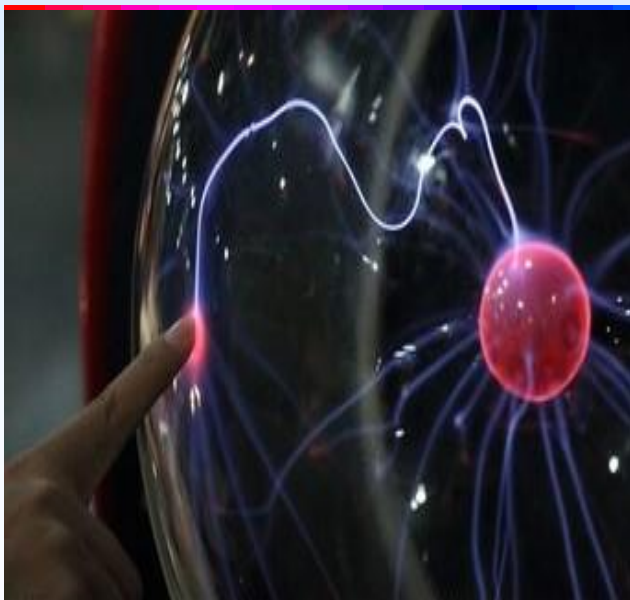
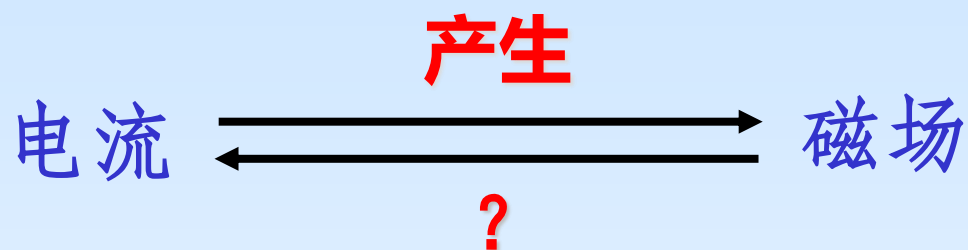


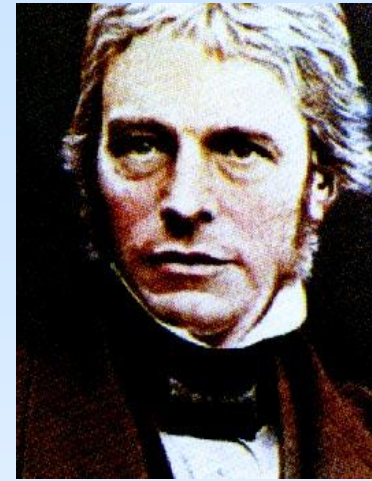
第九章 电磁感应 电磁场理论





奥斯特 (1777-1851)
丹麦物理学家

1820年，奥斯特的论文《关于电流对磁针作用的实验》



法拉第

(Michael Faraday, 1791–1867)

英国物理学家、化学家

- 1821年提出“由磁产生电”，《关于磁针上的电碰撞的实验》
- 1831年，终于发现了电磁感应现象。
- 1833年，法拉第发现了电解定律，
- 1837年发现电解质对电容的影响，引入了电容率概念。
- 1845年发现磁光效应，后又发现物质可分为顺磁质和抗磁质等。

