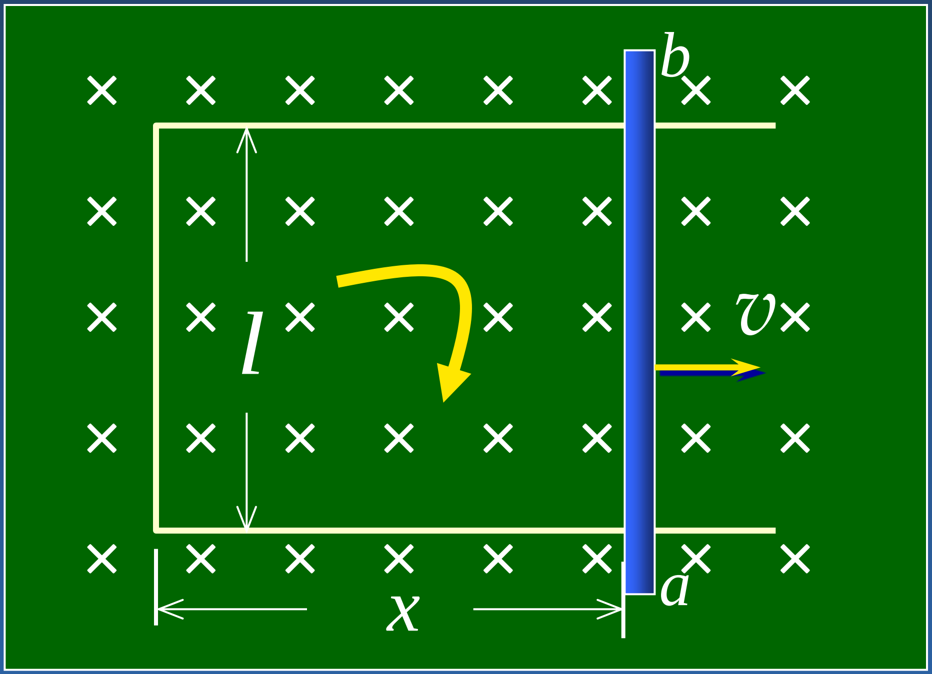
解法二　选顺时针为回路方向

$$\Phi_m = Blx$$

$$\varepsilon_i = -\frac{\mathrm{d}\Phi_m}{\mathrm{d}t} = -Bl\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$$

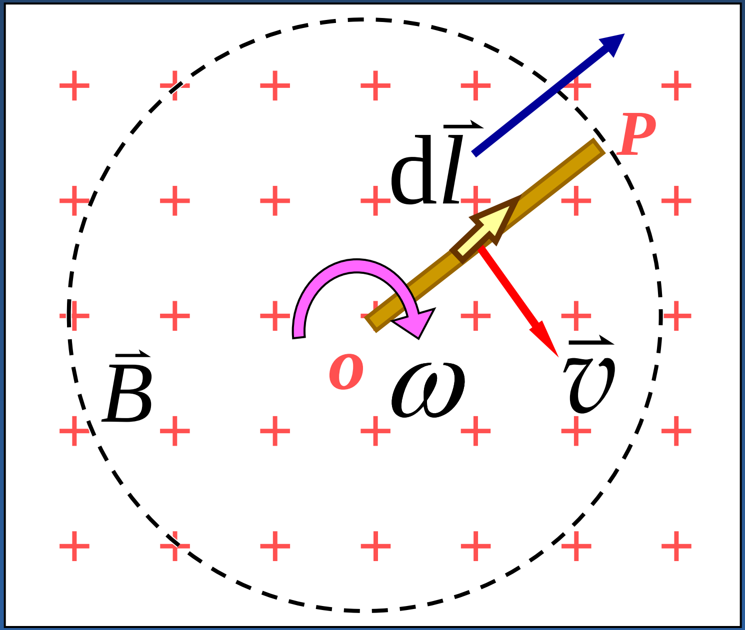
$$= -Blv$$

方向a-b ？



例2. 一长为 l 的铜棒在均匀磁场中以角速度ω在与磁场方向垂直的平面上绕棒的一端转动，求铜棒两端的感应电动势?

$\vec{v}\times\vec{B}$



解 $$\mathrm{d}\varepsilon_{\mathrm{i}}=(\vec{v}\times\vec{B})\cdot\mathrm{d}\vec{l}$$

$$=vB\mathrm{d}l$$

$$\varepsilon_{\mathrm{i}}=\int_0^L vB\mathrm{d}l$$

$$=\int_0^L \omega lB\mathrm{d}l$$

$$=\frac{1}{2}B\omega L^2$$

P 的电势相对于 O 的电势

$$\varphi_P-\varphi_O=\frac{1}{2}B\omega L^2$$

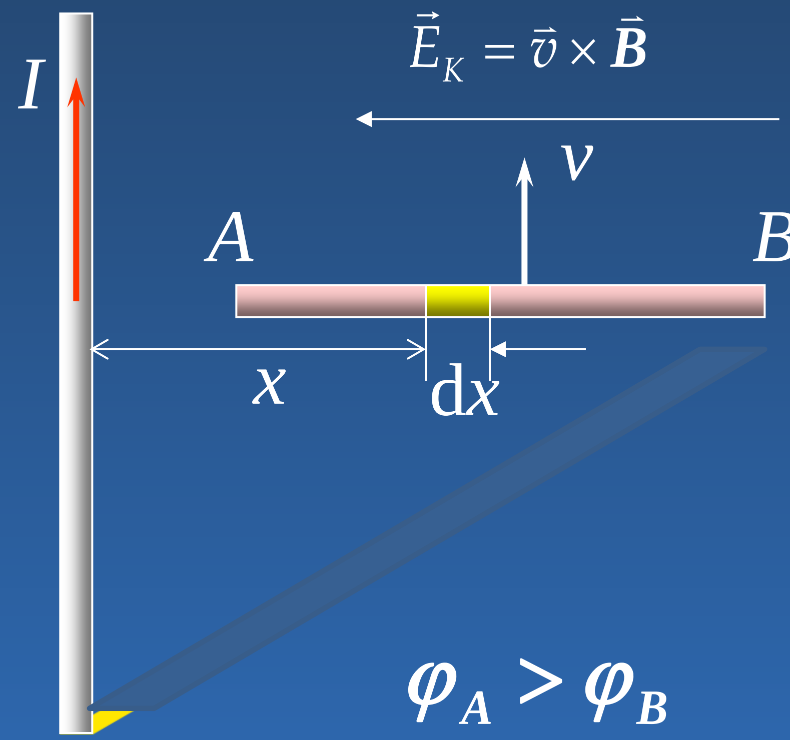
例3. 一长直导线中通电流I=10A，有一长为L=0.2m的金属棒与导线垂直共面。当棒以速度v =2m/s平行与长直导线匀速运动时，求棒产生的动生电动势。同学们练习

