§7.2　动生电动势

Motional Electromotive Force

感生电动势

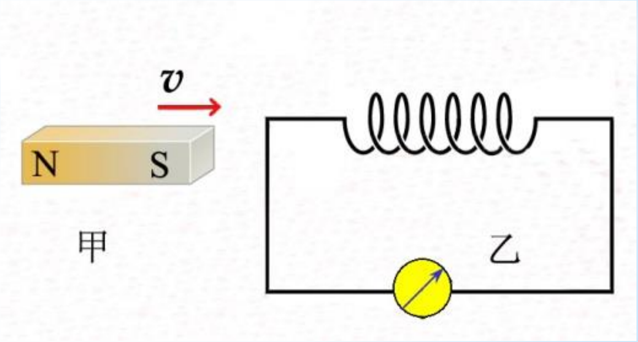
Induced Electromotive Force

根据磁通量变化的不同原因，把感应电动势分为两种情况加以讨论。

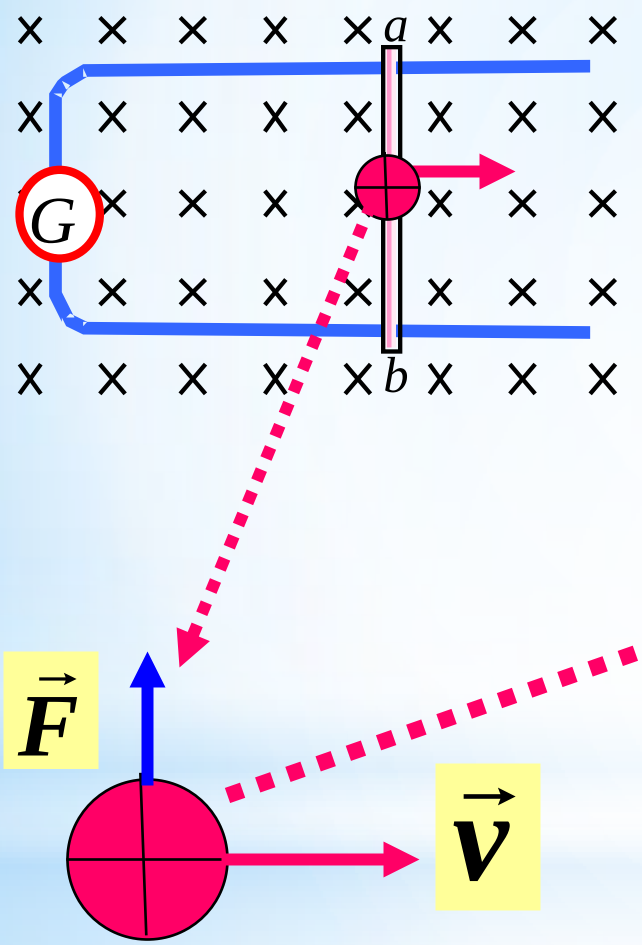
动生电动势：在稳恒磁场中运动着的导体内产生的感应电动势。

感生电动势：导体不动，因磁场的变化产生的感应电动势。

注意：动生电动势和感生电动势只是一个相对的概念 。



In the case of the motion of conductor:



Non-electrostatic Force

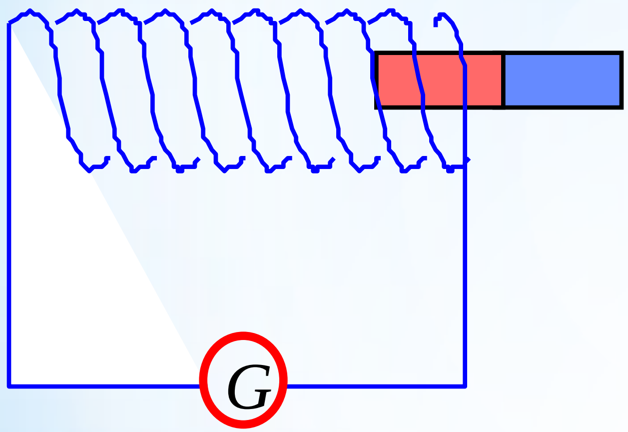
What?

