



第10章

电磁感应定律

课前热身

电和磁之间有怎样的联系？



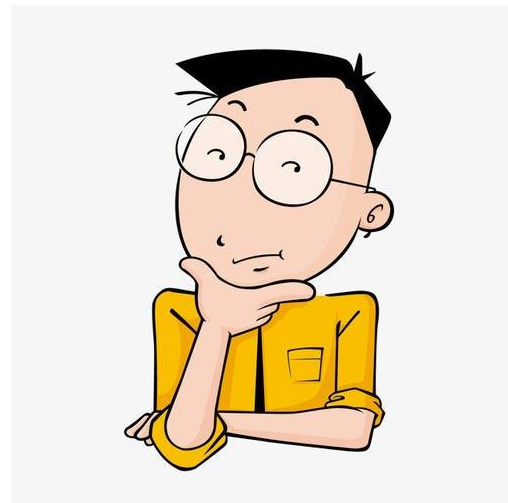
- 载流直导线的周围有磁场；
- 磁场对载流直导线有力的作用。
- 磁场对运动电荷有力的作用

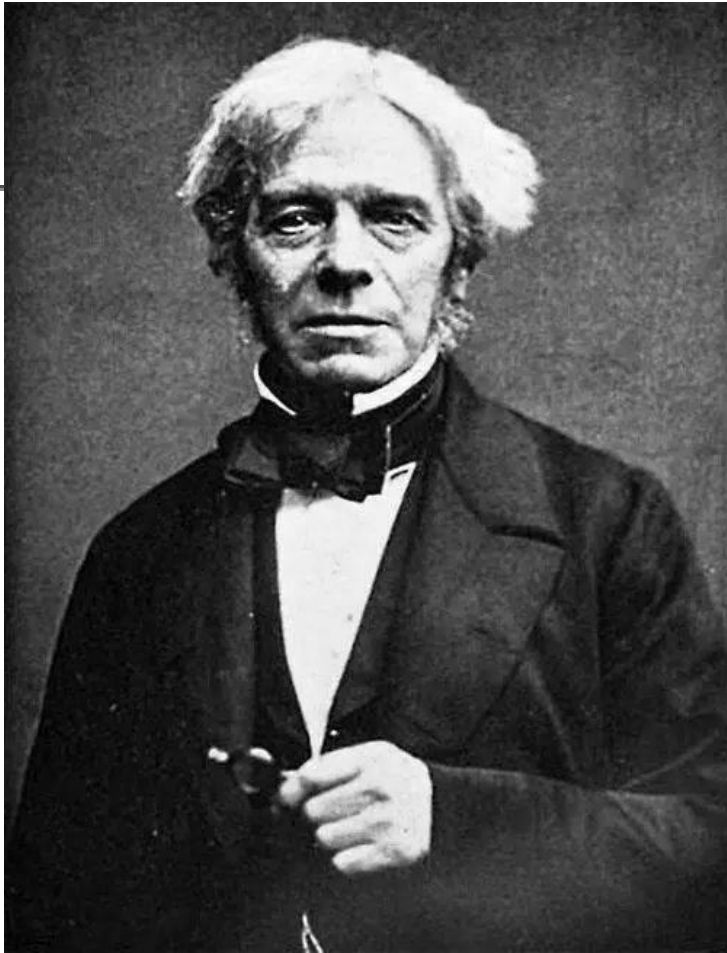
1820-1821年之间完成！

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