§ 9-1 电磁感应定律

一、电磁感应现象

演示实验



- 条形磁铁插入线圈, 闭合回路中有电流通过;
- 磁铁从线圈拔出, 闭合回路中电流方向和插入时相反;
- 磁铁移动越快, 电流越大。

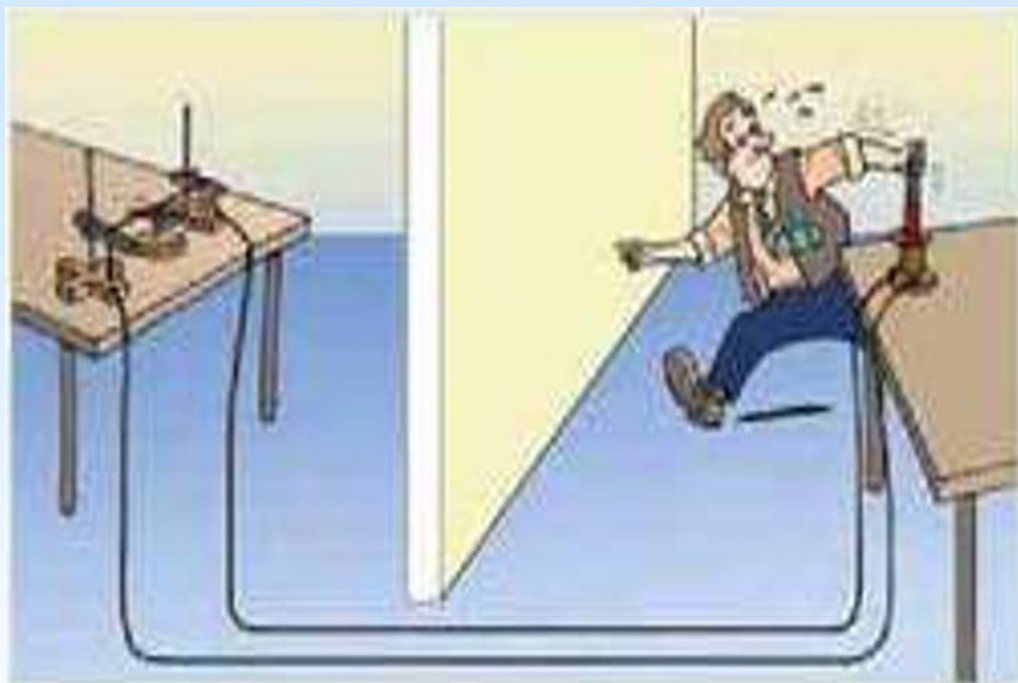


思考：闭合回路中的电流是如何产生的呢？

演示实验



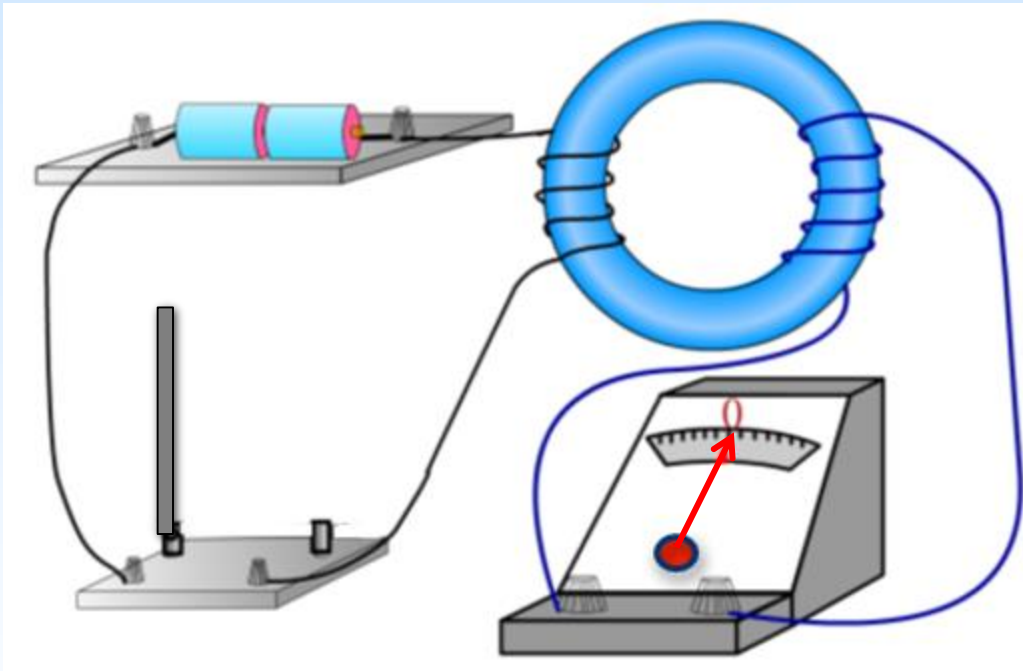
“跑失良机”