Lorentz force

Motional Electromotive Force

动生电动势

In the case of B varying and conductor at rest:



Non-electrostatic Force

What?

$$\vec{F} = q\vec{E}_n$$

涡旋电场力

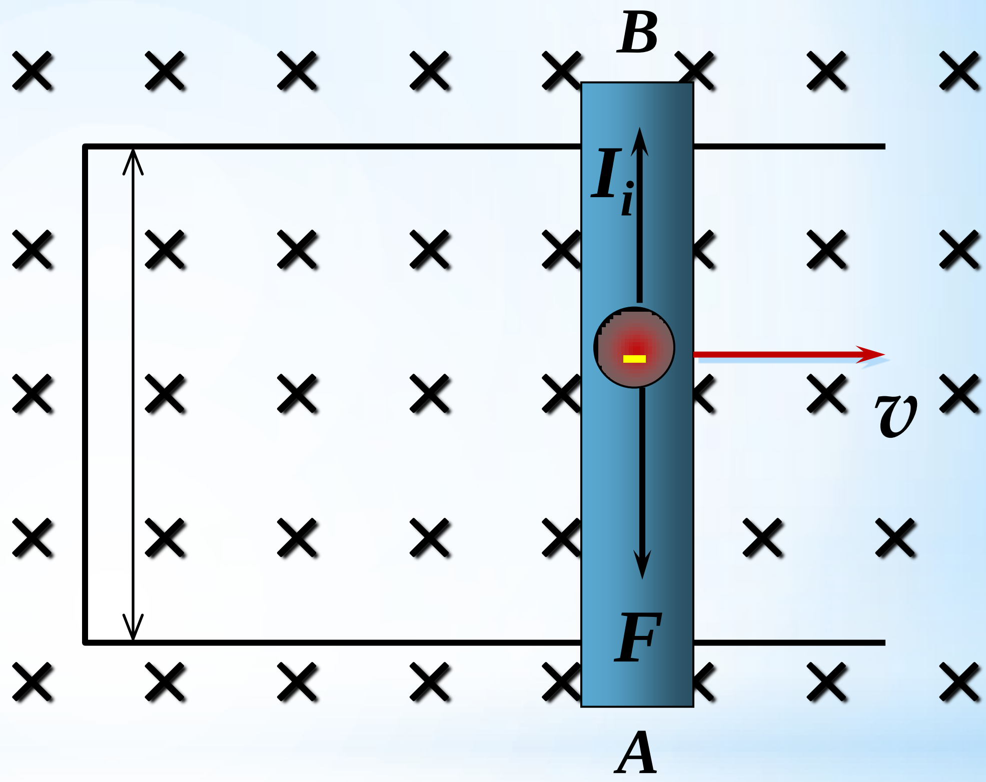
In 1861, Maxwell: induced electric field $\vec{E}_n$.

感生电动势

7-2-1 动生电动势 Motional Electromotive Force

运动导体内电子受到洛仑兹力的的作用：

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



非静电场：

$$\vec{E}_{非} = \frac{\vec{F}}{(-e)} = \vec{v} \times \vec{B}$$

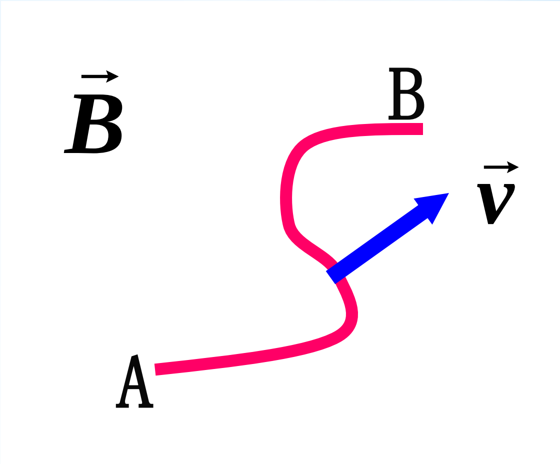
电动势：

$$\varepsilon = \oint \vec{E}_{非} \cdot d\vec{l} = \oint (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_m}{dt}$$