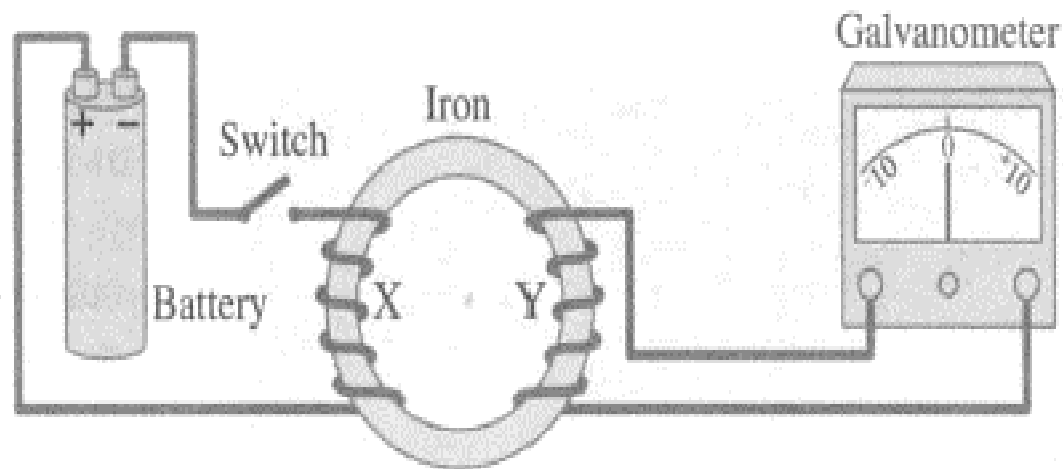
通过本次课的学习，您将：

- 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。



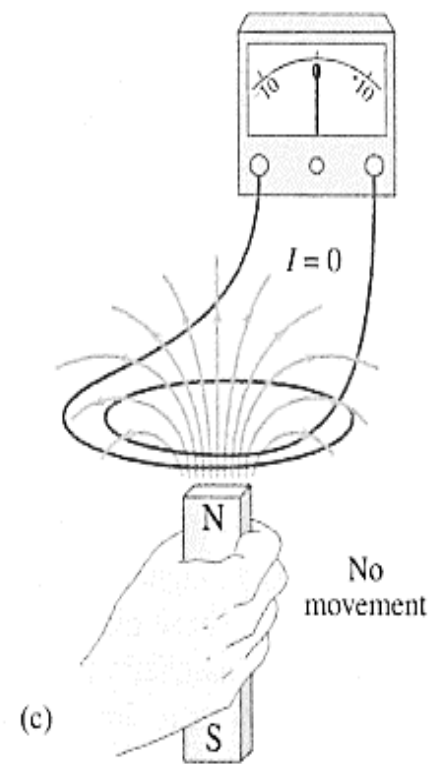
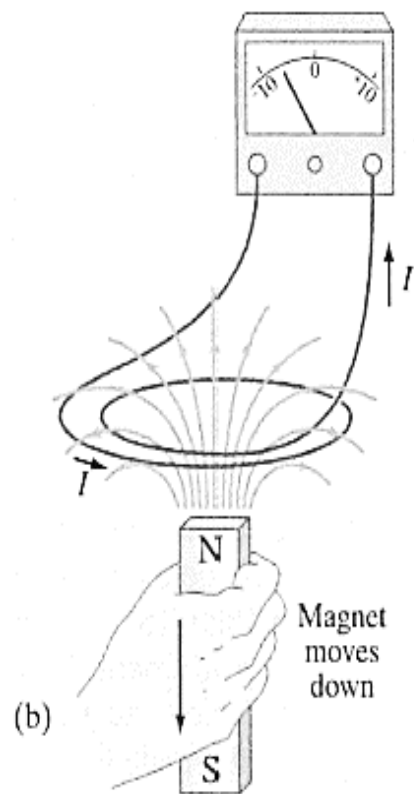
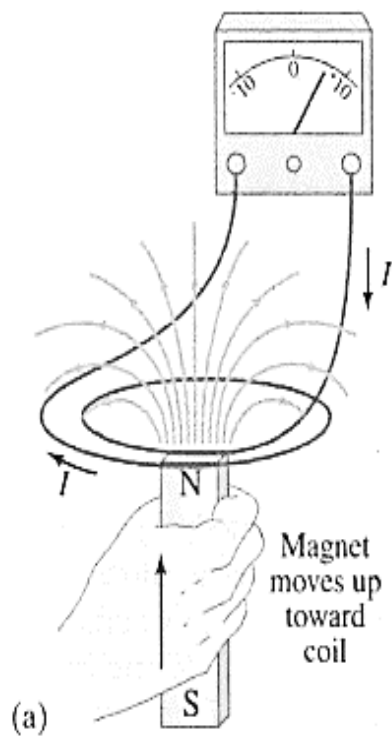
§ 10.1 法拉第与楞次定律