解： $B=\dfrac{\mu_o I}{2\pi x}$

$$\mathrm{d}\varepsilon_i=(\vec{v}\times\vec{B})\cdot\mathrm{d}\vec{l}=-Bv\mathrm{d}x$$

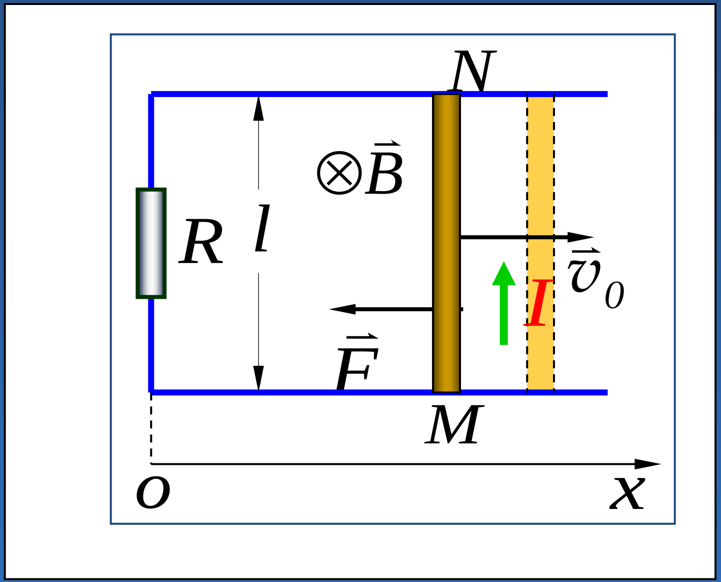
$$\varepsilon_i=-\int_a^{a+l}\frac{\mu_o I v}{2\pi}\frac{\mathrm{d}x}{x}$$

$$=-\frac{\mu_o I v}{2\pi}\ln\frac{a+l}{a}$$



$\varphi_A>\varphi_B$

例4.一导线矩形框的平面与均匀磁场相垂直.在此矩形框上,有一质量为M ,长为L的可移动的细导体棒; 矩形框还接有一个电阻 ,其值较之导线的电阻值要大得很多.若开始时,细导体棒以速度v0沿如图所示的矩形框运动,试求棒的速率随时间变化的函数关系.



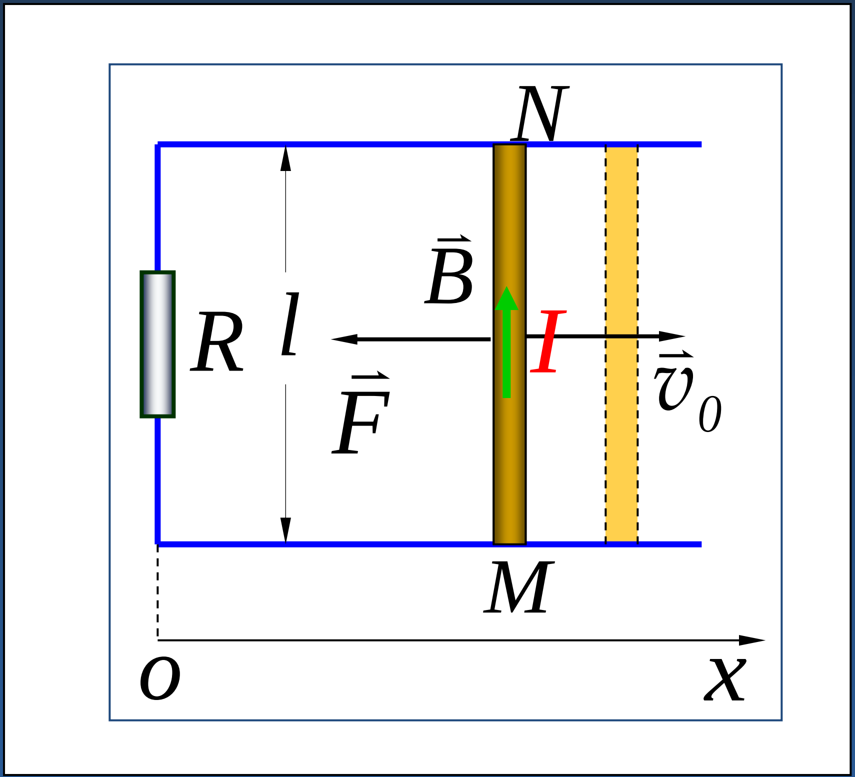
解 如图建立坐标

$$\varepsilon = Blv$$

$$F = IBl = \frac{B^2 l^2 v}{R}$$

$$m\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = -\frac{B^2 l^2 v}{R}$$

$$\int_{v_0}^{v}\frac{\mathrm{d}v}{v} = -\int_0^t \frac{B^2 l^2}{mR}\mathrm{d}t$$



$$v = v_0 \mathrm{e}^{-(B^2 l^2 / mR)t}$$

例5.有一半圆形金属导线在匀强磁场中作切割磁力线运动。已知：*v*，*B*，*R*，求：动生电动势.

