



# 第10章

## 电磁感应定律

## 课前热身

电和磁之间有怎样的联系？



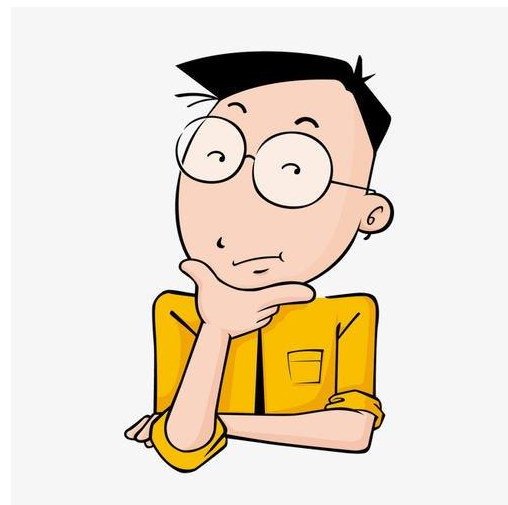
- 载流直导线的周围有磁场；
- 磁场对载流直导线有力的作用。
- 磁场对运动电荷有力的作用

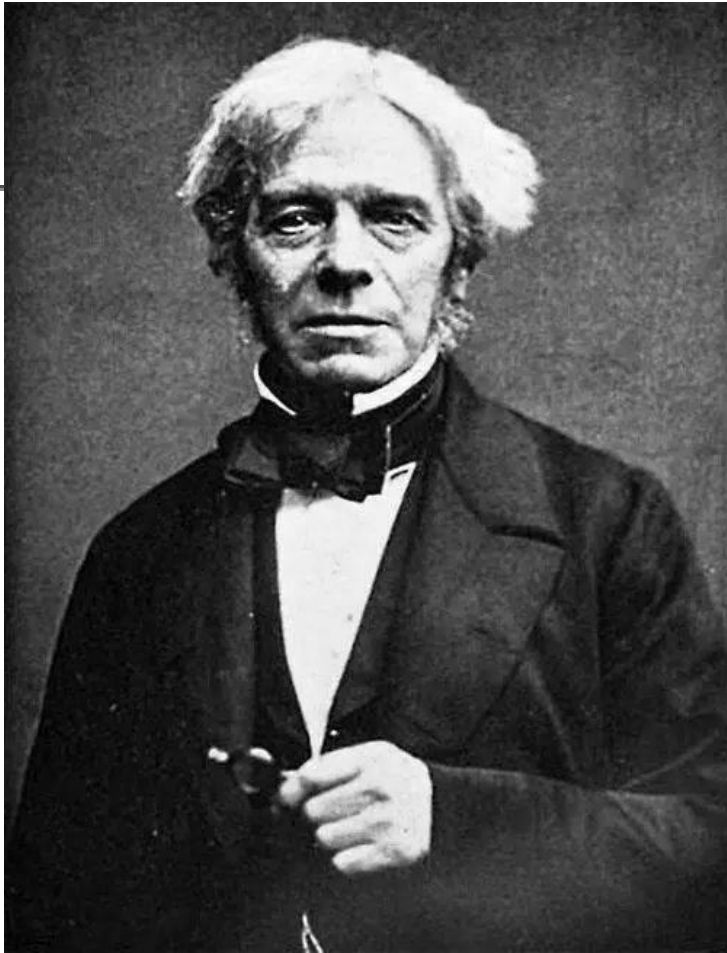
1820-1821年之间完成！

那个时代的科学家提出了一个问题：

电流能够产生磁场，那么磁场是否能够产生电场？

1831年，发现了电磁感应定律！！





Michael Faraday

1791—1867



Joseph Henry 美国

1797—1878



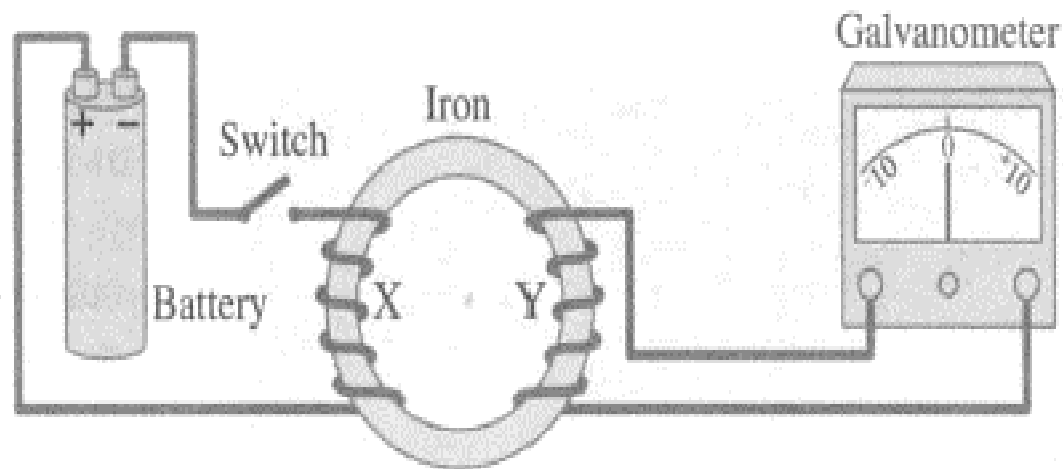
# 通过本次课的学习，您将：

- 理解电磁感应现象；
- 法拉第电磁感应定律和楞次定律；
- 应用法拉第电磁感应定律解决问题。



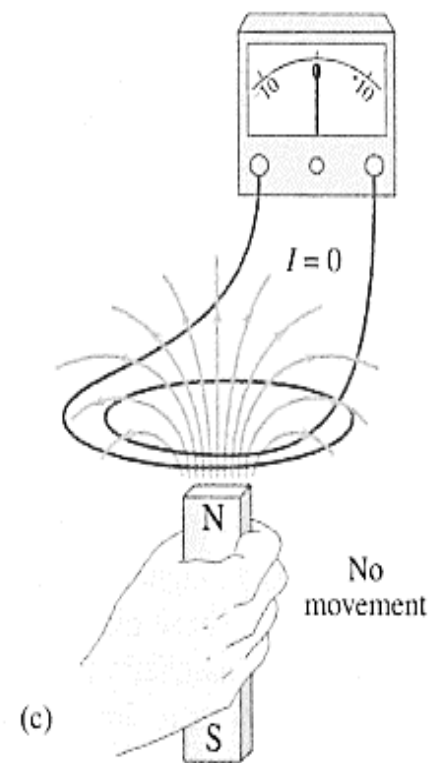
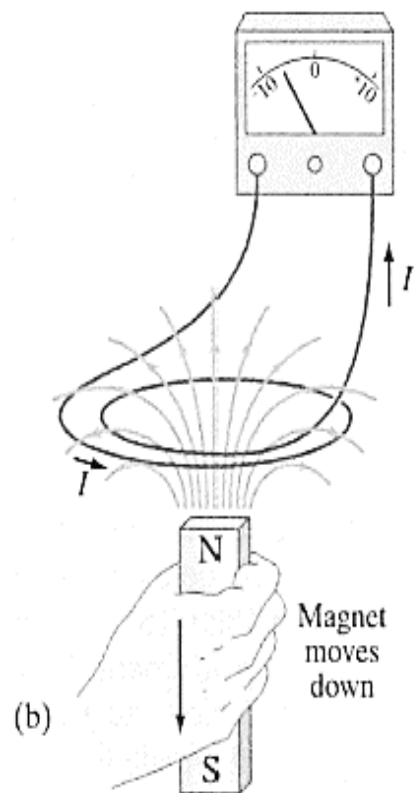
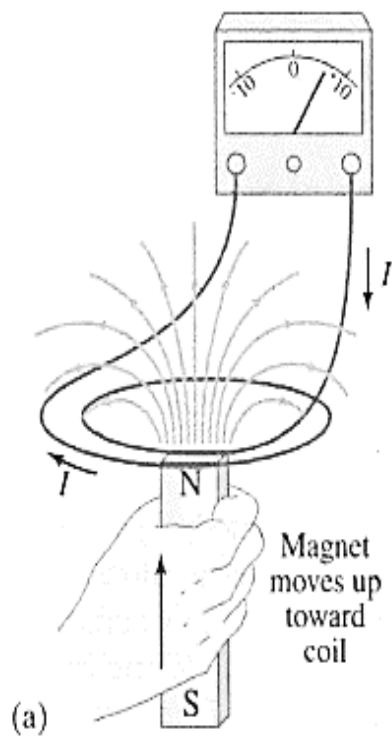
## § 10.1 法拉第与楞次定律

# 一、电磁感应现象



法拉第由磁场产生电动势的实验装置