Note:

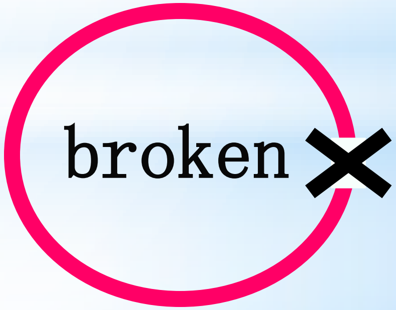
(1)For the conductor AB, the above formula can been rewritten as:

$$\varepsilon = \int_A^B (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l}$$



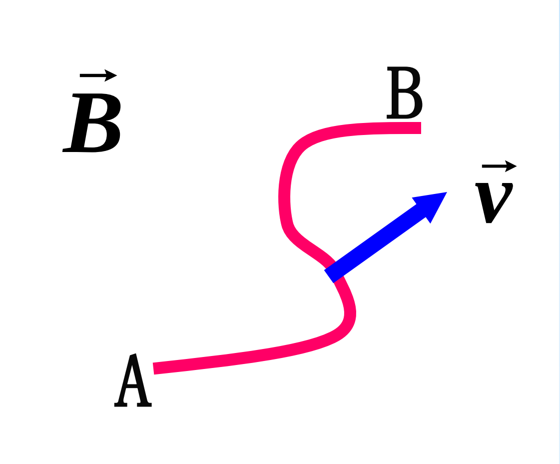
(2)If AB does not form a loop, there is not any induced current:

No



No

(3) 对导体AB，电荷堆积在AB两端点，产生静电场，平衡后，AB相当于电源，正负两极的电势差为：



$$U_B - U_A = \varepsilon = \int_A^B (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l}$$

ε：低电势 $\xrightarrow{\text{指向}}$ 高电势，非静电力做功大小的量度。

动生电动势的计算:

1、利用“动生电动势”的定义式:

$$\varepsilon_{动} = \int_L (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l} = \int_L vBdl \sin\theta_1 \cos\theta_2$$