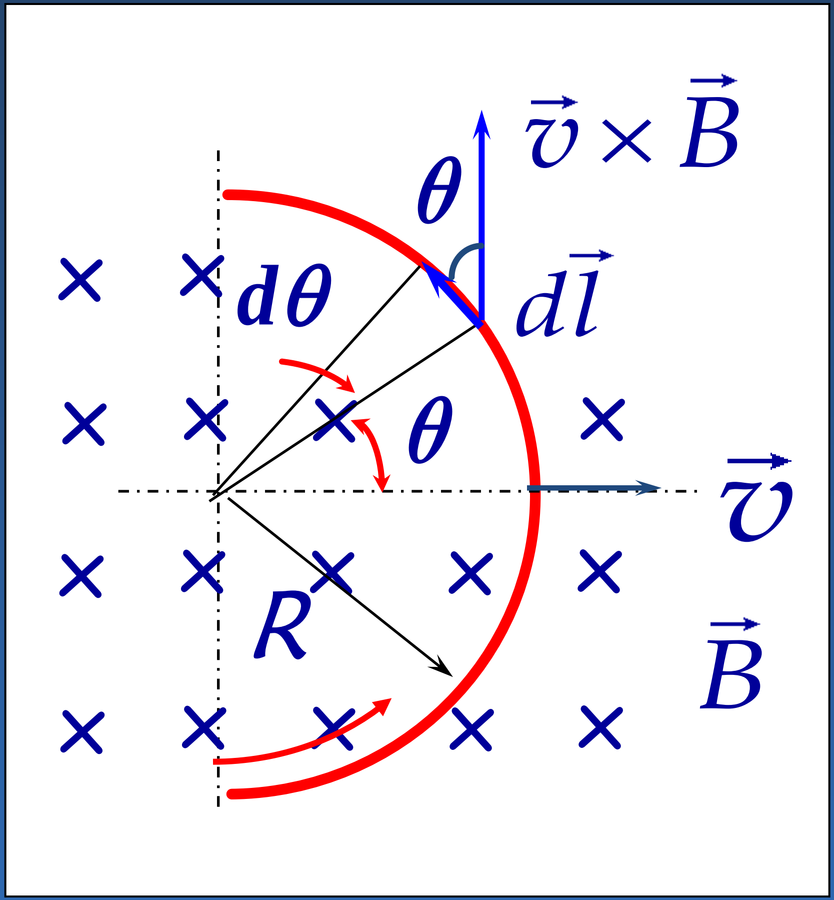
解 $$\mathrm{d}\varepsilon_{\mathrm{i}} = (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot \mathrm{d}\vec{l}$$

$$= vB\mathrm{d}l\cos\theta$$

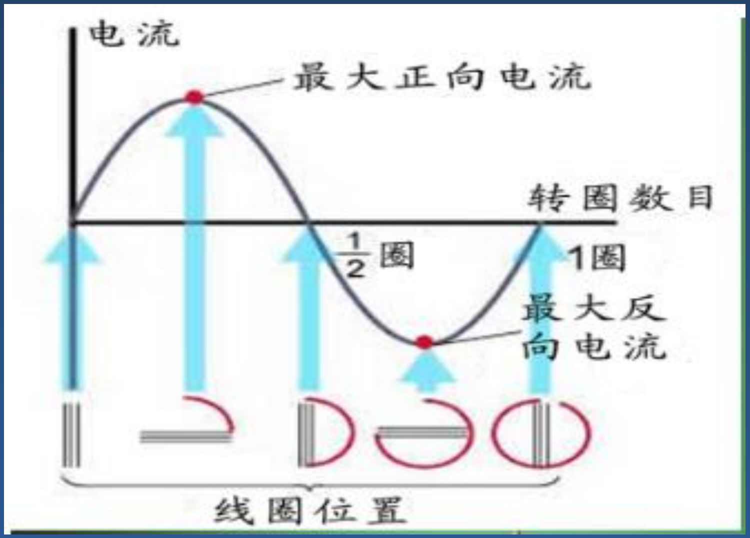
$$\varepsilon_{\mathrm{i}} = vBR\int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \cos\theta \mathrm{d}\theta$$

$$= 2vBR$$

直接积分？



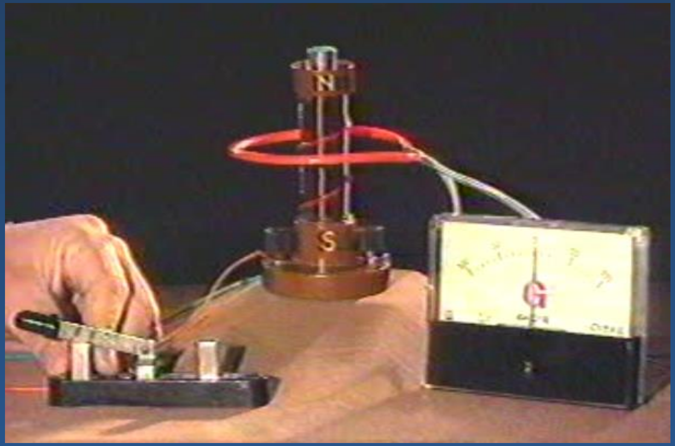
交流发电机

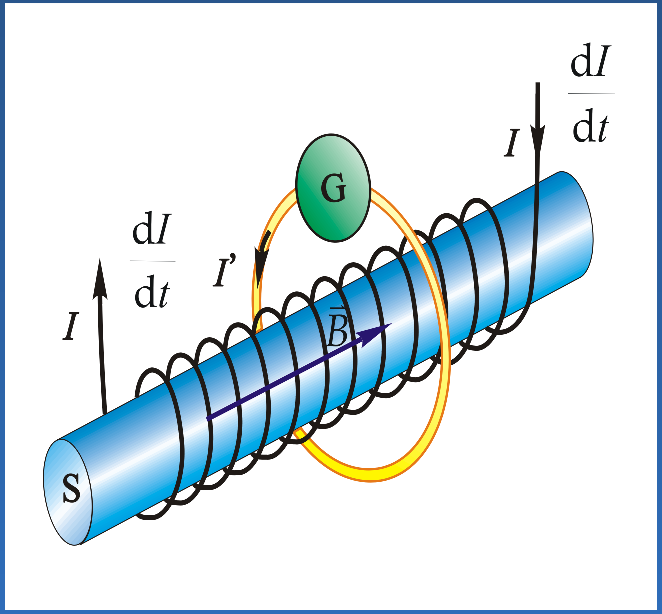


$$\Phi = BS\cos\omega t$$

$$\varepsilon_i = -\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t} = BS\omega\sin\omega t = \varepsilon_m \sin\omega t$$