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。



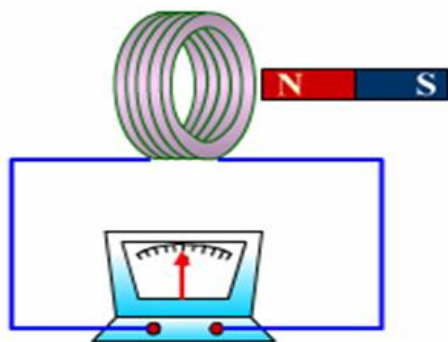
上述实验现象中，究竟是哪个物理量的变化，导致了电流的产生？

磁通量！！！！

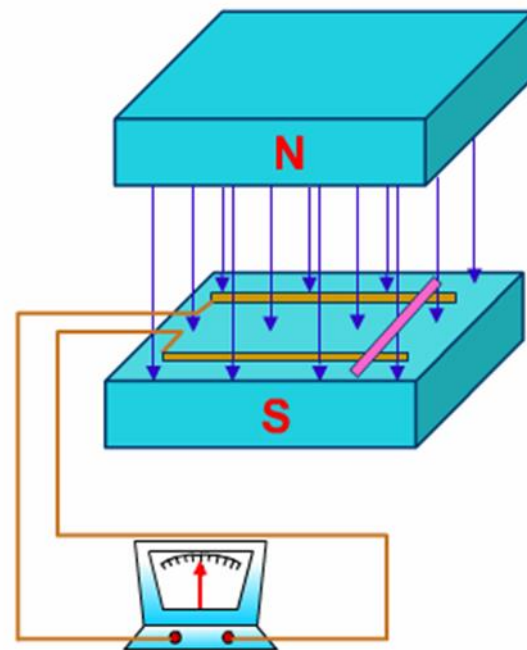




http://open.163.com/movie/2002/5/Q/R/M72UIB0K0_M72UN6IQR.html



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

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，仅仅磁通量的变化，
就能产生电流！



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。

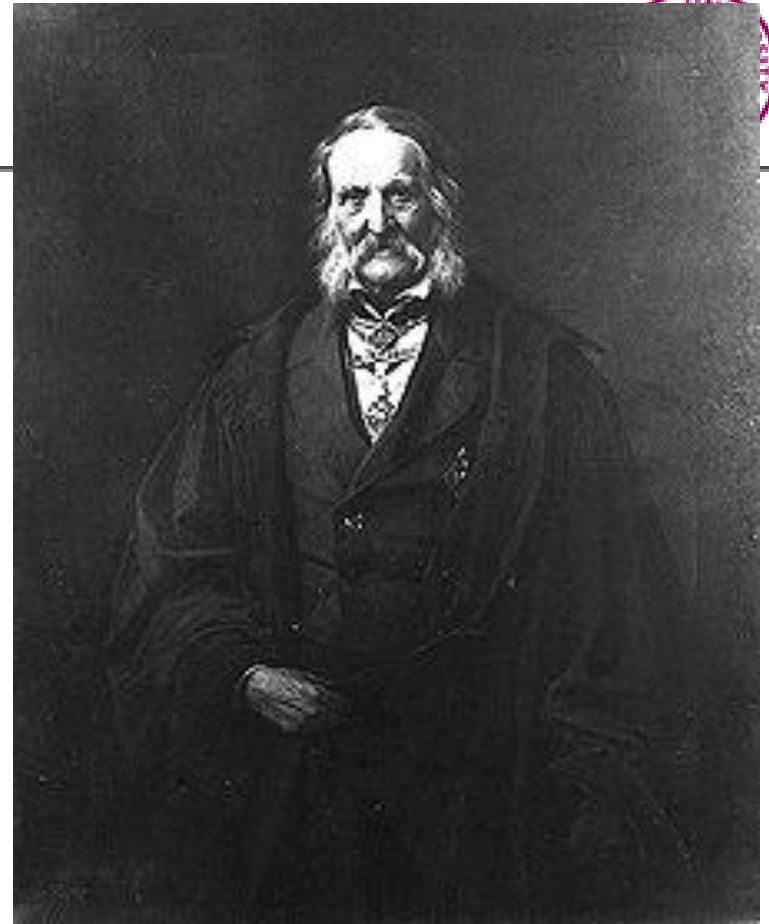


二、法拉第电磁感应定律

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.

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

国际单位制

$\left\{ \begin{array}{l} \mathcal{E}_i \longrightarrow \\ \Phi \longrightarrow \end{array} \right.$

伏特


韦伯



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

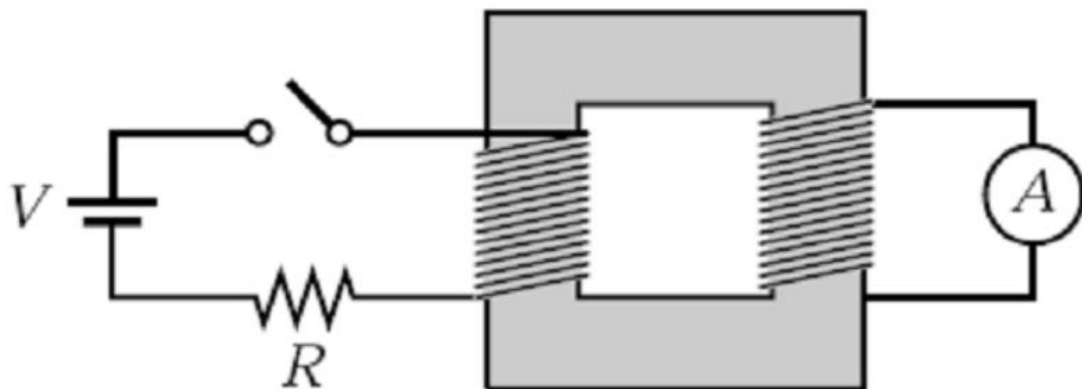
- (1) 任意规定回路绕行的方向;
- (2) 按右手定则确定回路所围曲面的正法线方向 \hat{n} ;
- (3) 再确定磁通量的正负, \vec{B} 与 \vec{n} 成锐角, φ_B 为正, \vec{B} 与 \vec{n} 成钝角, φ_B 为负;
- (4) 计算 $\varepsilon = -\frac{d\varphi_B}{dt}$;
- (5) ε 为正, 说明 ε 的方向与规定的绕行方向相同; ε 为负, 说明 ε 的方向与规定的绕行方向相反。