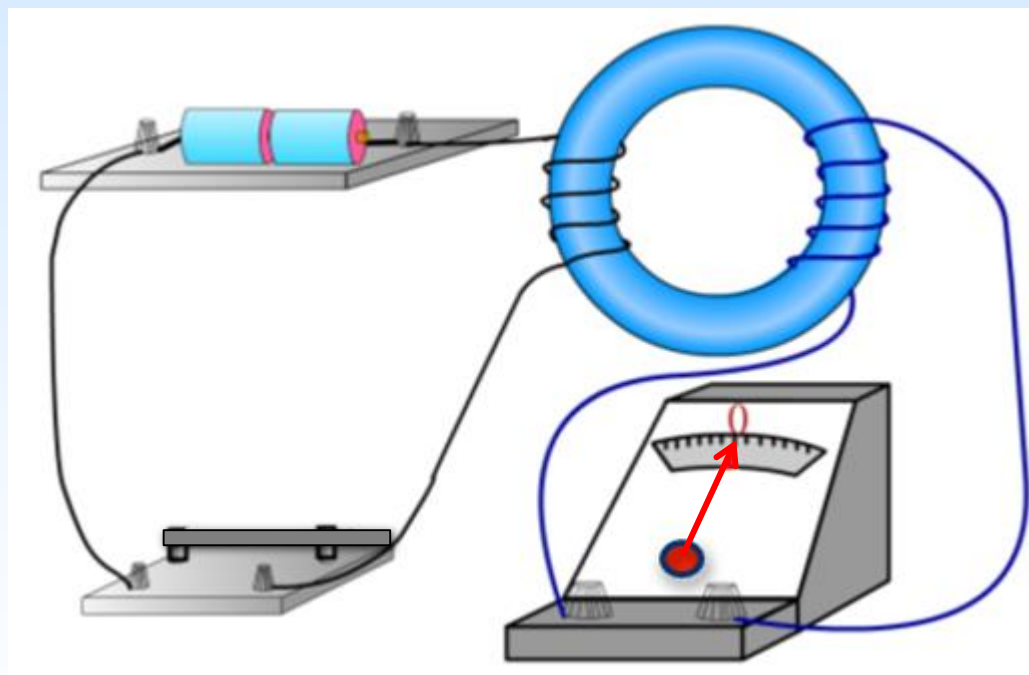
科拉顿

(Daniel Colladon 1802-1892)

