

第 7 章

电磁感应

Electromagnetic Induction

§ 7-1 Faraday's Law of Induction

电磁感应定律

§ 7-2 Motional Electromotive Force

动生电动势

§ 7-3 Induced Electromotive Force 感生电动势

Induced Electric Field 涡旋电场

§ 7-4 Self-induction & Mutual-induction

自感和互感

§ 7-5 Energy of the Magnetic Field 磁场的能量

教学要求

1. 掌握用法拉第定律计算感应电动势及判断方向；
2. 理解感生电动势和动生电动势的产生原因；
3. 了解涡旋电场与静电场的区别；
4. 了解自感与互感，能计算简单回路的 L ， M ；
5. 能计算简单磁场的磁能 W_m 。

Introduction

Michael Faraday: 1791-1867, 英国物理学家、化学家, 1831发现电磁感应定律, 1834年发现电解定律, 提出电场和磁场概念, 还提出: 电介质、电解质、离子、阴离子、阳离子、力线、阳极、阴极、电极、抗磁、顺磁.....

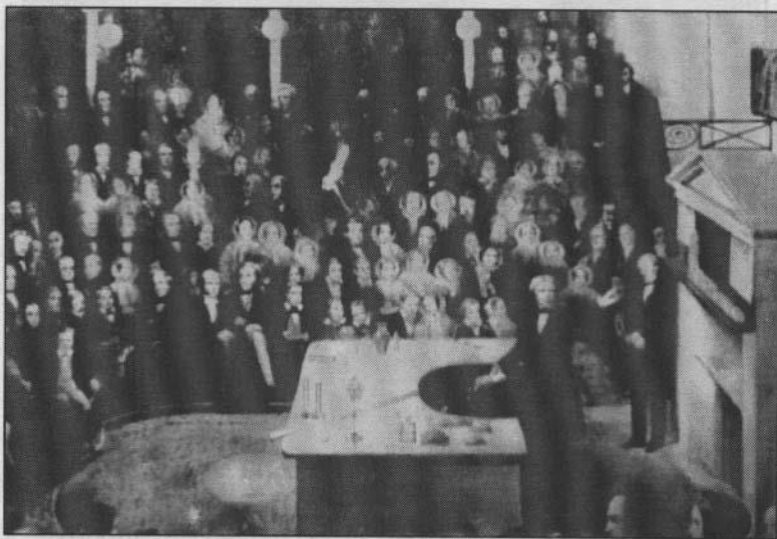