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

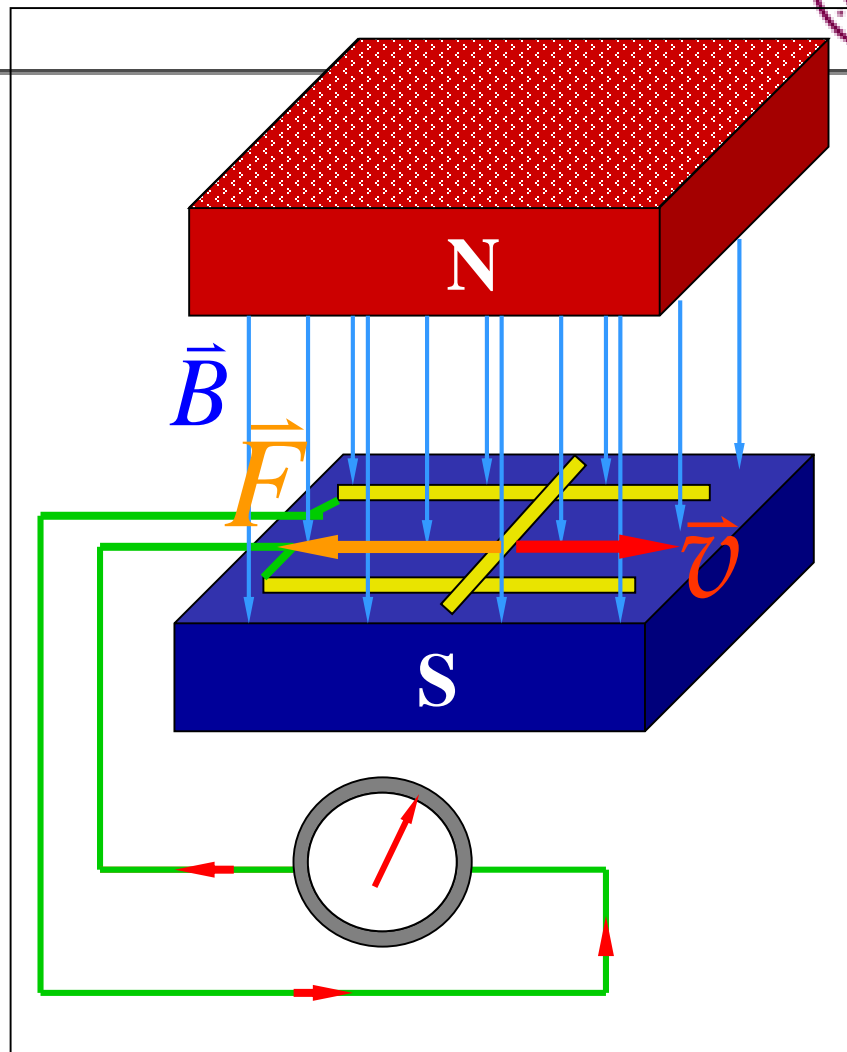
- ☐ A 零
- ☒ B 瞬间不为零
- ☐ C 稳定的电流



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)

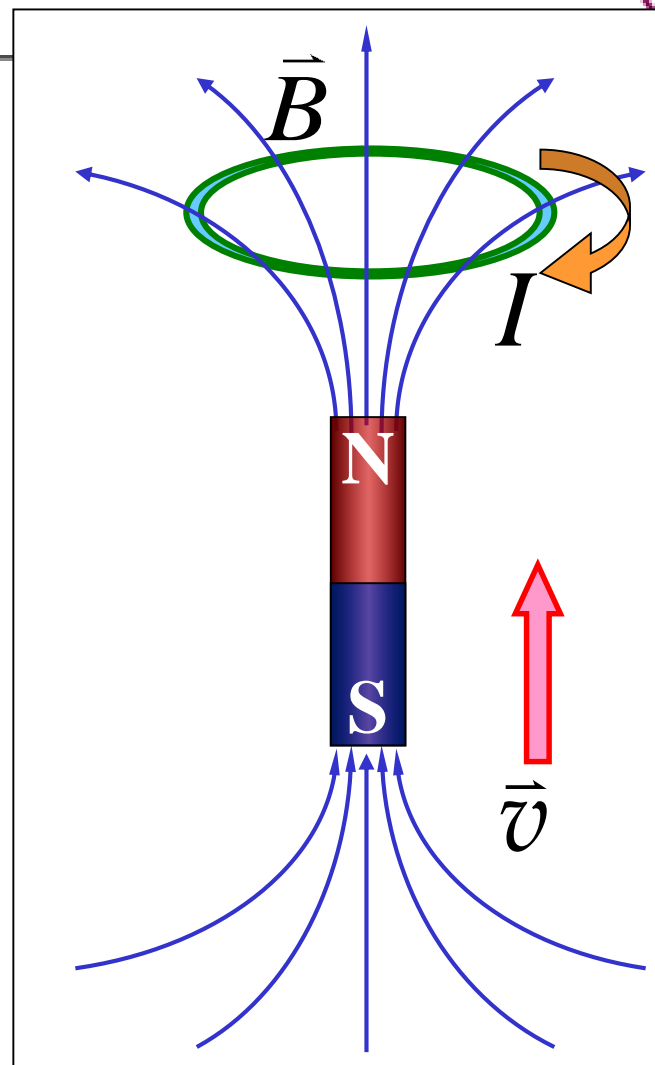
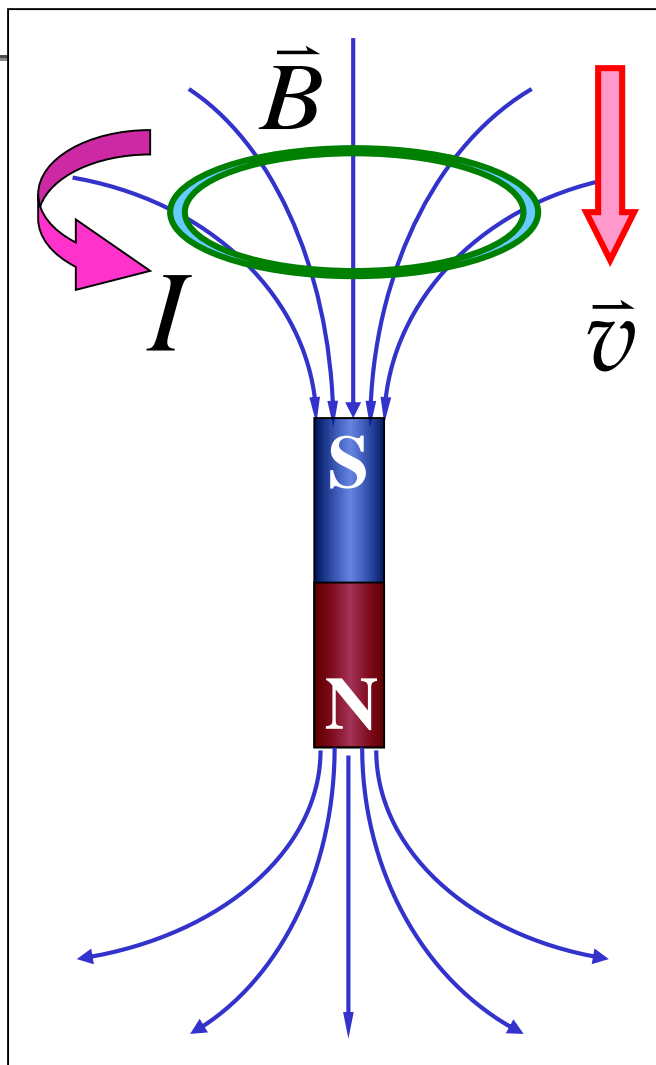