结论：当通过Y线圈的磁场发生变化时，会有电流产生，就好像有一个电动势存在一样。





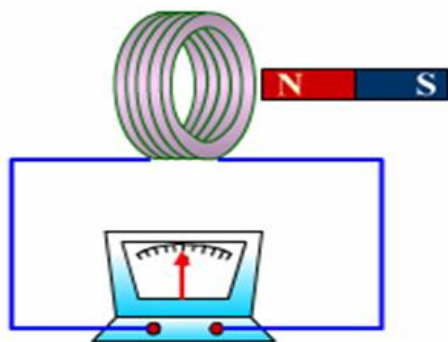
上述实验现象中，究竟是哪个物理量的变化，导致了电流的产生？

磁通量！！！！

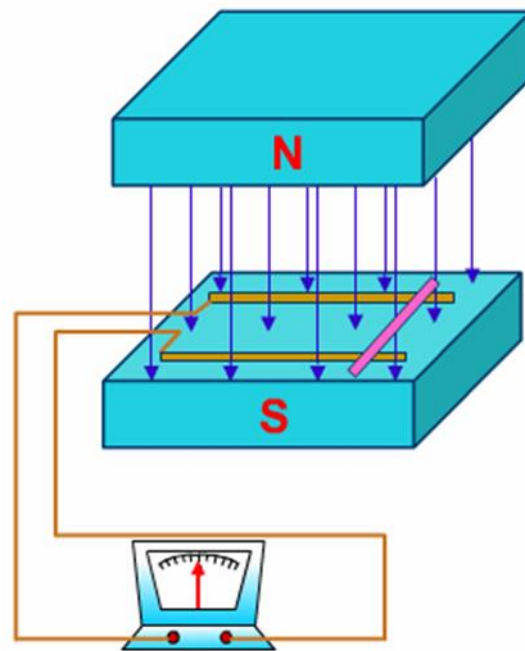




[http://open.163.com/movie/2002/5/Q/R/M72UIB0K0\\_M72UN6IQR.html](http://open.163.com/movie/2002/5/Q/R/M72UIB0K0_M72UN6IQR.html)



闭合回路包围的面积不变，磁场变化



磁场不变，闭合回路包围的面积变化



# MIT 电磁感应的演示实验1

<http://open.163.com/newview/movie/free?pid=M72UIB0K0&mid=M72UN6IQR>

11'到12'40''

电流的大小和磁通量的变化速度有关



# MIT 电磁感应的演示实验2

[http://open.163.com/movie/2002/5/Q/R/M72UIB0K0\\_M72UN6IQR.html](http://open.163.com/movie/2002/5/Q/R/M72UIB0K0_M72UN6IQR.html)

30'-34'