图 26—0 法拉第正在讲演

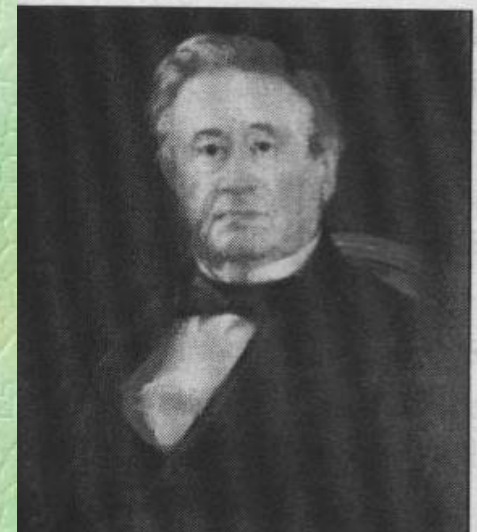


图 26—5 法拉第在戴维的实验室当小工

Lenz:1804-1865, 俄籍德国物理学家, 1833年总结出 lenz law, 它表明电磁现象也同样遵守能量转换和守恒定律。



Joseph Henry:1797-1878, 美国物理学家, 先于 Faraday 发现电磁感应定律, 只是没有及时发表, 发现自感现象。



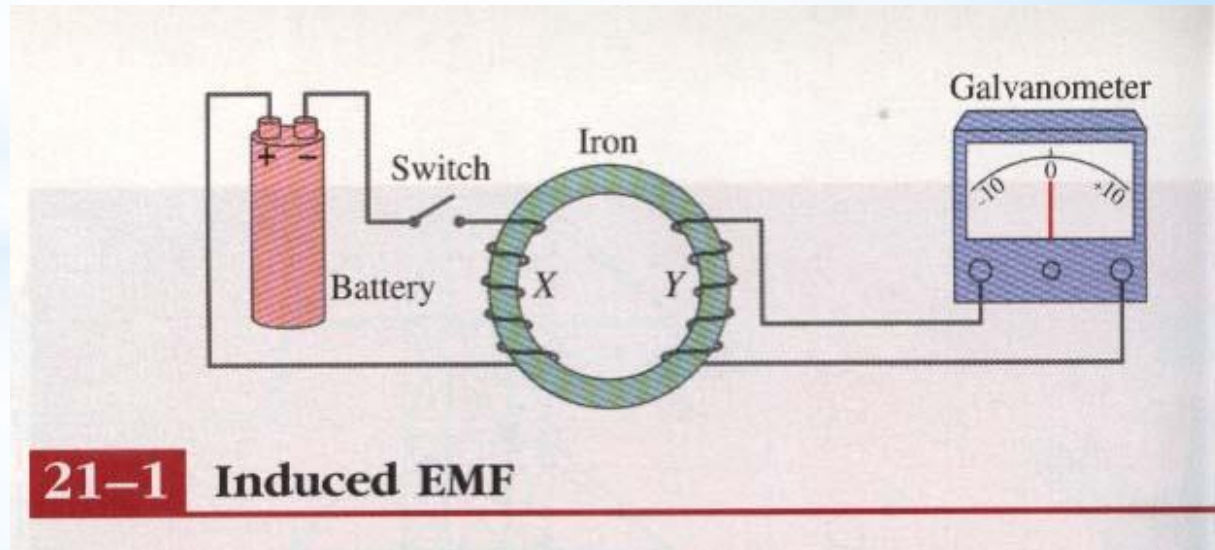
§ 7.1 电磁感应定律

The Electromagnetic Induction

一. Induction phenomena 电磁感应现象



In 1831.8.29 Faraday used the following apparatus(仪器) to find the electromagnetic induction:



法拉第 (Michael Faraday, 1791-1867), 伟大的英国物理学家和化学家.

实验一：

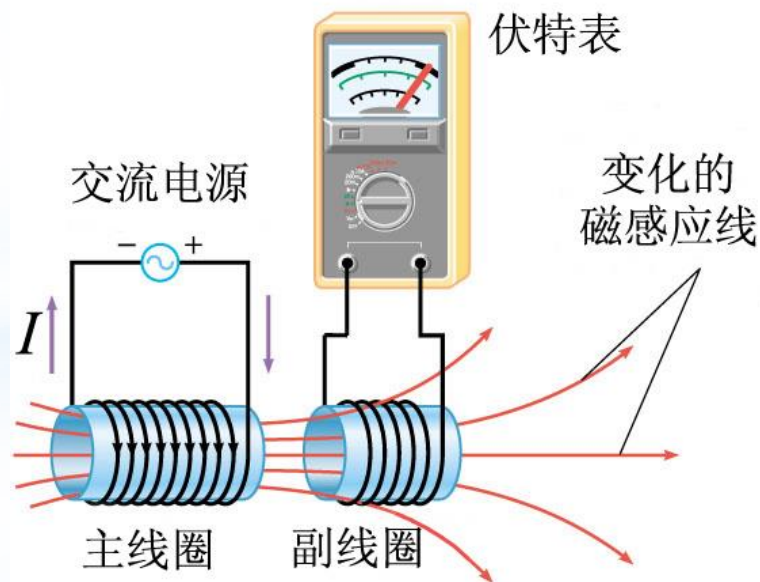
当条形磁铁插入或拔出线圈回路时，在线圈回路中会产生电流，而当磁铁与线圈保持相对静止时，则回路中不存在电流。