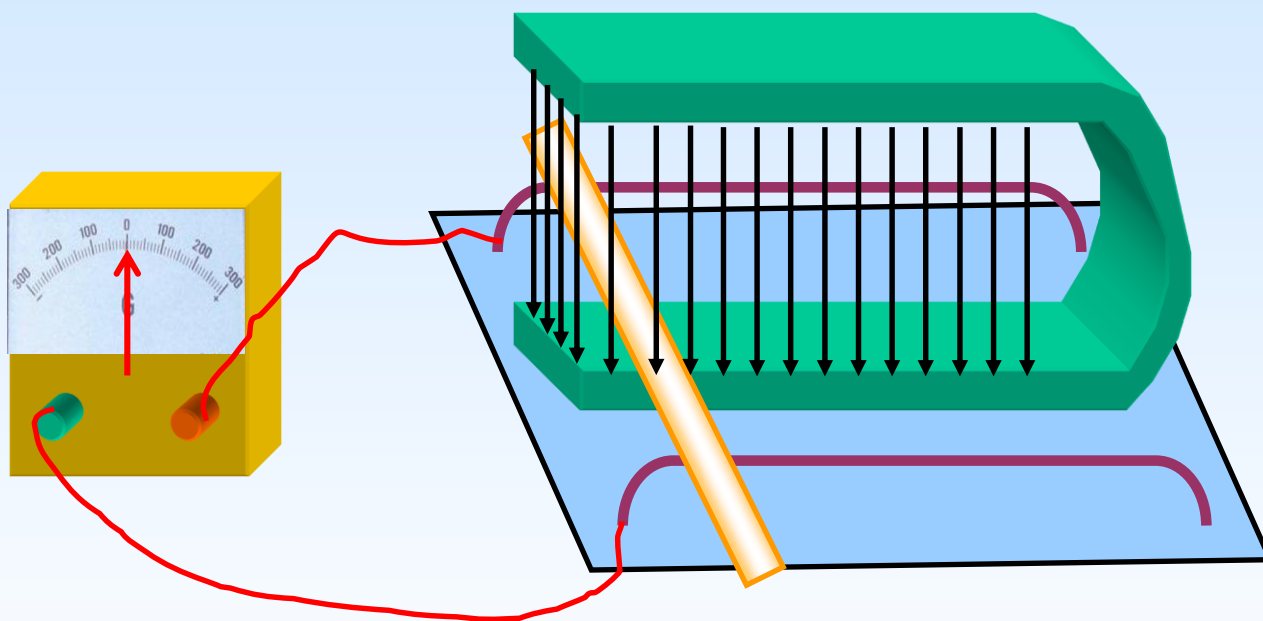
瑞士物理学家



线圈处磁场发生了变化



回路面积发生了变化

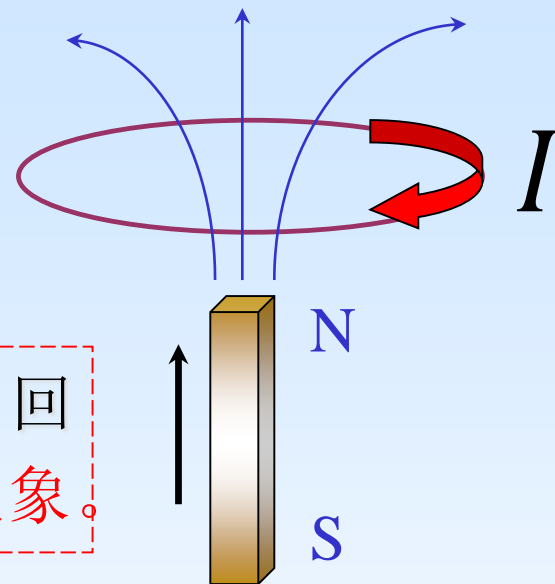


金属棒移动时, 闭合回路出现感应电流, 棒移动越快, 电流越大。

结论：回路中的磁通量变了！

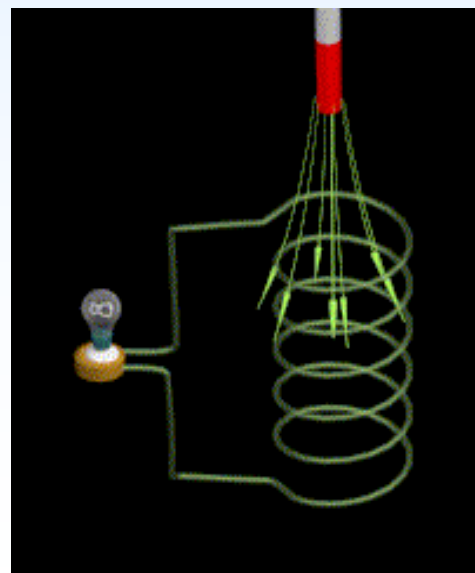
$$\Phi = \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

当穿过闭合回路的磁通量发生变化时，回路中就产生电流，这种现象称为电磁感应现象。



产生的电流称为感应电流，
相应的电动势称为感应电动势。

感应电动势(电流)如何定量表述呢？



二、法拉第电磁感应定律

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的大小与穿过回路的磁通量对时间的变化率成正比。

即 $\varepsilon_i \propto \frac{d\Phi}{dt}$

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

“**-**”反映了感应电动势的方向

回路有多匝导线：
$$\varepsilon_i = -N \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d(N\Phi)}{dt} = -\frac{d\Psi}{dt}$$

($\Psi = N\Phi$ 为磁通链数)

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

如果用 \vec{E}_k 表示等效的非静电性场强,
则感应电动势 \mathcal{E}_i 可表为

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

$$\because \Phi = \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

$$\therefore \oint \vec{E}_k \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

说明：

- 感应电流： $I_i = \frac{\varepsilon_i}{R} = -\frac{1}{R} \frac{d\Phi}{dt}$ (回路电阻为 R)
- 感应电荷量：

$$q_i = \int I_i dt = -\frac{1}{R} \int_{t_1}^{t_2} \frac{d\Phi}{dt} dt = -\frac{1}{R} \int_{\Phi_1}^{\Phi_2} d\Phi = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{R}$$

感应电荷量仅与回路中磁通量的变化量有关，
与磁通量变化的快慢无关。



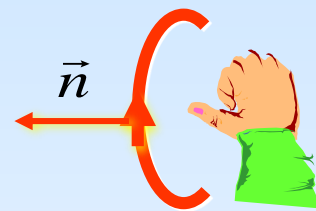
感应电动势(电流)的方向如何判断呢？

判断 ε_i 的方向:

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

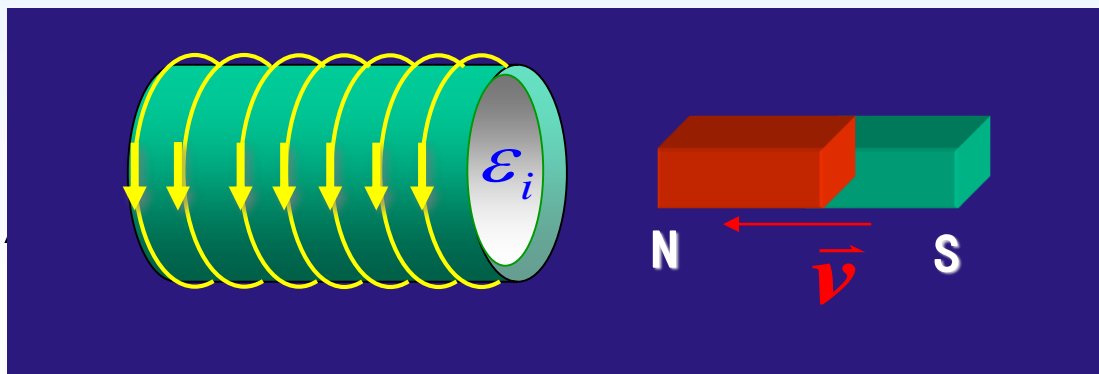
(1) 以磁场穿过的方向作为曲面的法向 \vec{n} ;