1804年2月24日—1865年2月10日
俄国物理学家、地球物理学家

1834年发现楞次定律

用楞次定律判断感应电流方向



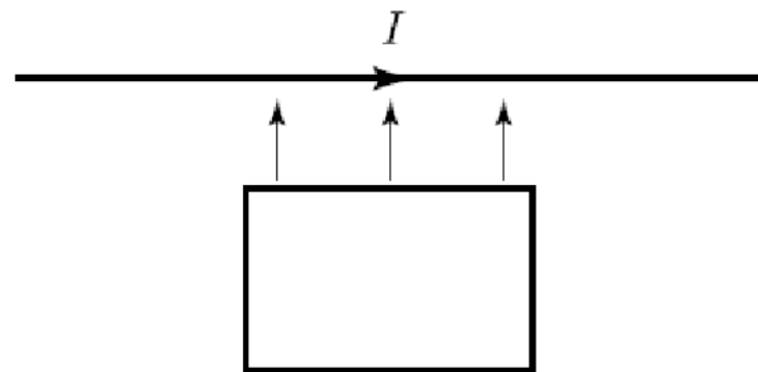
电磁感应定律

- ◆ 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

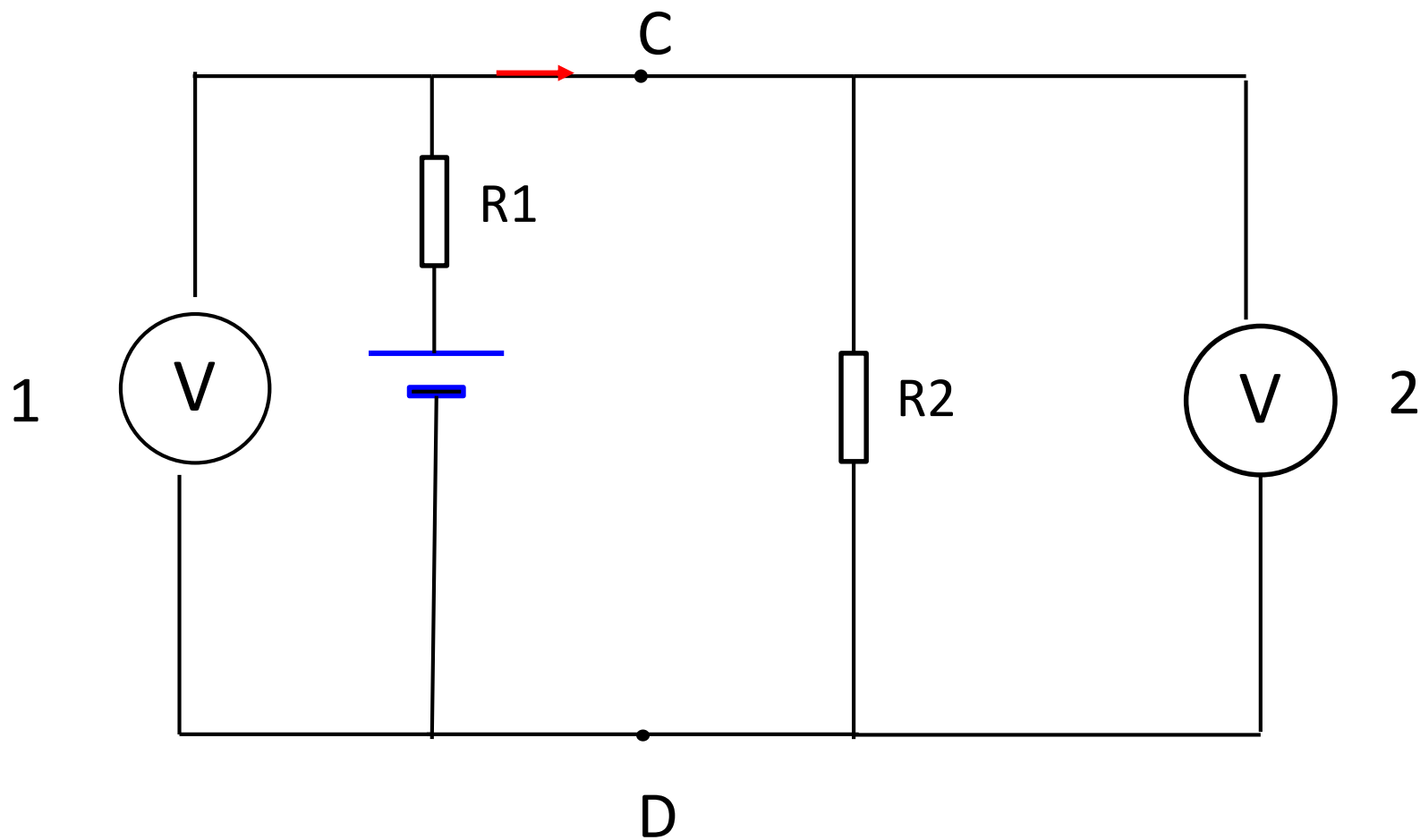
$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi}{dt}$$