实验二：（以通电线圈代替条形磁铁。）

1. 当载流主线圈相对于副线圈运动时，线圈回路内有电流产生。

2. 当载流主线圈相对于副线圈静止时，如果改变主线圈的电流，则副线圈回路中也会产生电流。

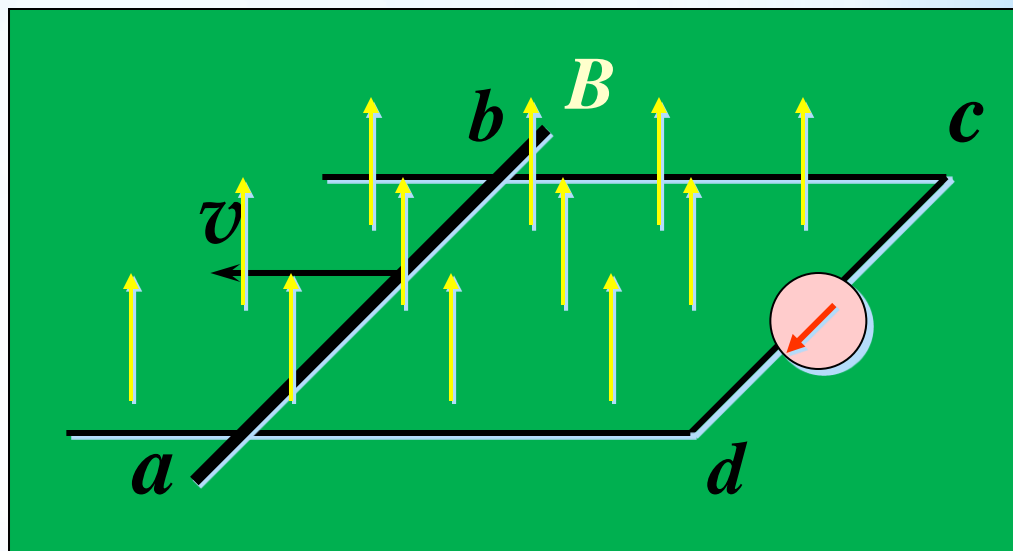


实验三：

将闭合回路置于稳恒磁场 B 中，当导体棒在导体轨道上滑行时，回路内出现了电流。

结论：

当穿过闭合回路的磁通量发生变化时，不管这种变化是由什么原因产生的，回路中有电流产生。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、法拉第电磁感应定律 Faraday's Law of Induction:

当穿过回路所包围面积的磁通量发生变化时，回路中产生的感应电动势与穿过回路的磁通量对时间变化率的负值成正比。

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

式中的负号反映了感应电动势的方向，是楞次定律的数学表示。

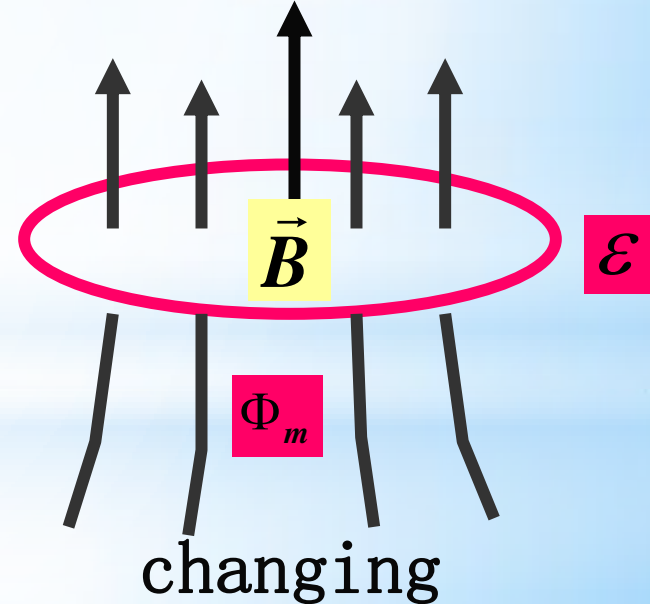
由 N 匝导线构成的线圈时：

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

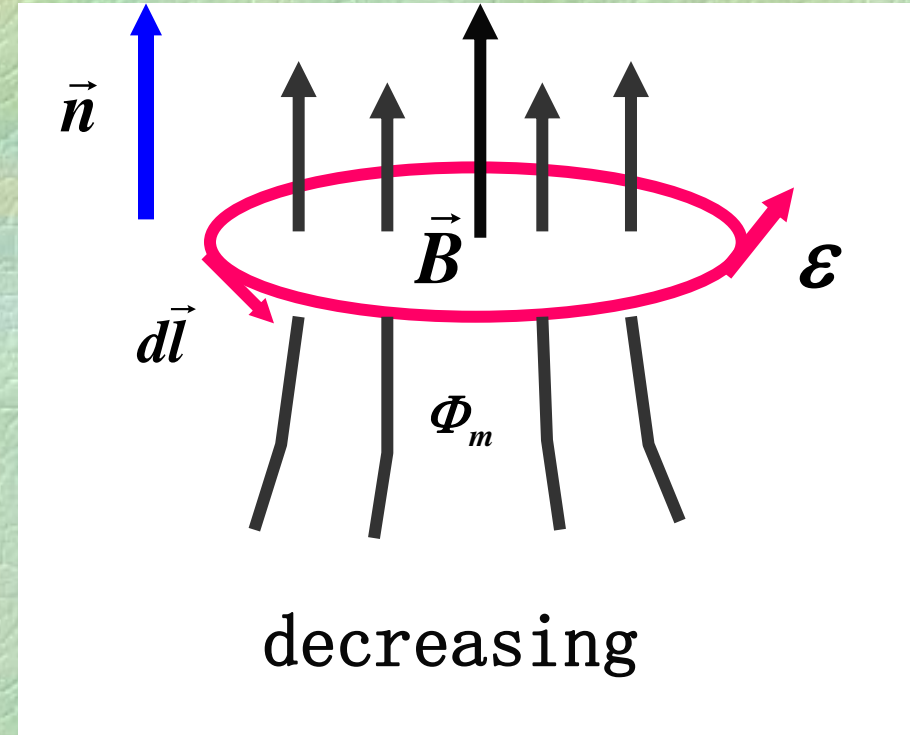
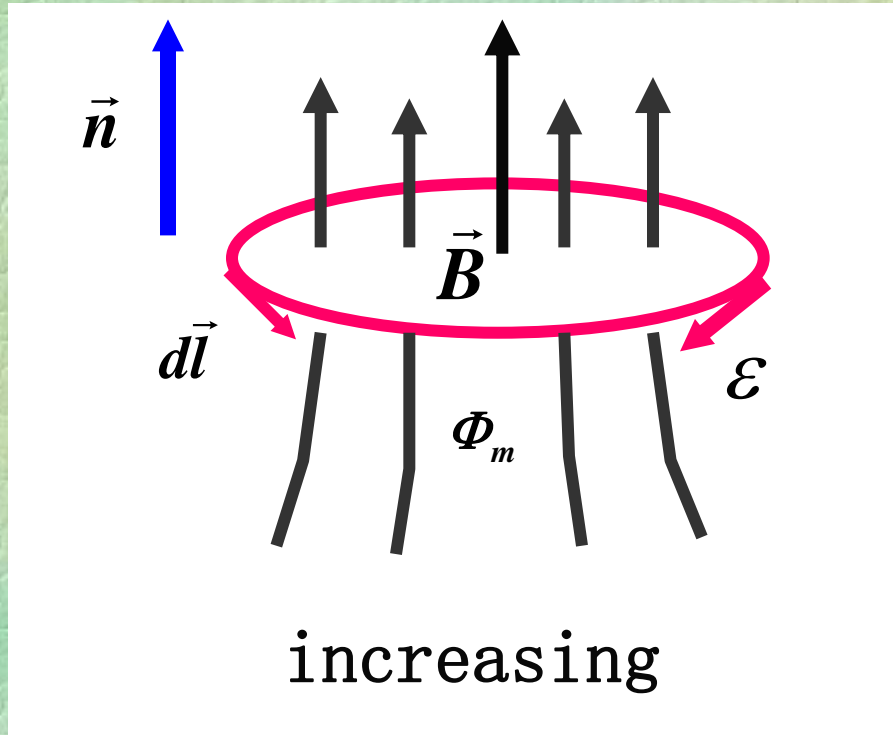
全磁通： $\Psi = \sum_{i=1}^N \Phi_i$