1）取导体元 $d\vec{\ell}$，确定 $\vec{v}$ 和 $\vec{B}$ 的夹角 θ_1；

2）确定的 $\vec{V} \times \vec{B}$ 与 $d\vec{l}$ 的夹角 θ_2；

3）求导体元上的电动势 $d\varepsilon$

4）积分求 $\varepsilon_{动}$

方向:洛仑兹力确定

2、利用法拉第定律：

$$\boxed{\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}}$$

（1）闭合回路：求 $\Phi(t) \longrightarrow \frac{d\Phi}{dt}$

方向:楞次定律

（2）一段非闭合导线：

可以作辅助线构成闭合回路，但辅助线不能动。

方向：洛仑兹力确定

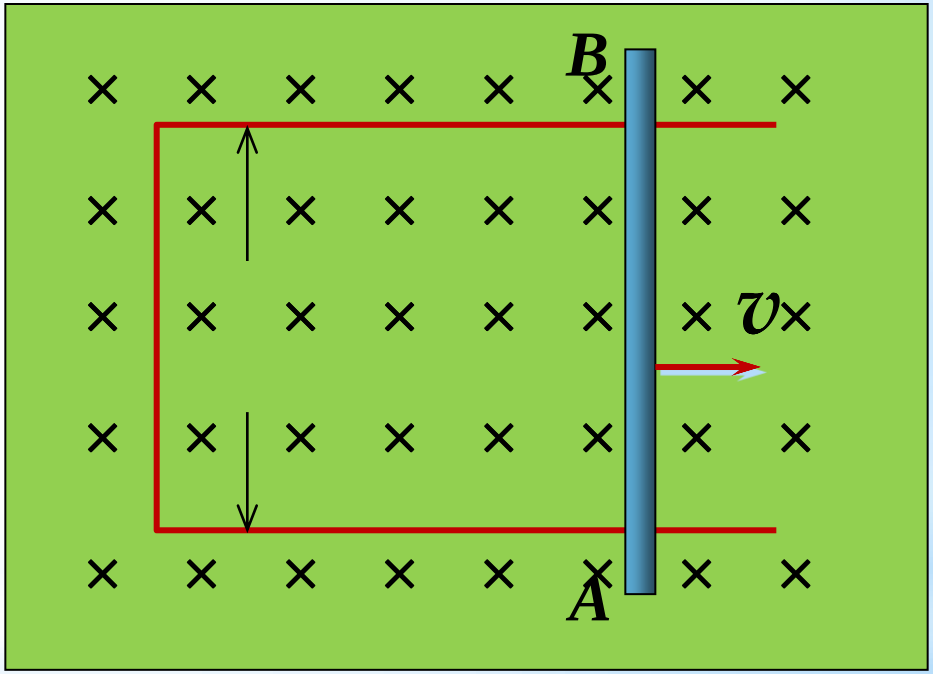
例1. 一矩形导体线框，宽为l，与运动导体棒构成闭合回路。如果导体棒一速度v 作匀速直线运动，求回路内的感应电动势。