电路中有电流，必有电场

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

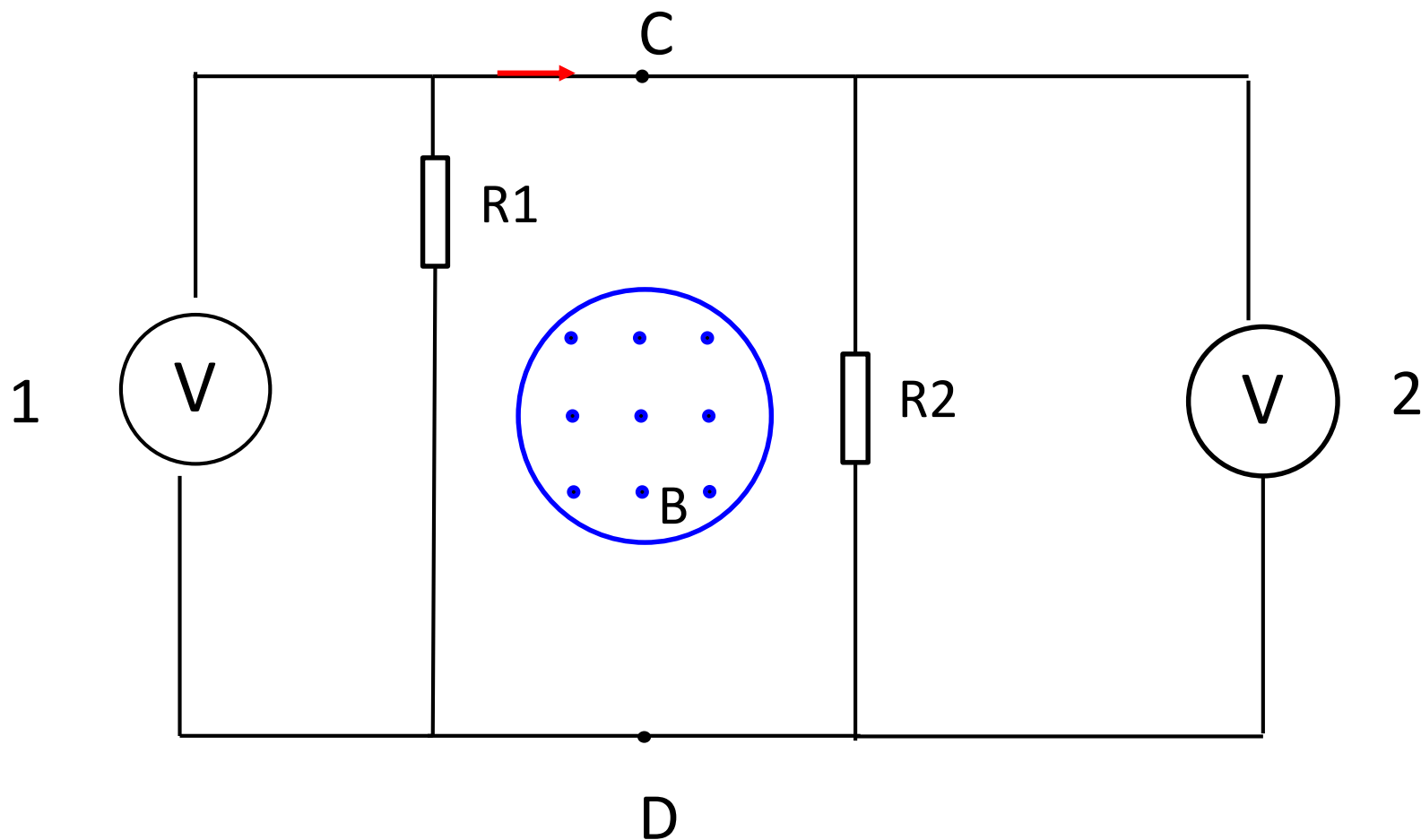
$$\oint \vec{E}_k \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

电场沿闭合回路的积分不为零！！！！



电压表1和2的度数相同

磁场增加



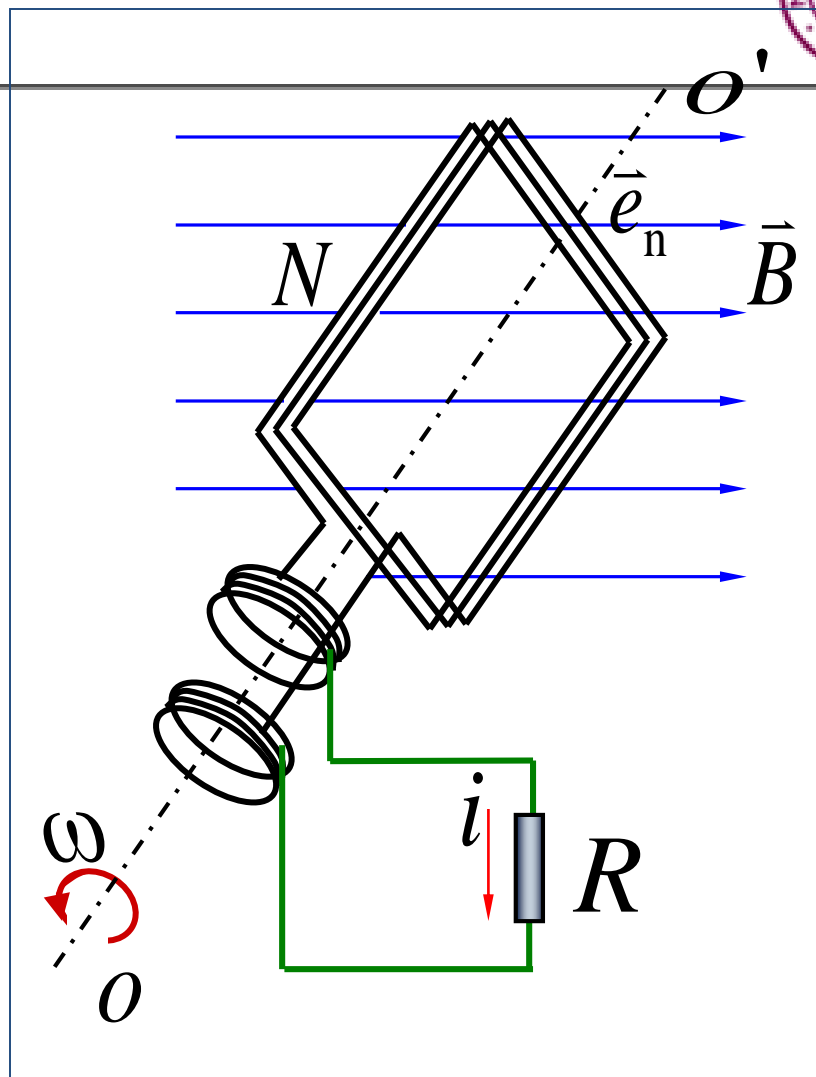
电压表1和2的度数不同!!!