电流的大小和磁通量的大小有关

以闭合回路为边界的曲面的磁通量随时间发生变化，产生了电流—**感应电流**。



没有电池，但产生了电流！



电动势：

$$\mathcal{E} = \oint \vec{E}_k \cdot d\vec{l}$$

## 产生电动势的方法

电池： 化学反应

温差电动势： 温差不同，热运动速度不同，  
产生电动势

接触电动势： 逸出电位不同



**感应电动势：**由于磁通量的变化而引起的电动势为感应电动势

与感应电流相比，感应电动势更能充分描述电磁感应的规律。事实上，即使不形成回路，甚至不存在导体，当然也不会有感应电流，在空间也可以产生感应电动势。



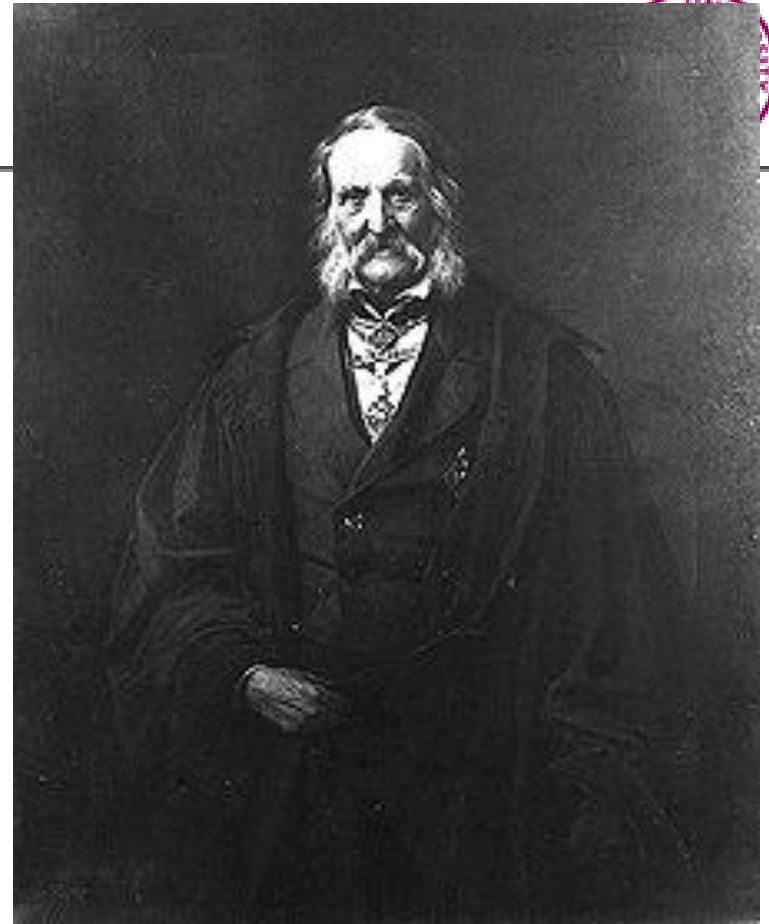


## 二、法拉第电磁感应定律

法拉第详细地做了一些列实验，发现：

- 电动势有方向（正负）；
- 与磁场改变的速度有关；
- 与包围的磁场面积有关；

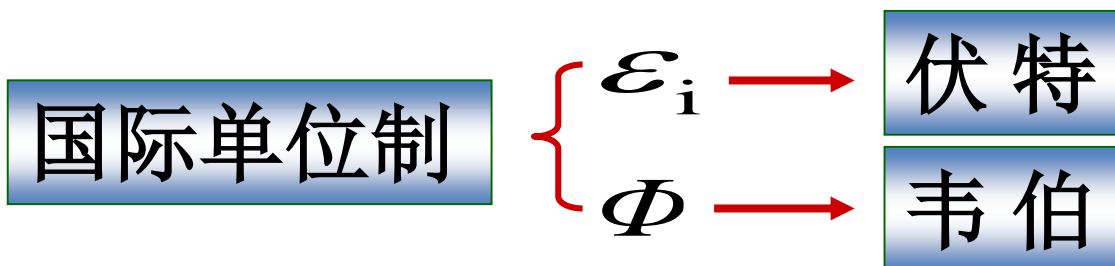
法拉第电磁感应定律的数学形式是1845年诺埃曼给出的。



Franz Ernst Neumann  
( 1798–1895 )  
德国

当穿过闭合回路所围面积的磁通量发生变化时，回路中会产生感应电动势，且感应电动势正比于磁通量对时间变化率的负值。

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot d\vec{S}$$






高斯和韦伯像



威廉·爱德华·韦伯 德国  
1804-1891


$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot d\vec{S} = -\frac{d}{dt} \int B ds \cos \theta$$

# 磁通量的变化产生电动势！！

哪些因素可以引起磁通量的变化？

- 回路包围的面积发生变化
- 磁场发生变化
- 磁场与回路包围面积的夹角随时间变化

# 感应电动势的方向问题:

南开大学

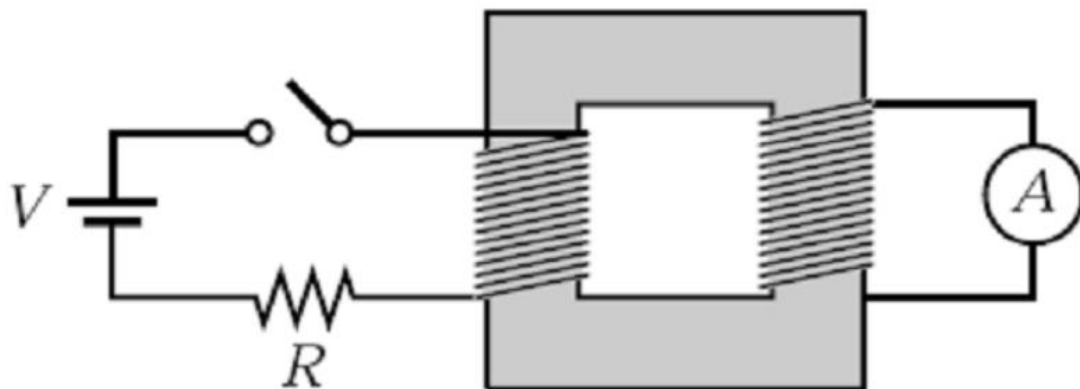
- (1) 任意规定回路绕行的方向;
- (2) 按右手定则确定回路所围曲面的正法线方向 $\hat{n}$ ;
- (3) 再确定磁通量的正负,  $\vec{B}$ 与 $\vec{n}$ 成锐角,  $\varphi_B$ 为正,  $\vec{B}$ 与 $\vec{n}$ 成钝角,  $\varphi_B$ 为负;
- (4) 计算 $\varepsilon = -\frac{d\varphi_B}{dt}$ ;
- (5)  $\varepsilon$ 为正, 说明 $\varepsilon$ 的方向与规定的绕行方向相同;  $\varepsilon$ 为负, 说明 $\varepsilon$ 的方向与规定的绕行方向相反。