三、感生电动势和感生电场





1、感生电动势：导体不动，因磁场的变化产生的感应电动势。

$$\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t} \quad \frac{\mathrm{d}\vec{B}}{\mathrm{d}t} \quad \frac{\mathrm{d}\Phi_m}{\mathrm{d}t} \quad \varepsilon_i = -\frac{\mathrm{d}\Phi_m}{\mathrm{d}t}$$

麦克斯韦在1861年提出了<u>感生电场</u> 的假设

变化磁场在周围空间将激发出<u>感生电场</u>。

三、感生电动势和感生电场

2、感生电场：变化磁场在周围空间将激发出的电场

感生电动势：$\varepsilon_i = \oint_L \vec{E}_K \cdot \mathrm{d}\vec{l}$

法拉第电磁感应定律：$\varepsilon_i = -\dfrac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t} = -\dfrac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\int_S \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{S}$

感生电场与变化磁场的关系：$\oint_L \vec{E}_K \cdot \mathrm{d}\vec{l} = -\iint_S \dfrac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot \mathrm{d}\vec{S}$

结论

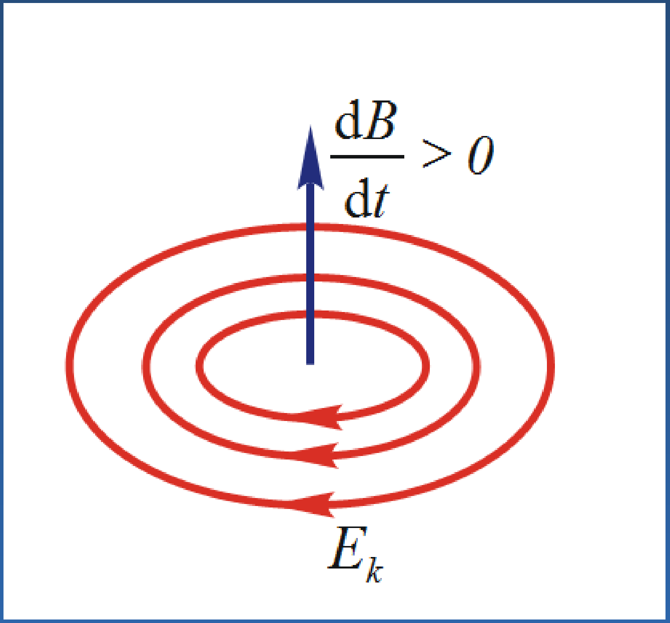
（1）变化的磁场能够激发电场

（2）感生电场的环流不等于零，表明感生电场为涡旋场

三、感生电动势和感生电场

感应电场方向

$$\oint_L \vec{E}_K \cdot \mathrm{d}\vec{l} = -\iint_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot \mathrm{d}\vec{S}$$