(2) 由“右手螺旋定则”确定回路 L 的“绕行正方向”;



(3) 由 Φ “增加减少” 确定 $\frac{d\Phi}{dt}$ 的正负;

(4) 确定 ε_i 的正负 $\begin{cases} \varepsilon_i > 0 & \text{表示 } \varepsilon_i \text{ 与 } L \text{ 绕向相同} \\ \varepsilon_i < 0 & \text{表示 } \varepsilon_i \text{ 与 } L \text{ 绕向相反} \end{cases}$



$$\Phi > 0 \rightarrow \frac{d\Phi}{dt} > 0 \rightarrow \varepsilon_i < 0$$

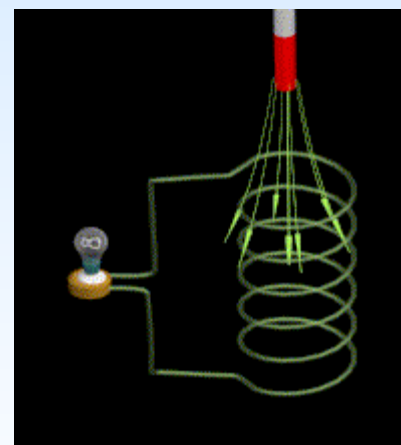
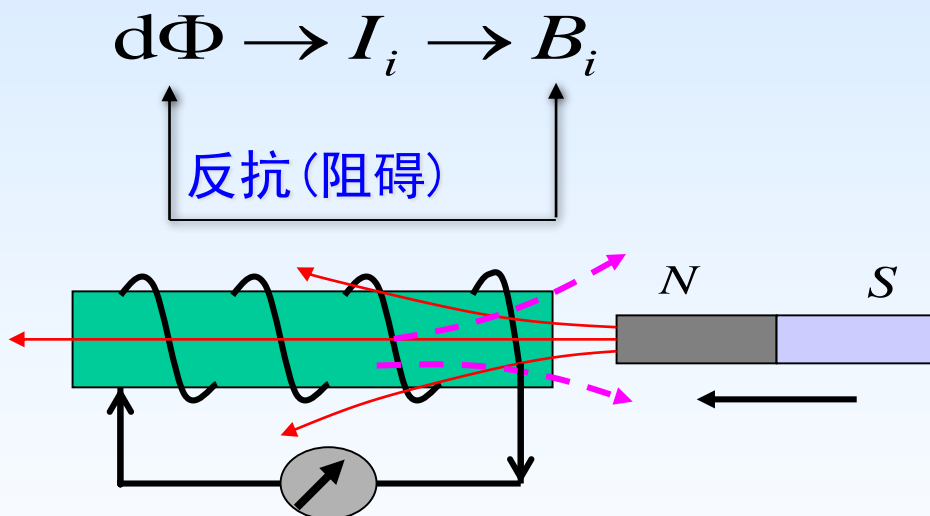
三、楞次定律 (判断感应电流方向)

闭合回路中感应电流的方向，总是使它所激发的磁场来阻止引起感应电流的磁通量的变化。



楞次

(1804~1865)
俄国物理学家



“增反减同，来拒去留”

说明：

- (1) 感应电流所产生的磁通量要阻碍的是磁通量的变化，而不是磁通量本身。
 - (2) 感应电流的效果总是反抗引起感应电流的原因
- 楞次定律是能量守恒和转换的必然结果

例、直导线通交流电 置于磁导率为 μ 的介质中, 已知:

$I = I_0 \sin \omega t$, 其中 I_0 和 ω 是大于零的常数

求: 与其共面的N匝矩形回路中的感应电动势

解: $\psi = N\phi = N \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = N \int_S B ds$

$$= N \int_d^{d+a} \frac{\mu I}{2\pi x} l dx = \frac{N\mu I l}{2\pi} \ln \frac{d+a}{d}$$

$$= \frac{\mu N I_0 l}{2\pi} \sin \omega t \ln \frac{d+a}{d}$$

$$\varepsilon_i = - \frac{d\psi}{dt} = - \frac{\mu_0 \mu_r N I_0 l \omega}{2\pi} \cos \omega t \ln \frac{d+a}{d}$$