磁通链数： $\Psi = N\Phi$

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

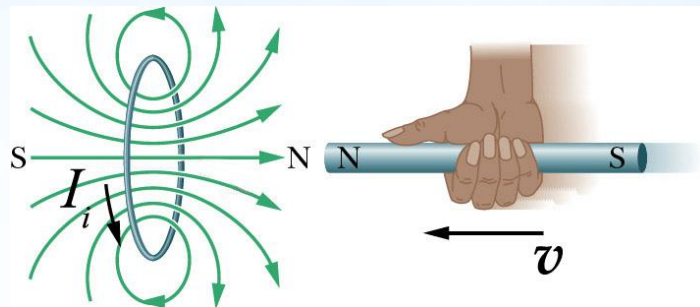
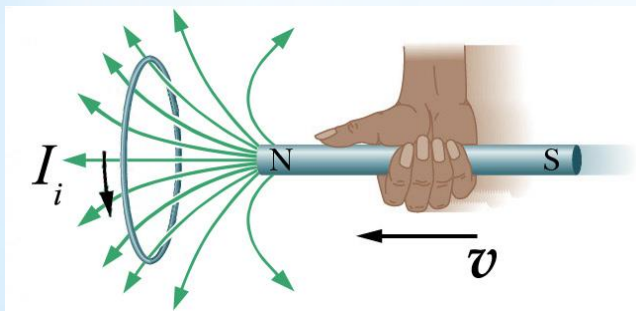


The minus sign(负号) indicates that opposition:

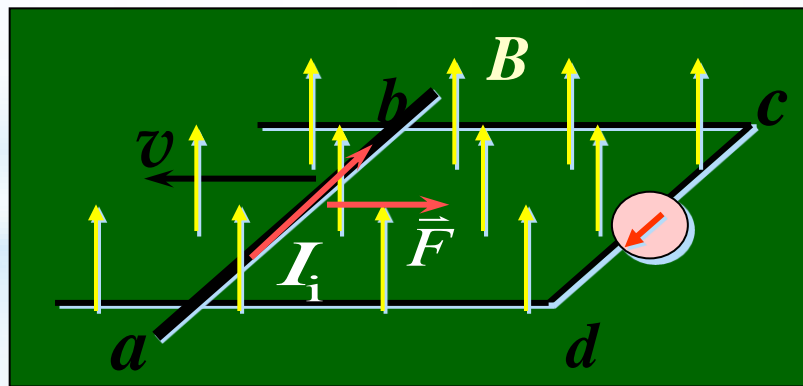


三、楞次定律 Lenz's Law:

(1) 在发生电磁感应时，导体回路中感应电流的方向，总是使它自己激发的磁场穿过回路面积的磁通量去阻止引起感应电流的磁通量的变化。

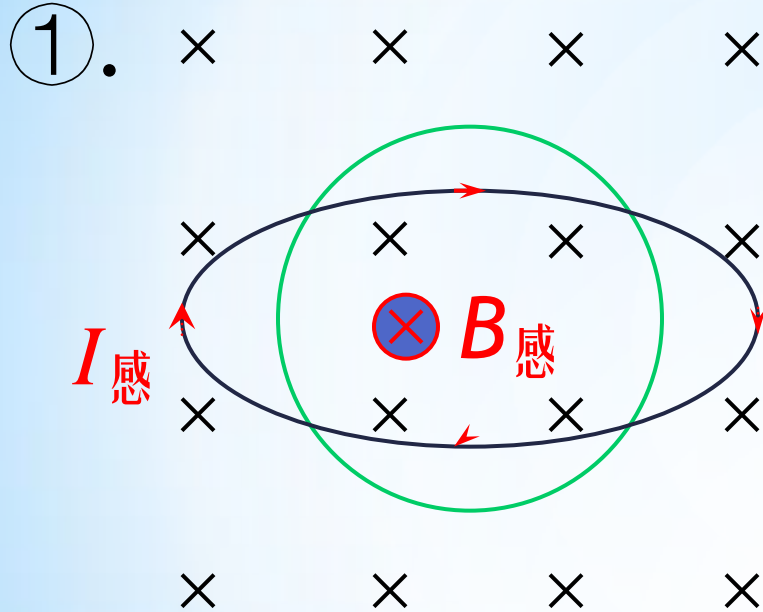


(2) 感应电流的效果总是反抗引起感应电流的原因。



结论：楞次定律是能量守恒和转换的必然结果。

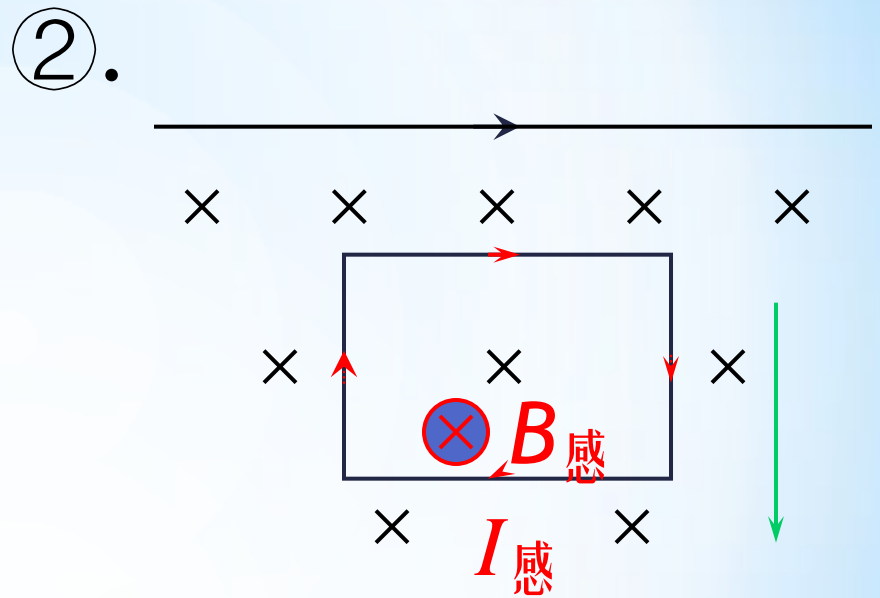
例1: 应用 lenz' s law 判断 $I_{\text{感}}$ 方向。



$S \downarrow$, $\phi_m \downarrow$

$B_{\text{感}}$ 方向: \otimes

$I_{\text{感}}$ 方向: 顺时针



$B \downarrow$, $\phi_m \downarrow$

$B_{\text{感}}$ 方向: \otimes

$I_{\text{感}}$ 方向: 顺时针

四、应用法拉第电磁感应定律解题的方法

1. 选择回路的绕行方向；

2. 由 $\Phi_m = \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$ 求任意时刻的磁通量 Φ_m ；