- 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 ω 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,

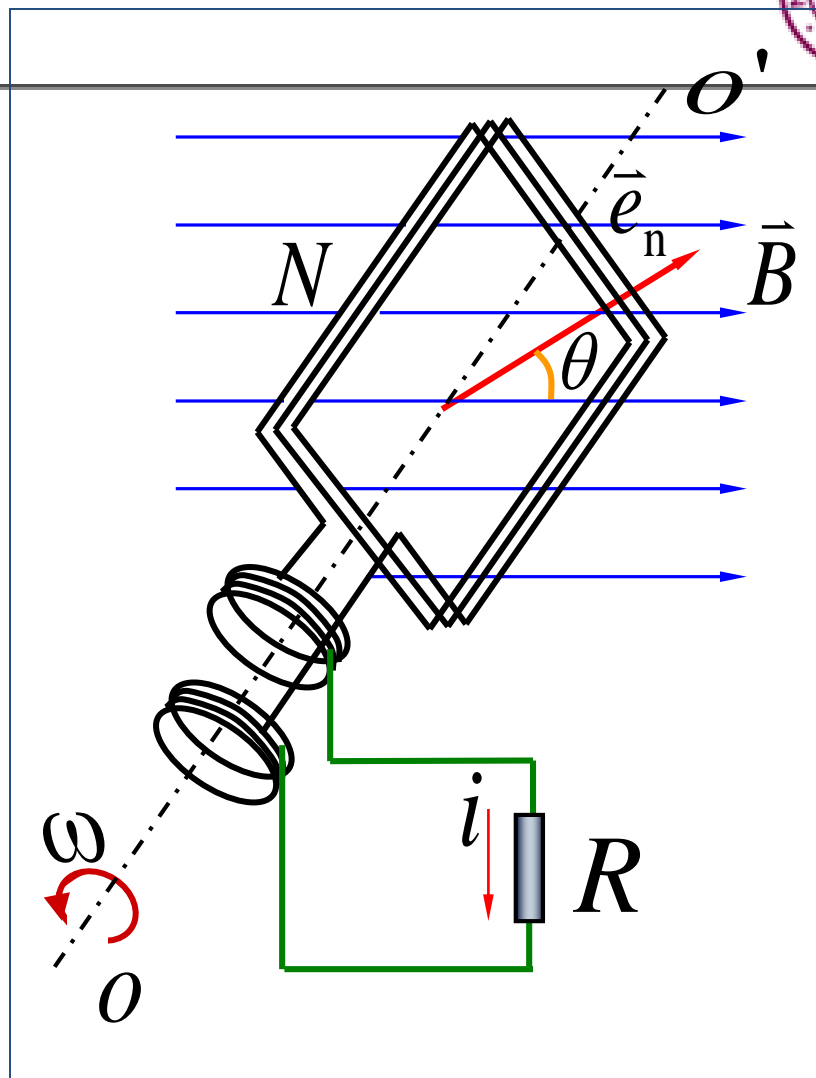
则 $\theta = \omega t$

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

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

令 $\varepsilon_m = NBS\omega$

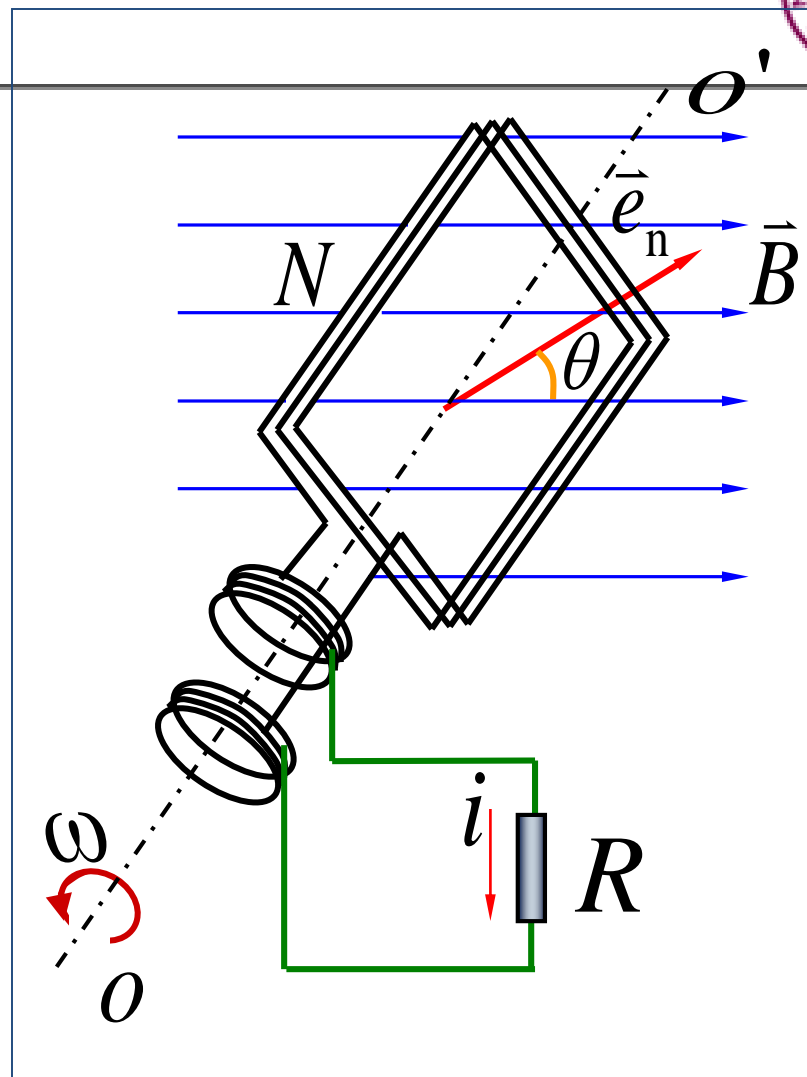
则 $\varepsilon = \varepsilon_m \sin \omega t$