如图所示，某回路由变压器的初级线圈、电阻、开关、电源组成，次级线圈与电流表相接。当开关闭合时，电流表显示

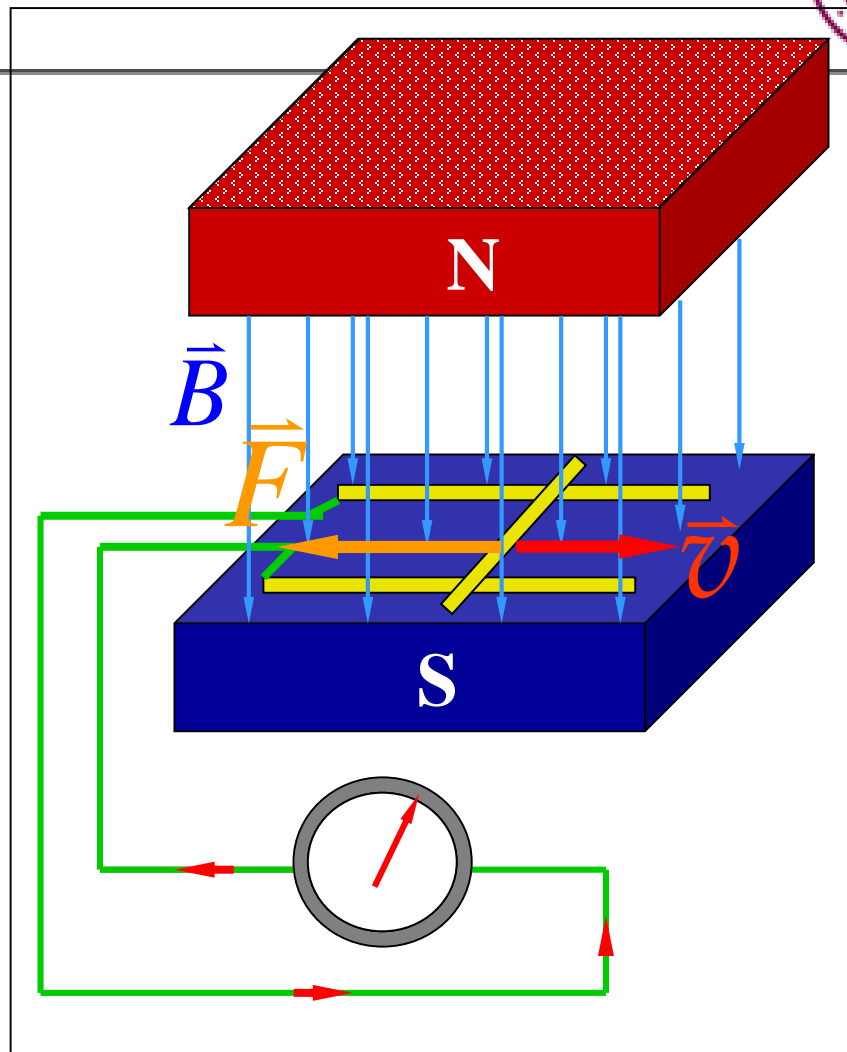
- ☐ A 零
- ☒ B 瞬间不为零
- ☐ C 稳定的电流



Submit

### 三 楞次定律

闭合的导线回路中所出现的感应电流，总是使它自己所激发的磁场反抗引起感应电流的磁通量的变化。  
(感应电流的效果总是反抗引起感应电流的原因)







1804年2月24日—1865年2月10日  
俄国物理学家、地球物理学家

1834年发现楞次定律

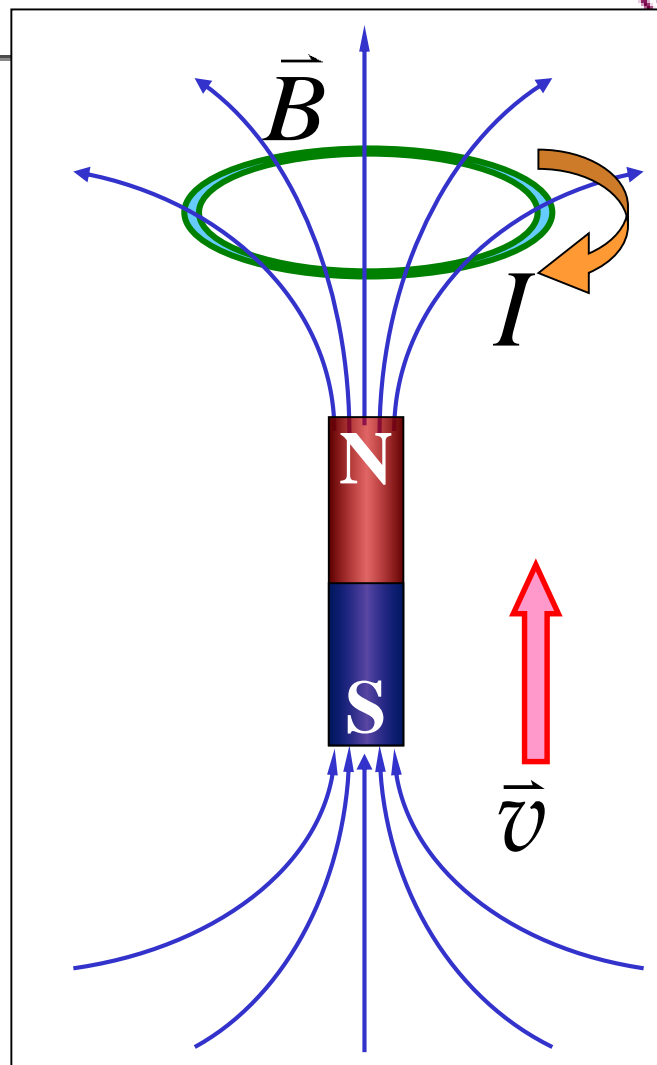
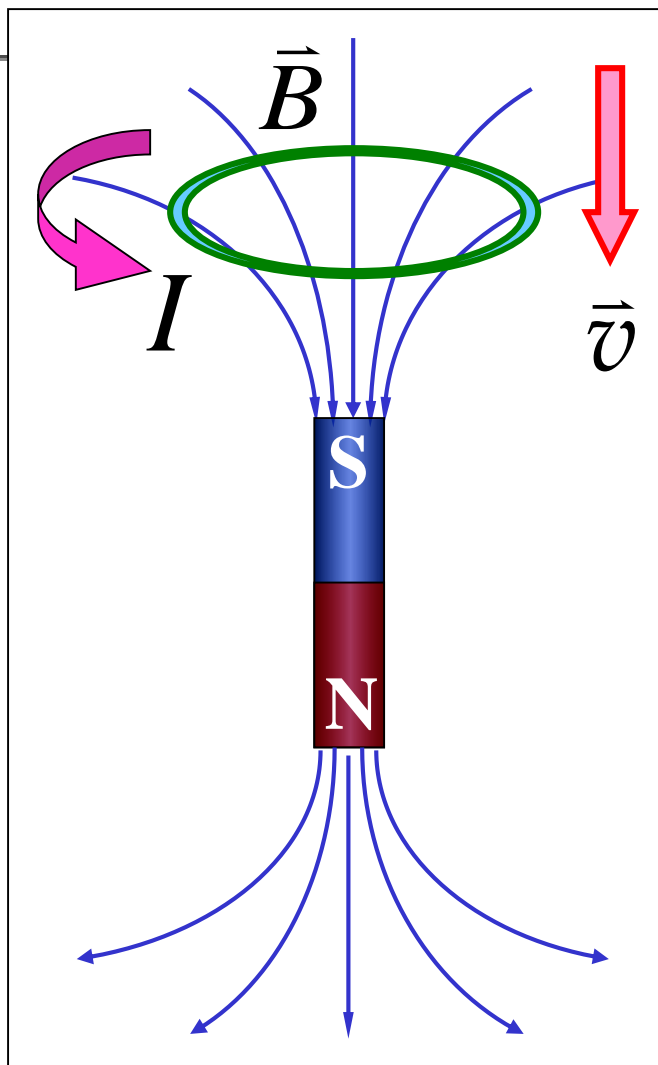


说明:

- (1) 反抗指的是对磁通量变化的反抗，而不是磁通量的反抗。
- (2) 反抗并不是意味着完全抵消。

法拉第定律适合用于定量求解，楞次定律适合定性判断，二者通称为**电磁感应定律**。

用楞次定律判断感应电流方向



# 楞次定律是能量守恒定律的一种表现

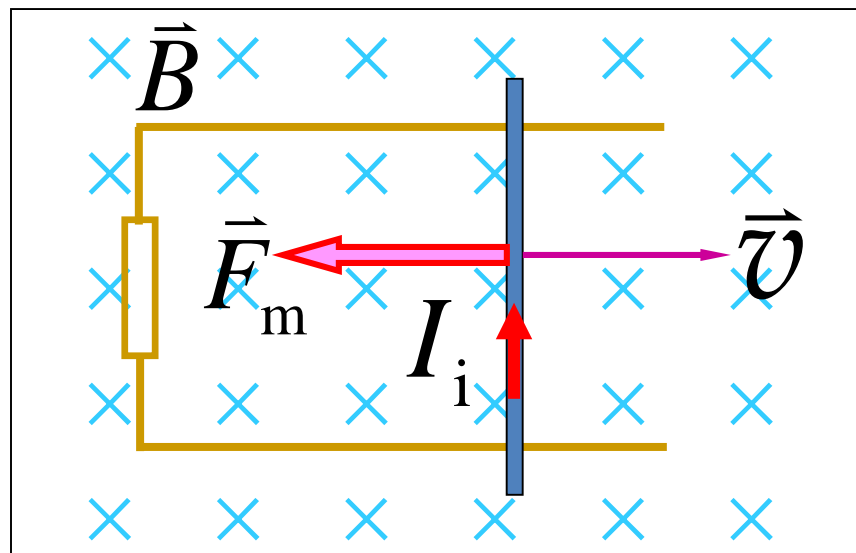
例如

机械能



电能

维持滑杆运动必须外加一力，此过程为外力克服安培力做功转化为焦耳热。



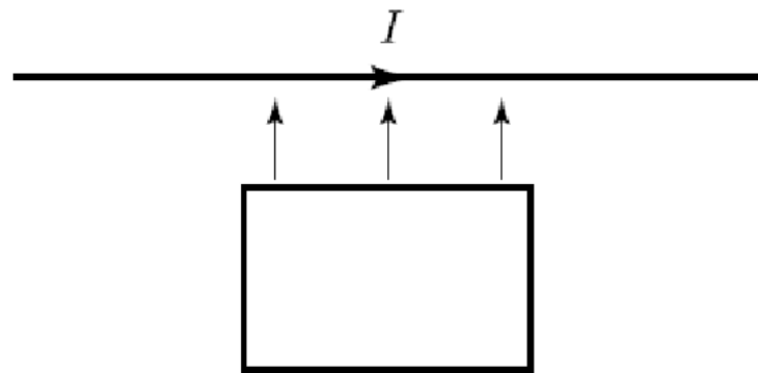
# 电磁感应定律

- ◆ 法拉第定律适合用于定量求解
- ◆ 楞次定律适合定性判断



一长直导线内有一稳定电流 $I$ 。一矩形导体圈置于和导线相同的平面内，并且有两边平行于导线，两边垂直。如图所示，假设将导体圈推向导线。那么，矩形线框中感应电流 $I$ 的方向是