与磁场增量的方向成左手螺旋关系

三、感生电动势和感生电场

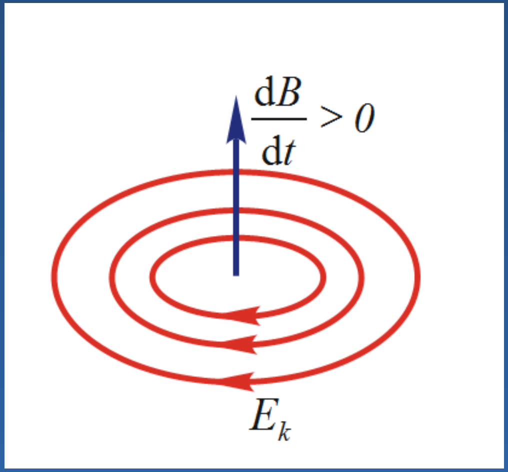
感生电场与静电场的区别

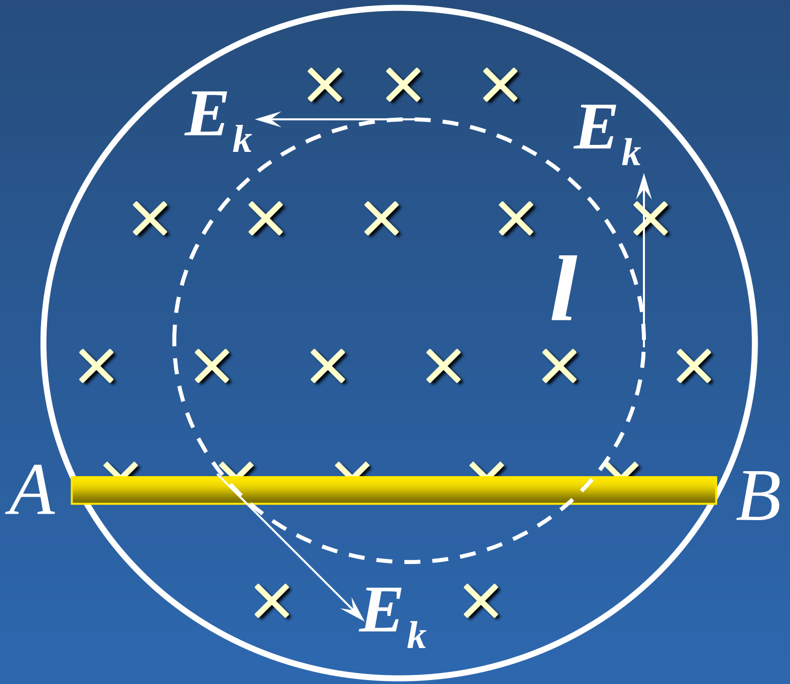
（1）静电场由静止电荷产生，而感生电场由变化的磁场激发。

（2）静电场是保守场，其环流为零,电场线起始于正电荷，终止于负电荷。而感生电场为非保守场，环流不等于零，且电场线为闭合曲线。

例6. 半径为R 的圆柱形空间区域，充满着均匀磁场。已知磁感应强度的变化率大于零且为恒量。问在任意半径r 处感生电场的大小以及棒AB上的感生电动势。

解(1)　　$r < R$ 时





$$\Phi_m = -BS = -B\pi r^2$$

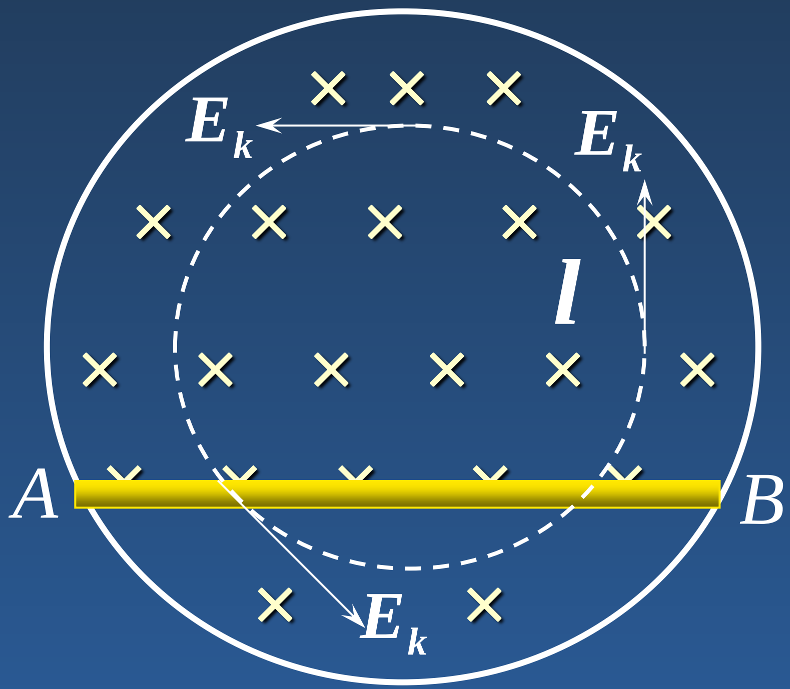
解：（1）　$r < R$ 时

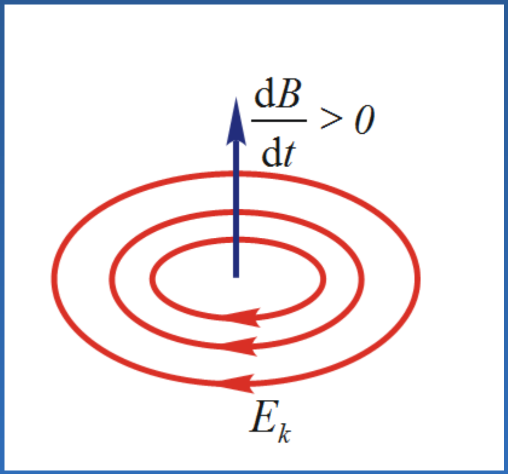
$$\Phi_m = -BS = -B\pi r^2$$

$$-\frac{\mathrm{d}\Phi_m}{\mathrm{d}t} = \oint_L \vec{E}_k \cdot \mathrm{d}\vec{l}$$

$$\left(\pi r^2\right)\frac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}t} = E_k \cdot 2\pi r$$

$$E_k = \frac{1}{2} r \frac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}t}$$