解：法一

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

$$= \int_0^l vB\,dl$$

$$= vBl$$

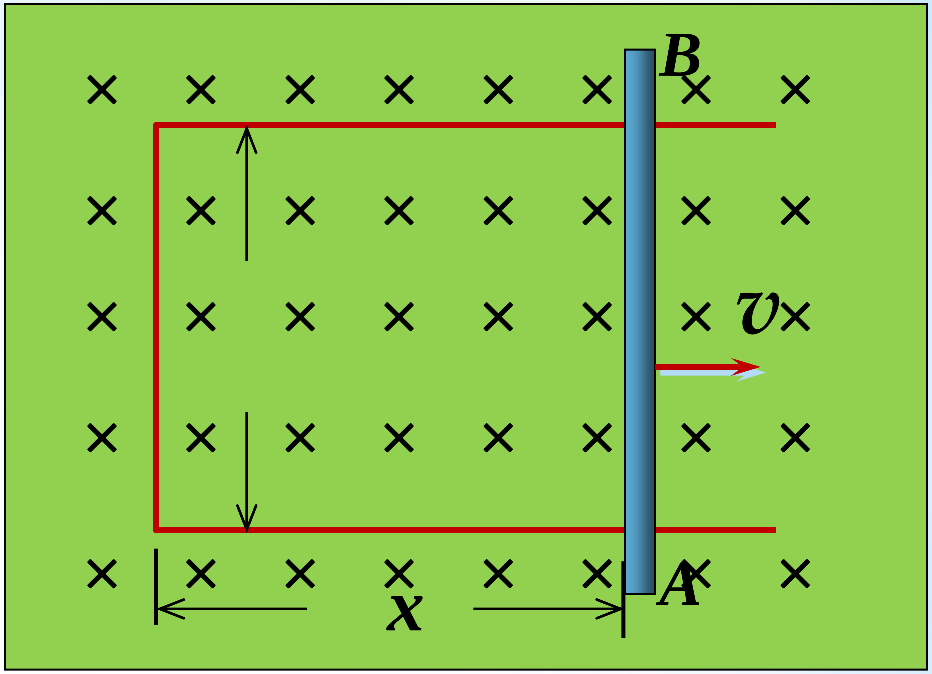


电动势方向 $A \rightarrow B$

法二：

$$\varepsilon_i = -\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}$$

$$\Phi = Blx$$

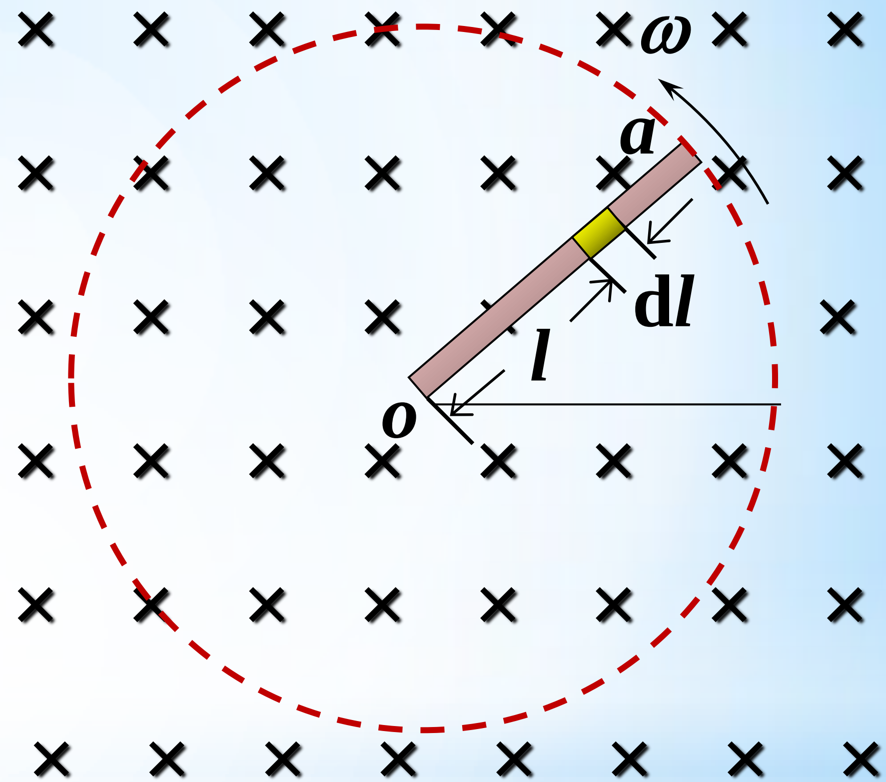


$$\varepsilon_i = \left|\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}\right| = Bl\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$$

$$\varepsilon_i = vBl$$

方向：怎么判断?

例2. 一根长为L的铜棒，在均匀磁场B中以角速度ω在与磁场方向垂直的平面上作匀速转动。求棒的两端之间的感应电动势大小。



解：（1）选：o→a;