3. 由 $\varepsilon = -N \frac{d\Phi}{dt}$ 求出 ε ；

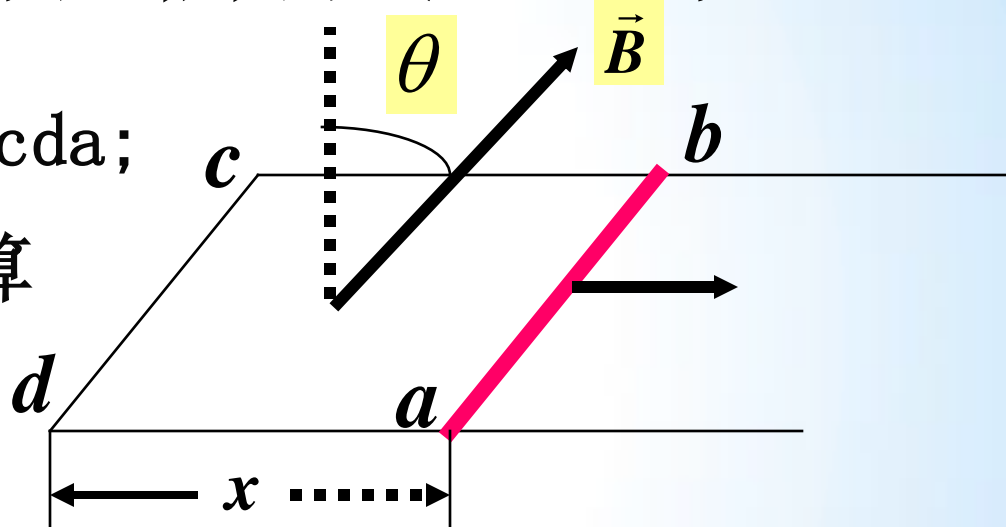
4. 讨论感应电动势（或电流）的方向。

例2:如图所示, 棒ab长为 ℓ , 沿两平行的轨道以速度 v 在均匀的磁场中运动, 求回路中的感应电动势。

解: (1) 选回路方向abcda;

(2) 设 t 时刻 $da=x$, 计算磁通量:

$$\Phi_m(t) = \ell x B \cos \theta$$



(3) 应用 Faraday' s law, 有:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_m(t)}{dt} = -\ell B \cos \theta \frac{dx}{dt} = -\ell v B \cos \theta$$

(4) 感应电动势的大小为 $\ell v B \cos \theta$, 方向 $b \rightarrow a$ 。

例3. 一长直导线通以电流 $i = I_0 \sin \omega t$ ，旁边有一个共面的矩形线圈 $abcd$ 。求：线圈中的感应电动势。

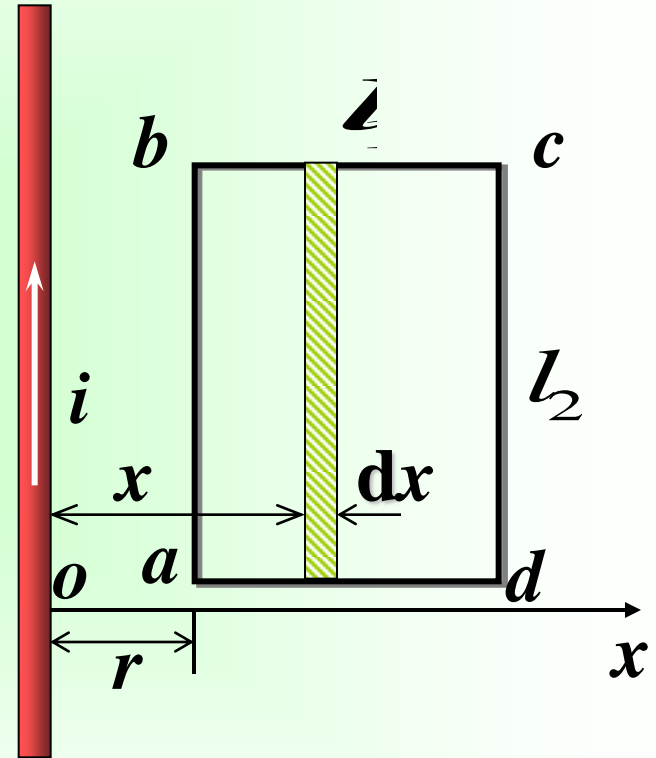
解：建立坐标系，电流 i 产生的磁感应强度为：

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi x}$$

选顺时针为回路的正方向，

$$\begin{aligned}\Phi &= \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = \int_r^{r+l_1} \frac{\mu_0 i}{2\pi x} l_2 dx \\ &= \frac{\mu_0 I_0 l_2}{2\pi} \sin \omega t \ln \frac{r+l_1}{r}\end{aligned}$$

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{\mu_0 I_0}{2\pi} l_2 \omega \cos \omega t \ln \frac{r+l_1}{r}$$



例4： 在通有电流为 I 的长直载流导线旁，放置一矩形回路，如图所示，回路以速度 v 水平向右运动，求回路中的感应电动势。

解： 任意 t 时刻，线框到达图示状态

建立坐标系， 电流 I 产生的
磁感应强度为：
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi x}$$