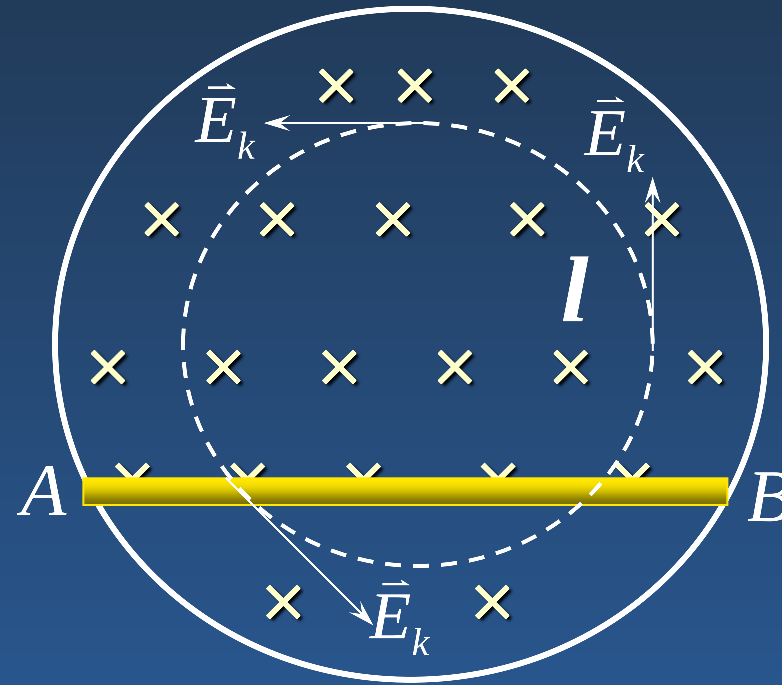
解：（1） $r > R$ 时

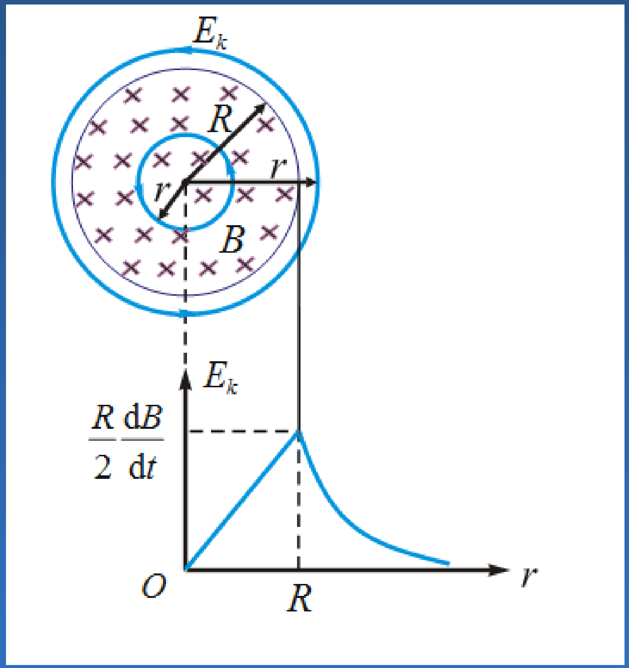
$$\Phi_m = -B\pi R^2$$

$$-\frac{d\Phi_m}{dt} = \oint_L \vec{E}_k \cdot d\vec{l}$$

$$\left(\pi R^2\right)\frac{dB}{dt} = E_k 2\pi r$$

$$E_k = \frac{R^2}{2r}\frac{dB}{dt}$$





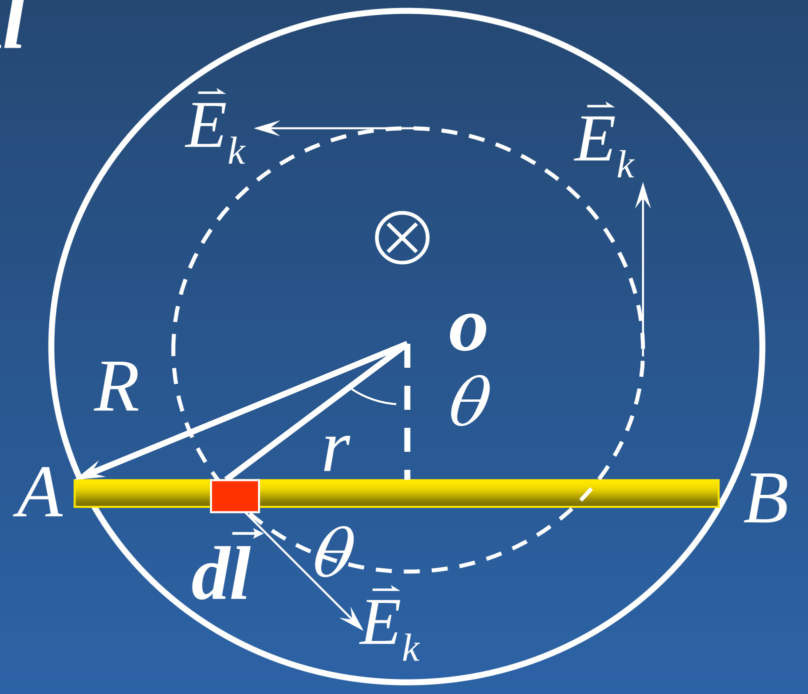
解：（2）棒AB上的感生电动势

$$\cos\theta = \frac{\sqrt{R^2 - l^2/4}}{r}$$

$$\varepsilon_i = \int_0^L \vec{E}_k \cdot d\vec{l} = \int_0^L E_k \cos\theta \, \mathrm{d}l$$

$$= \int_0^L \frac{1}{2} r \frac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}t} \frac{\sqrt{R^2 - L^2/4}}{r} \mathrm{d}l$$

$$= \frac{L}{2}\sqrt{R^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2} \frac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}t}$$



$$E_k = \frac{1}{2} r \frac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}t}$$

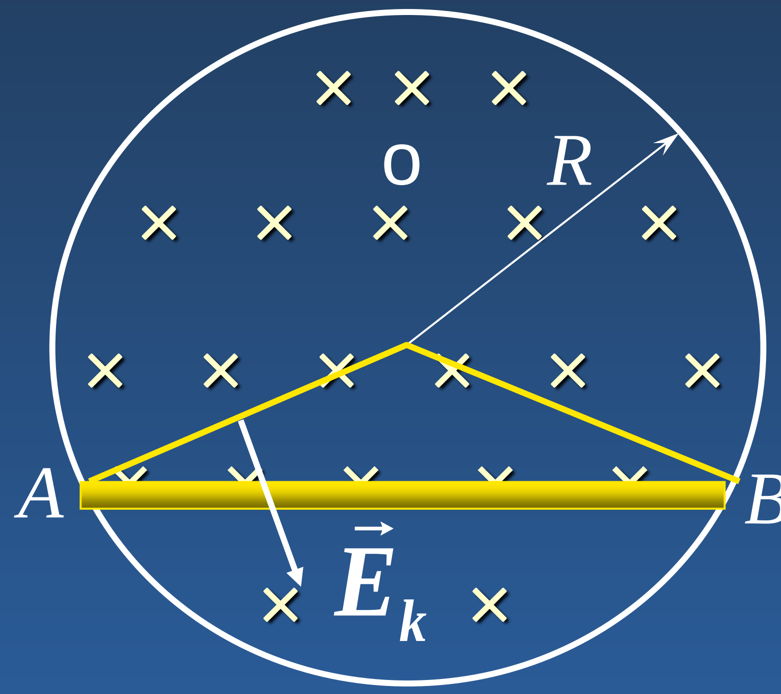
方向 A—B

电磁感应定律求解

$$\Phi_m = B\frac{L}{2}\sqrt{R^2-\left(\frac{L}{2}\right)^2}$$

$$\varepsilon_i = \frac{\mathrm{d}\Phi_m}{\mathrm{d}t} = \frac{L}{2}\sqrt{R^2-\left(\frac{L}{2}\right)^2}\frac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}t}$$

$$\varepsilon_{ioA} = \varepsilon_{ioB} = ? \quad = 0$$



$$\varepsilon_{iAB} = \frac{\mathrm{d}\Phi_m}{\mathrm{d}t} = \frac{L}{2}\sqrt{R^2-\left(\frac{L}{2}\right)^2}\frac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}t}$$