（2）oa旋转，其上各点的速度不同，取dl，有：

$$d\varepsilon = (\vec{v}\times\vec{B})\cdot d\vec{l}$$

$$= -vBd\ell$$

$$= -\omega B\ell d\ell$$

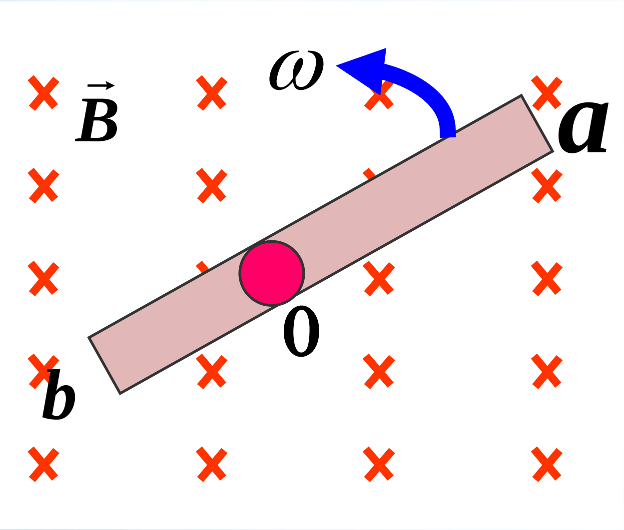
（3）oa上的动生电动势为：

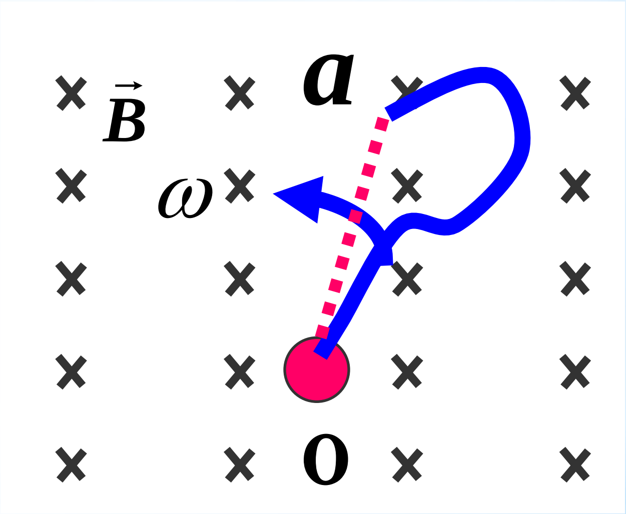
$$\varepsilon = \int_o^a -\omega B\ell d\ell = -\frac{1}{2}B\omega L^2$$