如图所示取一窄带 dx ， $d\Phi = \vec{B} \cdot d\vec{S} = B dS \cos \theta$

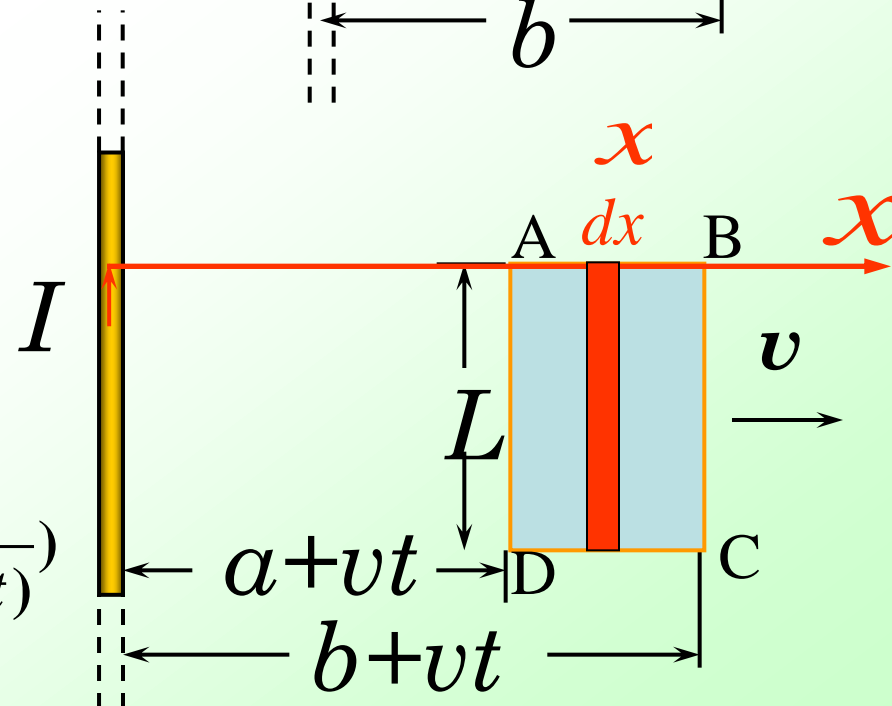
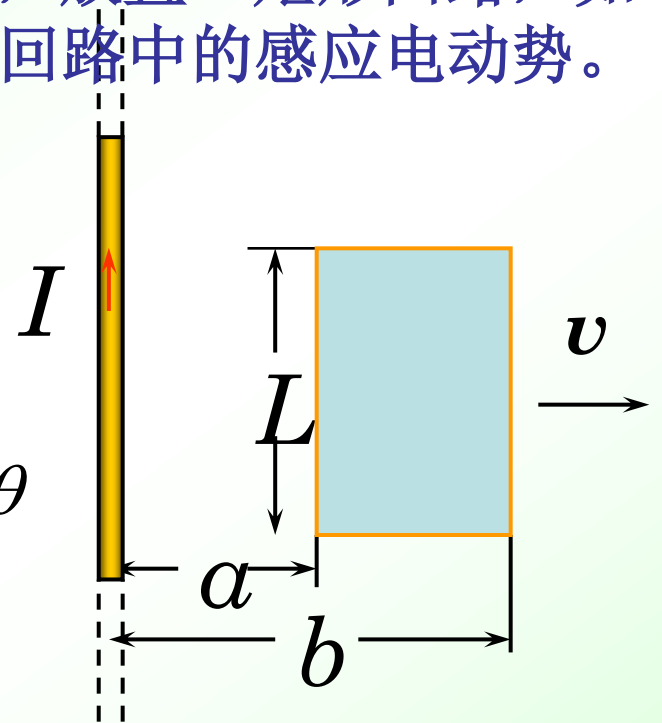
$$d\Phi = B dS = \frac{\mu_0 I}{2\pi x} L dx$$

$$\Phi = \int d\Phi = \int_{a+vt}^{b+vt} \frac{\mu_0 I L}{2\pi} \frac{1}{x} dx$$

$$= \frac{\mu_0 I L}{2\pi} \ln \frac{b+vt}{a+vt}$$

$$\therefore \mathcal{E} = - \frac{d\Phi}{dt} = \frac{\mu_0 I v L}{2\pi} \left(\frac{1}{(a+vt)} - \frac{1}{(b+vt)} \right)$$

顺时针方向



作业： 2、4