方向　A—B

（A）、电动势只在AB直线中产生；

（B）、电动势只在AB曲线中产生；

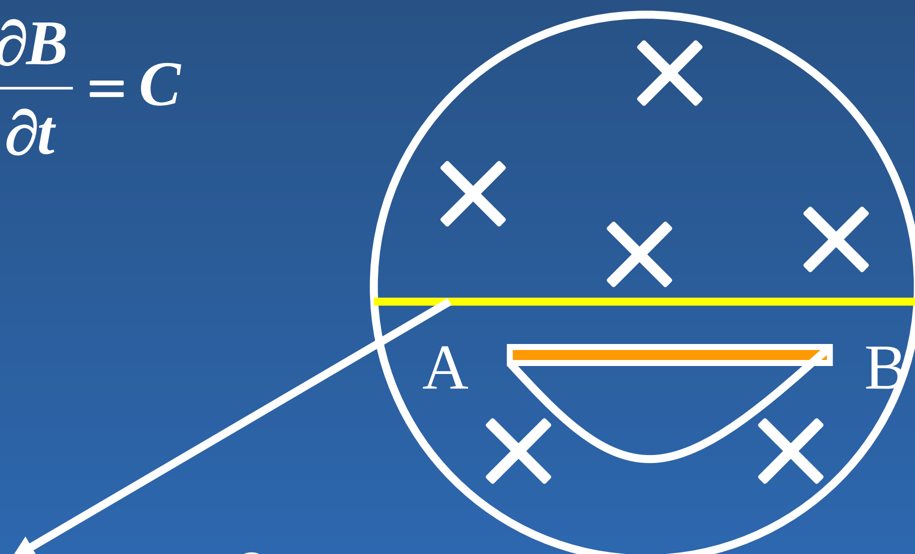
（C）、电动势在AB直线和曲线中产生且大小相等；

（D）、AB中的电动势小于曲线中的电动势。

（D）

$$\frac{\partial B}{\partial t} = C$$

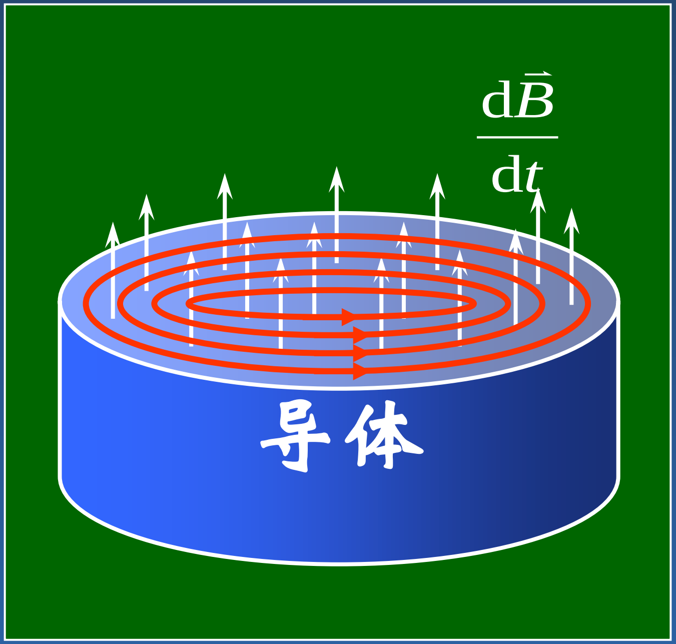
$$E_K = \frac{r}{2}\frac{\partial B}{\partial t}$$



$$\varepsilon = \int_l \vec{E}_k \cdot d\vec{l}$$

$$\varepsilon = 0$$

涡电流与应用



当大块导体放在变化的磁场中，在导体内部会产生感应电流，由于这种电流在导体内自成闭合回路故称为涡电流。

变压器中铁芯为什么不用整块材料

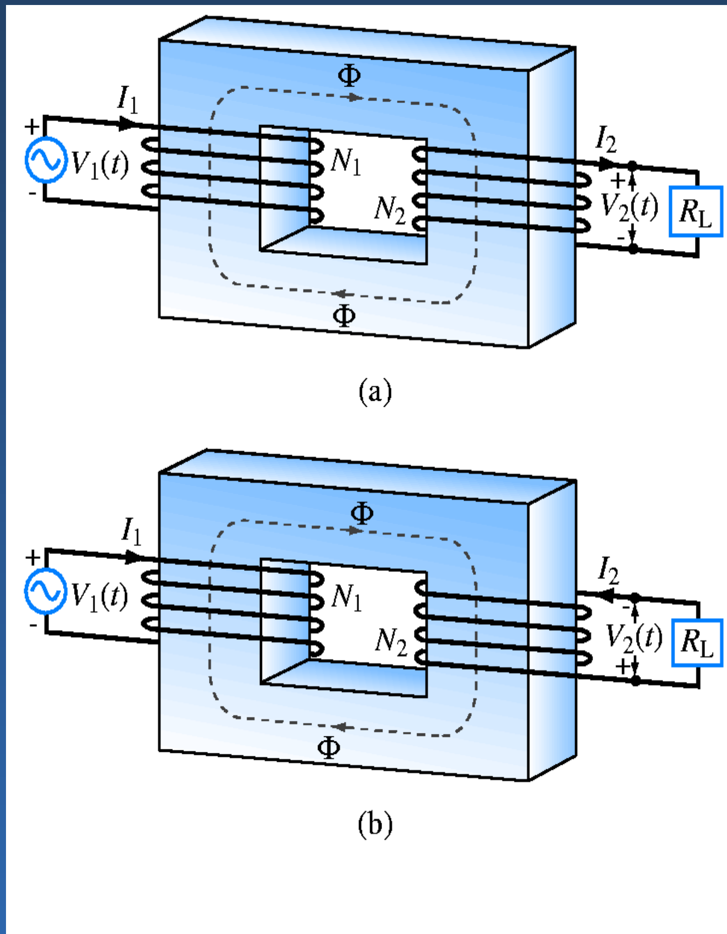
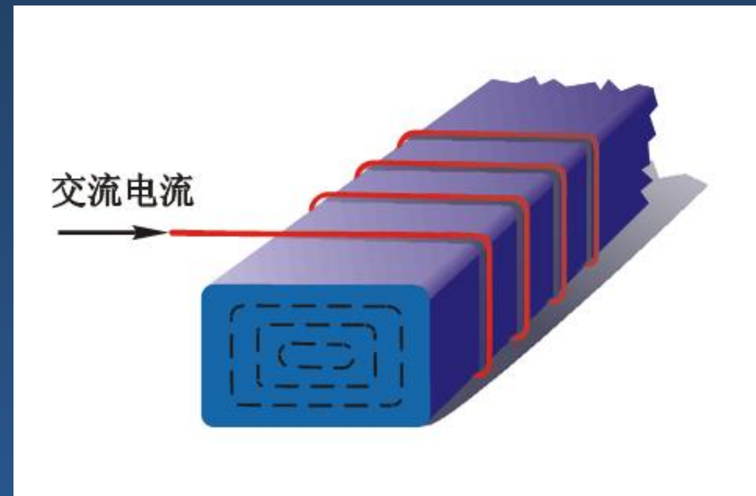
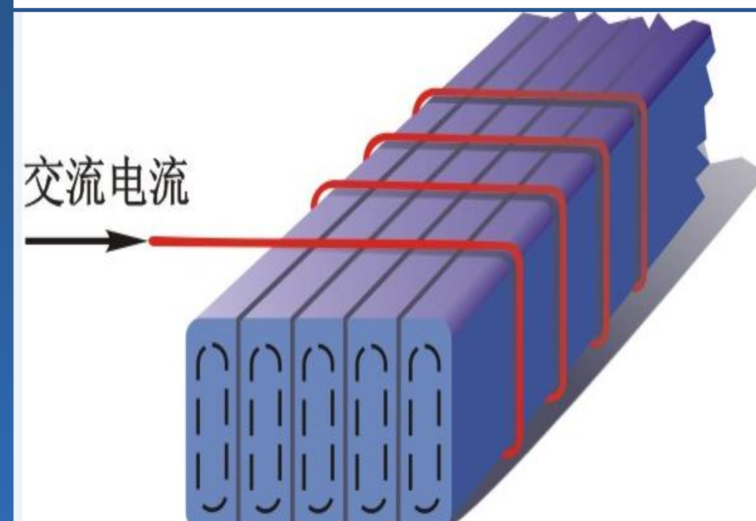
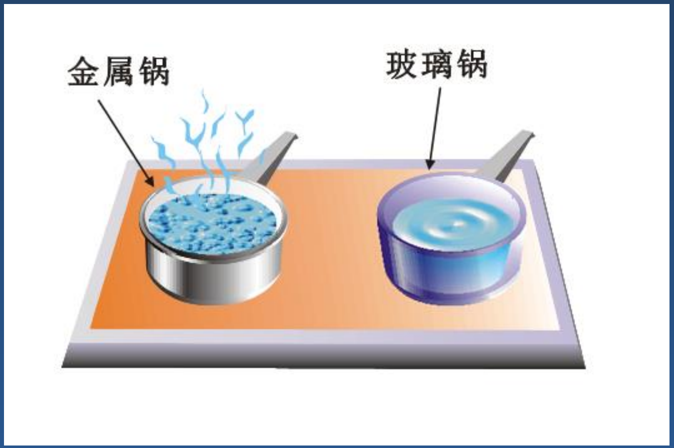