- ☐ A 顺时针
- ☒ B 逆时针
- ☐ C 无法判断



Submit



# 涡旋电场初见面！



法拉第电磁感应定律

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi}{dt}$$

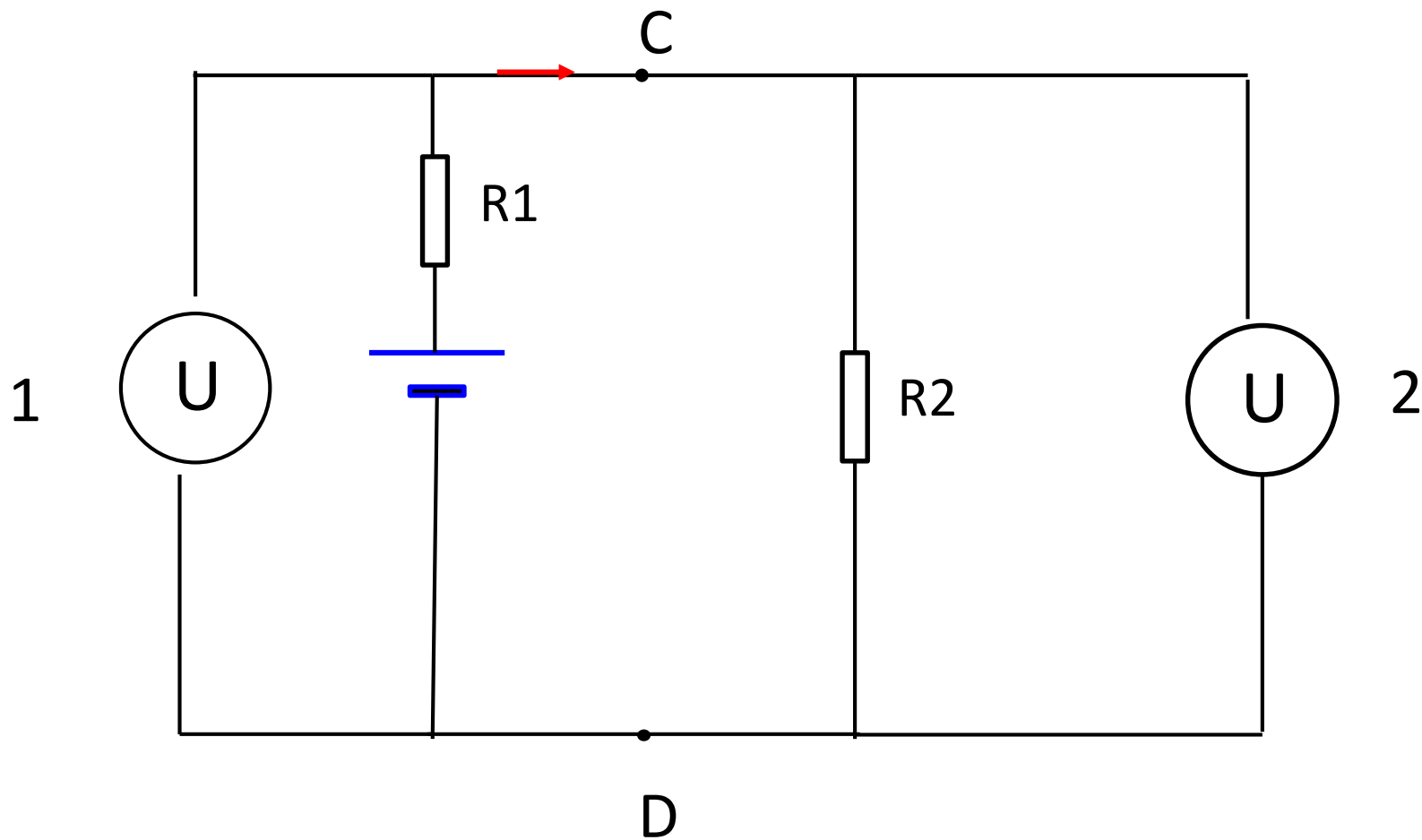
电路中有电流，必有电场

$$\mathcal{E} = \oint \vec{E}_k \cdot d\vec{l}$$

$$\oint \vec{E}_k \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

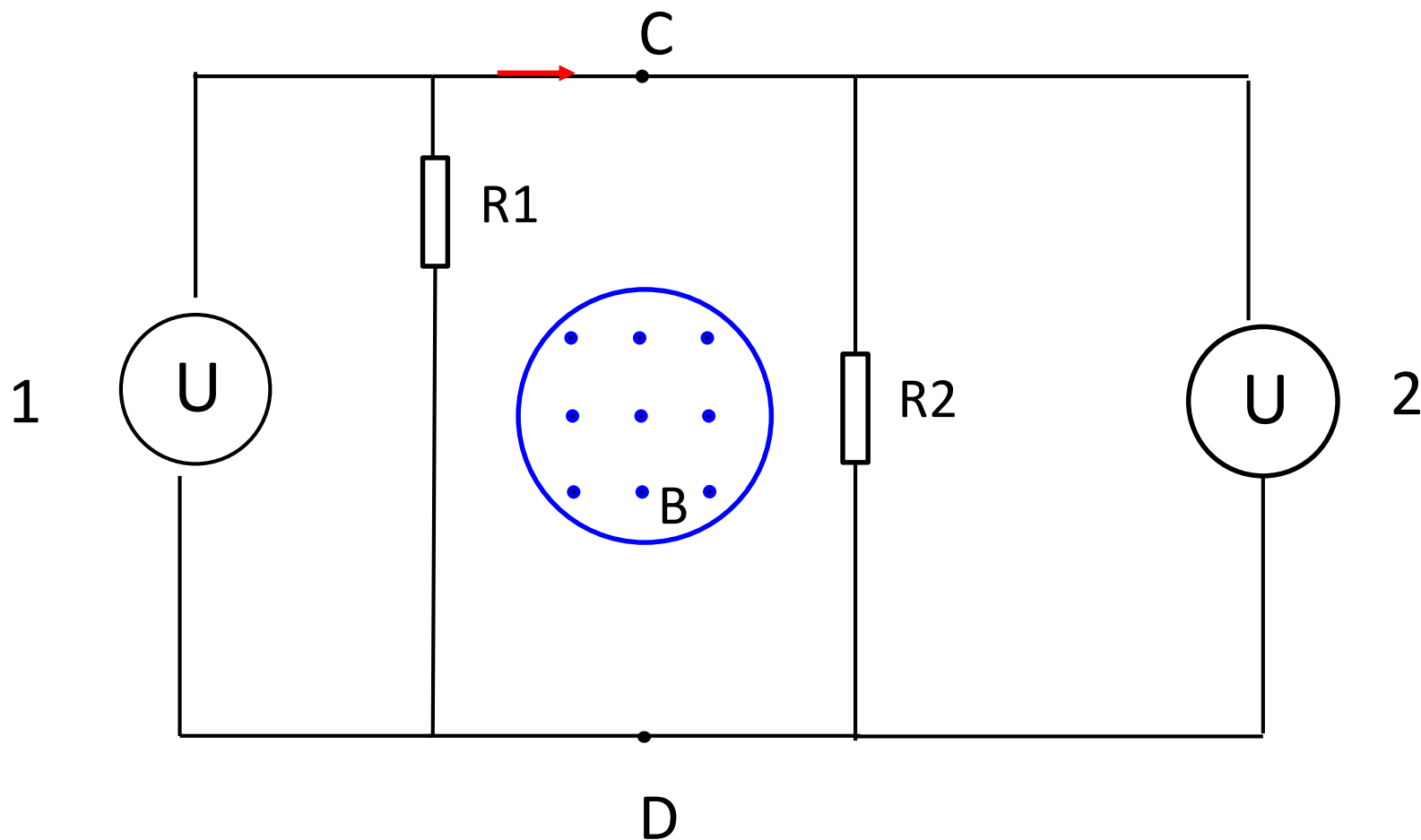
电场沿闭合回路得积分不为零！！！！





电压表1和2的读数相同

# 磁场增加



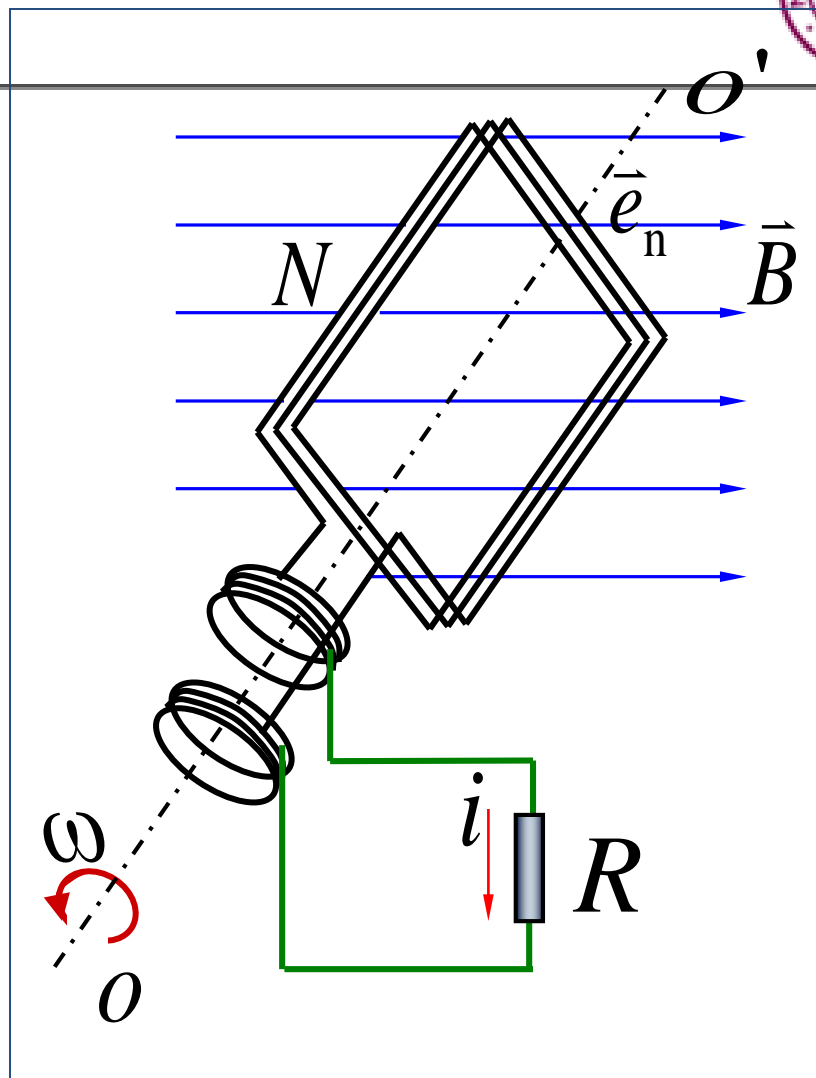
电压表1和2的读数不同!!!