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

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

交流电

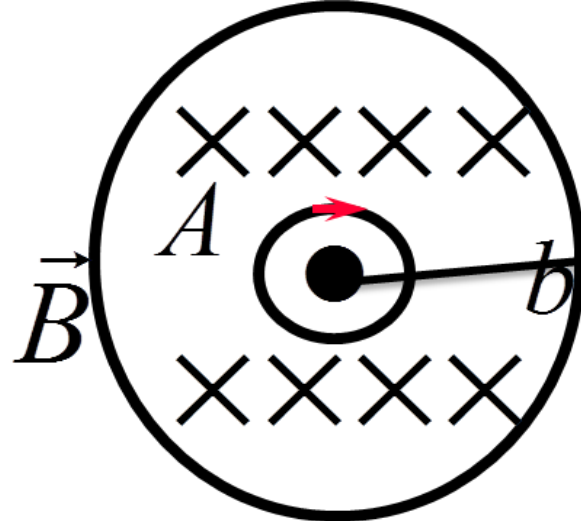


例2、半径为 b ，电阻为 R 的大线圈与面积为 A 的极小线圈，开始时同心共面，均匀磁场 \vec{B} 垂直线圈平面指向内部。大线圈环绕直径、以角速度 ω 、沿逆时针方向旋转。小线圈不动，若不考虑小线圈对大线圈的电磁感应作用，试求 t 时刻，

(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。

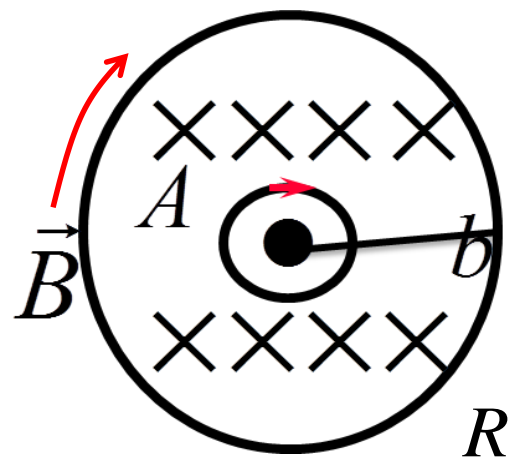


R

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：

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

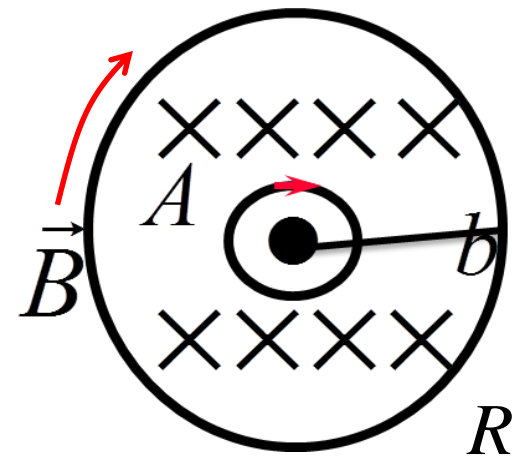


大线圈上的感应电动势为：

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

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：

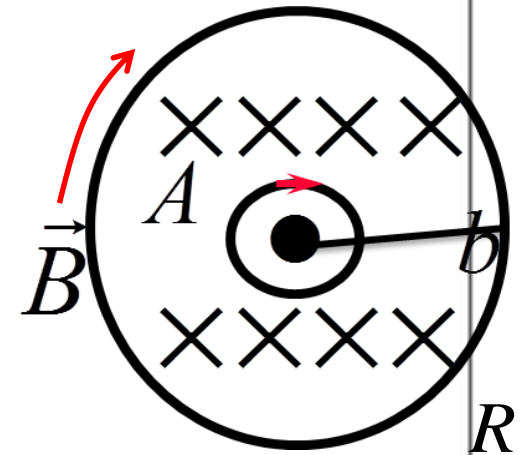
$$B' = \frac{\mu_0 I}{2b} = \frac{\mu_0}{2b} \frac{B\pi b^2 \omega}{R} \sin \omega t$$

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



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, ε' 逆时针;

(2) $\frac{3\pi}{2} + 2n\pi > 2\omega t > \frac{\pi}{2} + 2n\pi$, ε' 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？