Figure 6-5



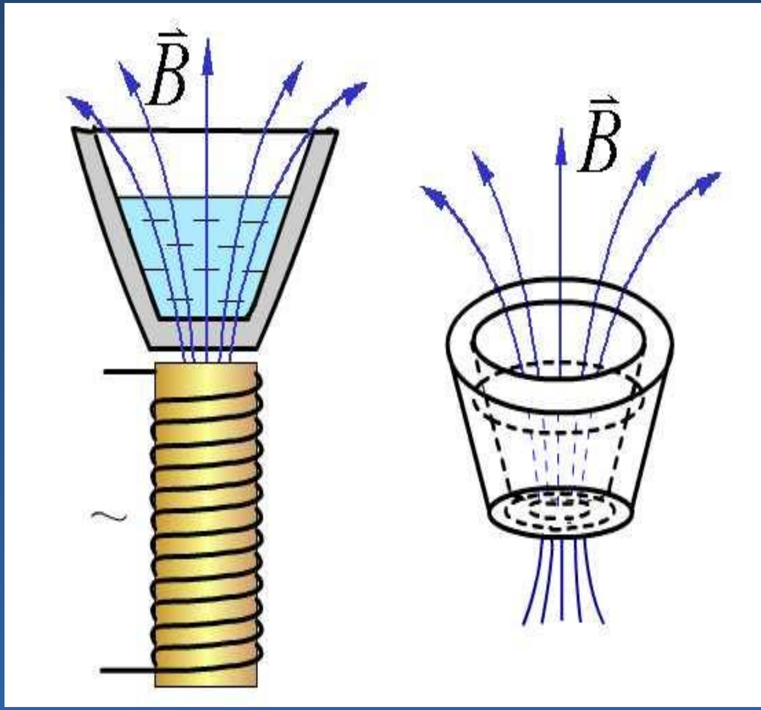


电磁炉



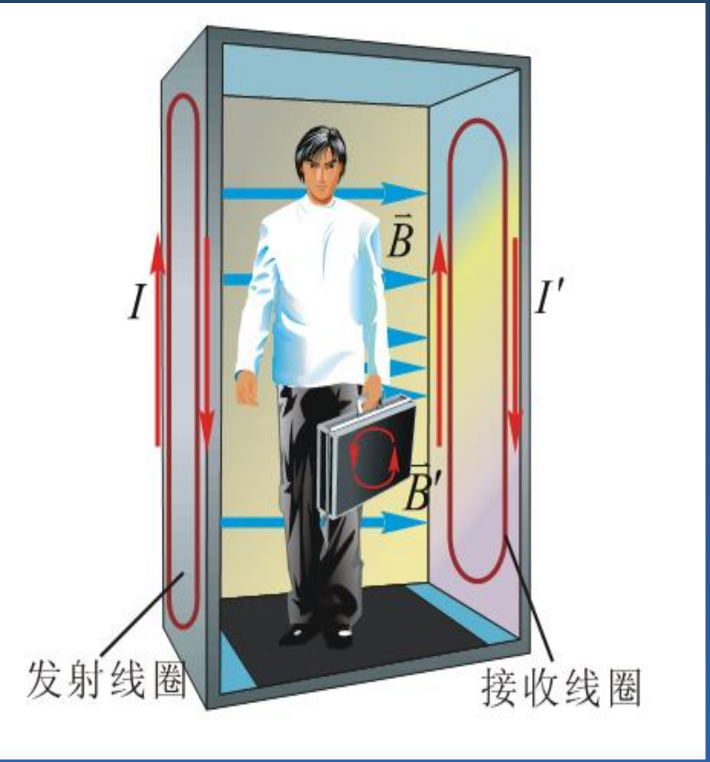
电磁炉是一种新型的灶具，其应用了 “涡流效应”，也就是交变磁场产生电场，处于电场中的导体就会产生电流，把电能转化为热能。由于它采用的是电磁感应原理加热，减少了热量传递的中间环节，因而其热效率可达80%。

电磁感应炉



涡电流与应用：2分48后

机场安全检测



机场安全检测站的金属探测器会产生一个变化的磁场。这个变化的磁场会使被探测到的导体内产生涡电流，涡电流反过来将产生一个变化的磁场，而这个磁场会被探测器接受到。