- 法拉第电磁感应定律的内容是什么；
- 楞次定律说的是什么？
- 对于电源而言，非静电力的作用是什么？

## 四、应用举例

**例1** 在匀强磁场中，置有面积为  $S$  的可绕轴转动的  $N$  匝线圈。若线圈以角速度  $\omega$  作匀速转动。求线圈中的感应电动势。



**解** 设  $t=0$  时,  
 $\vec{e}_n$  与  $\vec{B}$  同向,

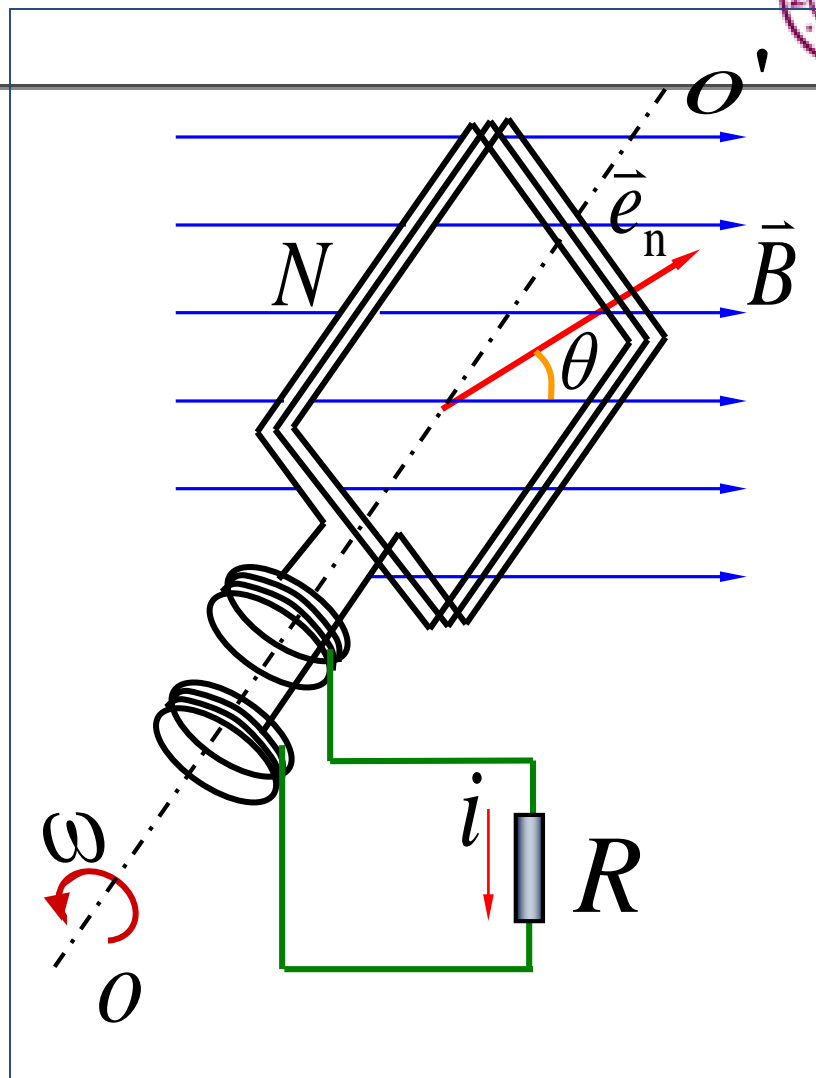
则  $\theta = \omega t$

$$\psi = N\phi = NBS \cos \omega t$$

$$\varepsilon = -\frac{d\psi}{dt} = NBS\omega \sin \omega t$$

令  $\varepsilon_m = NBS\omega$

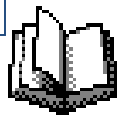
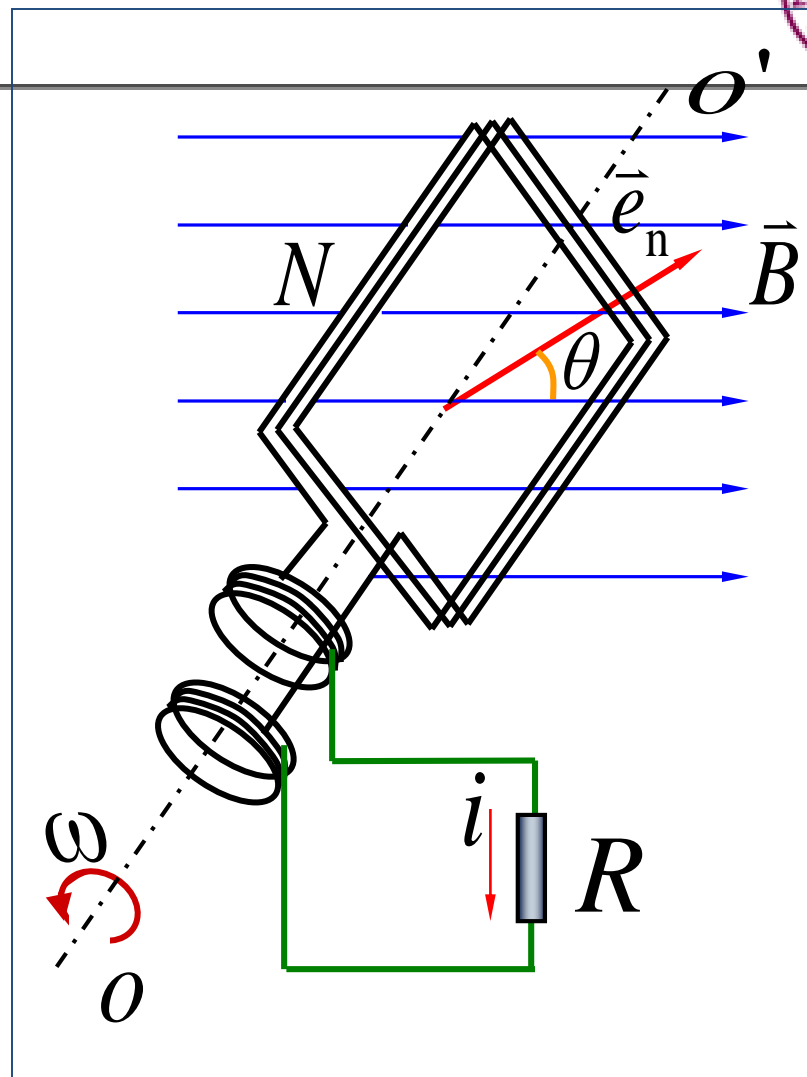
则  $\varepsilon = \varepsilon_m \sin \omega t$



$$\varepsilon = \varepsilon_m \sin \omega t$$

$$i = \frac{\varepsilon_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t$$

交流电

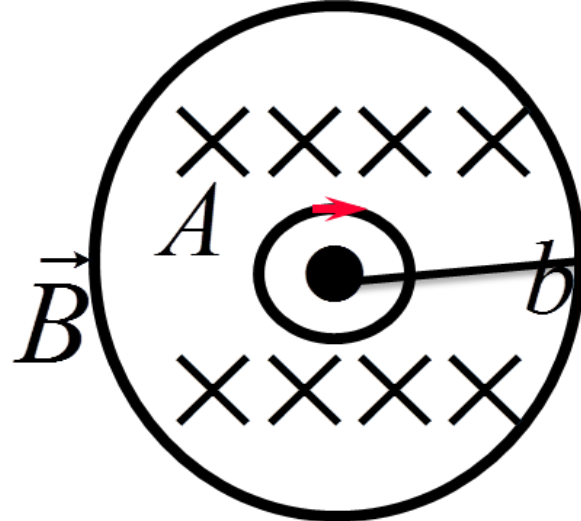


例2、半径为 $b$ ，电阻为 $R$ 的大线圈与面积为 $A$ 的极小线圈，开始时同心共面，均匀磁场  $\vec{B}$  垂直线圈平面指向内部。大线圈环绕直径、以角速度 $\omega$ 、沿逆时针方向旋转。小线圈不动，若不考虑小线圈对大线圈的电磁感应作用，试求 $t$ 时刻，

(1) 大线圈上产生的感应电动势和电流强度；

(2) 大线圈上感应电流在圆心处激发的磁场：

(3) 小线圈上的电动势。

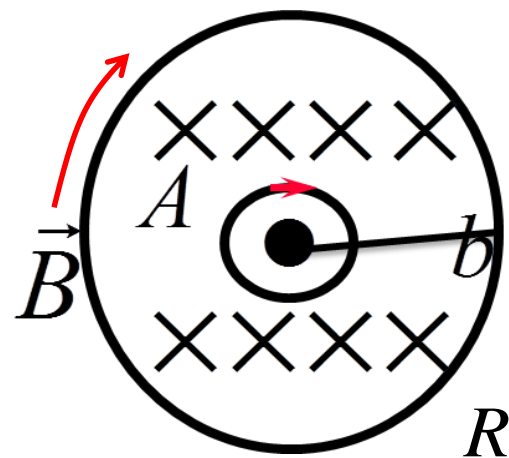


$R$

解：规定两线圈的环绕方向都是顺时针方向。  
起始时刻，大线圈的正法线方向与 $\vec{B}$ 的夹角为0，  
在t时刻，夹角为： $\theta = \omega t$

t时刻大线圈所围平面的磁通量为：

$$\phi = B\pi b^2 \cos \omega t$$





大线圈上的感应电动势为：

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} = B\pi b^2 \omega \sin \omega t$$

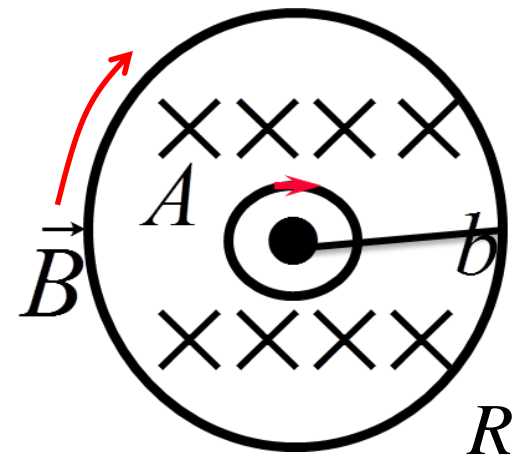
在大线圈上的感应电流为：

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{1}{R} B\pi b^2 \omega \sin \omega t$$

电流I在圆心处产生的磁感应强度为：

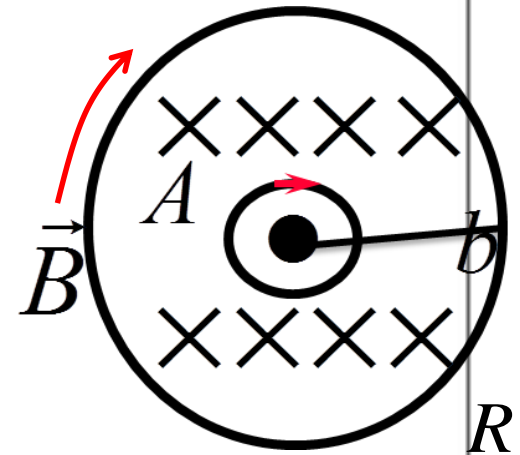
$$B' = \frac{\mu_0 I}{2b} = \frac{\mu_0}{2b} \frac{B\pi b^2 \omega}{R} \sin \omega t$$

$$(B = \frac{\mu_0 I}{2} \cdot \frac{R^2}{(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}})$$



因A极小，可认为小线圈内B'是均匀的，因而小线圈内的磁通量为：

$$\varphi' = B' A \cos \omega t + BA$$



因此小线圈上的感应电动势为：

$$\begin{aligned} \varepsilon' &= -\frac{d\varphi'}{dt} = -\frac{d}{dt} \left[ \left( \frac{\mu_0}{2b} \frac{B\pi b^2 \omega}{R} \sin \omega t \right) A \cos \omega t \right] \\ &= -\frac{\mu_0}{2R} B\pi b \omega^2 A \cos 2\omega t \end{aligned}$$



讨论：

(1)  $\frac{\pi}{2} + 2n\pi > 2\omega t > 2n\pi$  及  
 $2(n+1)\pi > 2\omega t > \frac{3\pi}{2} + 2n\pi$  时,  $\varepsilon'$  逆时针;

(2)  $\frac{3\pi}{2} + 2n\pi > 2\omega t > \frac{\pi}{2} + 2n\pi$ ,  $\varepsilon'$  顺时针。



课本： P 4 4 2      例 1 0 . 1 — 1 0 . 3

- 作业: P484 T10.9 T10.11



# 本次课的学习目标，您掌握了吗？

- 是否能分析电磁感应现象？
- 能否用法拉第电磁感应定律求解问题？



感应电动势对应的非静电力是什么力？