（4）动生电动势方向：$a \rightarrow o$

o端的电势高，a端的电势高低。

（5）一般情况：





$oa = L_1 \quad ob = L_2$

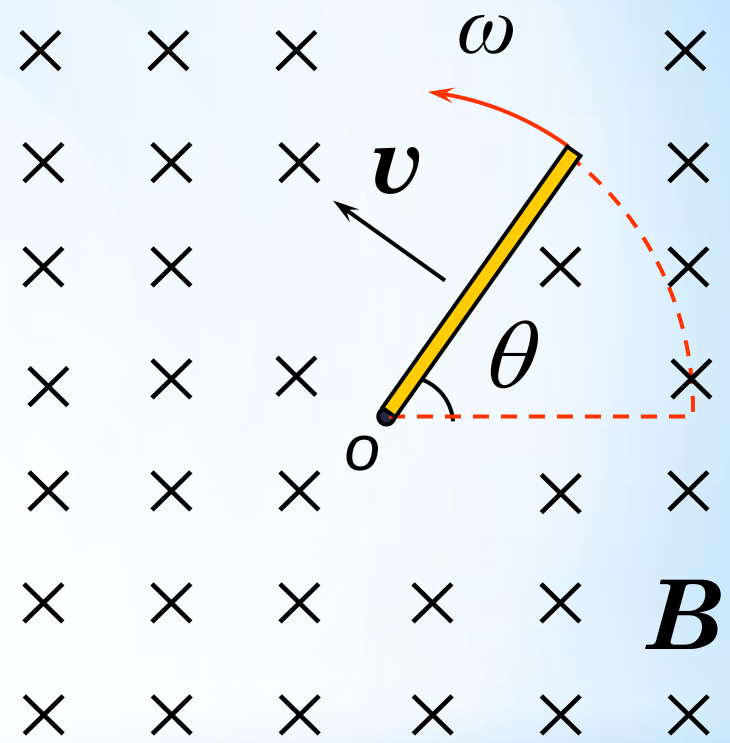
$\varepsilon_{ab} = ?$

$oa = L$

$\varepsilon_{oa} = ?$

解法2：利用法拉第电磁感应定律

作如图扇形回路，



$$\phi_m = \iint \vec{B} \cdot d\vec{S} = BS$$

扇形面积： $S = \frac{1}{2}\theta L^2$

$$\varepsilon_i = -\frac{d\phi_m}{dt} = -B\frac{dS}{dt}$$

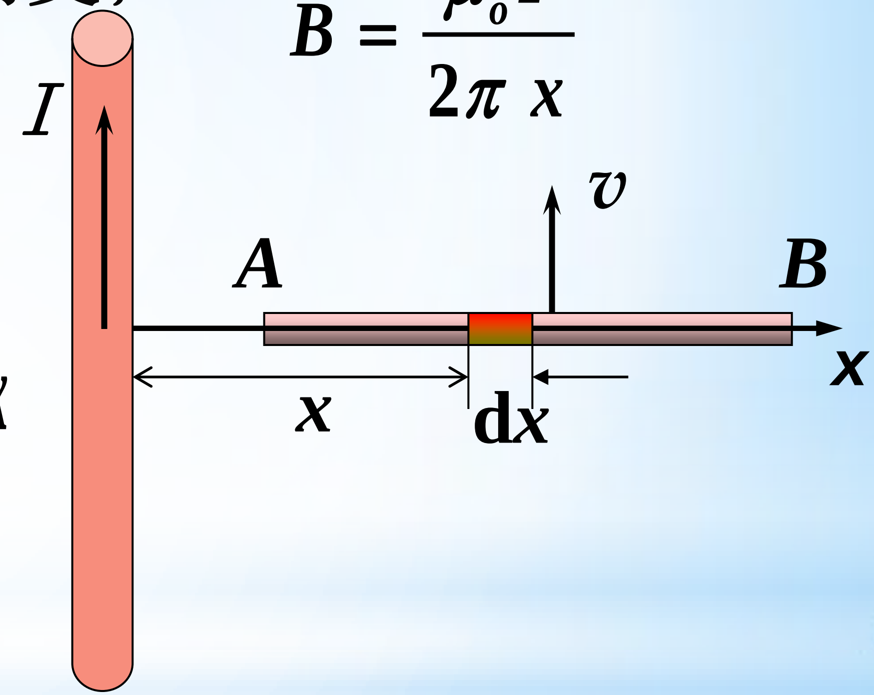
$$= -B\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}\theta L^2\right) = -\frac{1}{2}B\omega L^2$$

方向：指向o

例3. 一长直导线中通电流I，有一长为L的金属棒与导线垂直共面，左端距离长直导线长为a 。当棒以速度v平行与长直导线匀速运动时，求棒产生的动生电动势。

解：(1)磁场非均匀，不随时间变；
导体运动，速度不变。

$$B = \frac{\mu_o I}{2\pi x}$$



(2)选：$A \longrightarrow B$ ；取dx, 有：

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

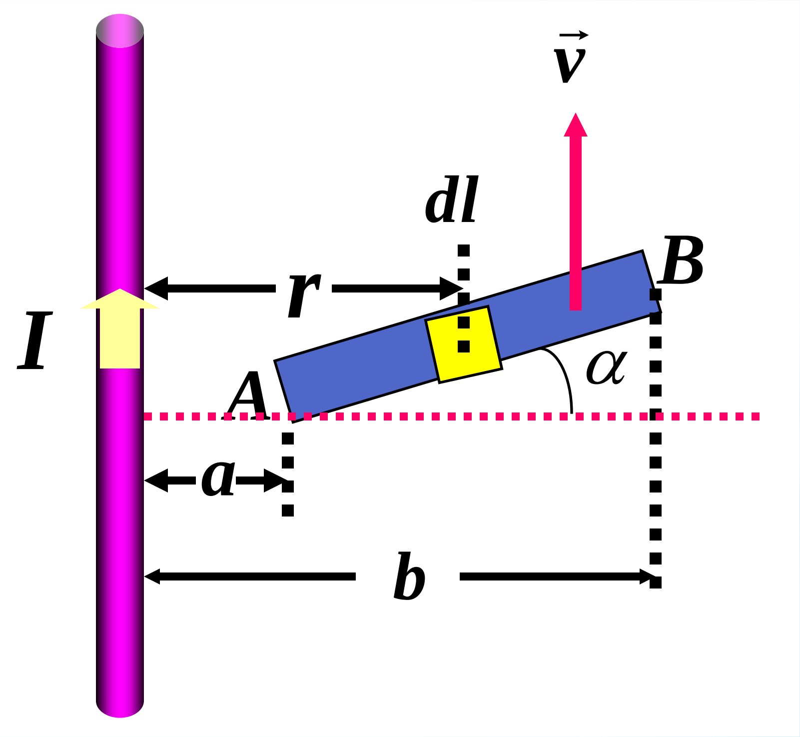
(3)AB上的动生电动势：

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

(4)动生电动势的大小为：$\dfrac{\mu_o I v}{2\pi}\ln\dfrac{a+l}{a}$

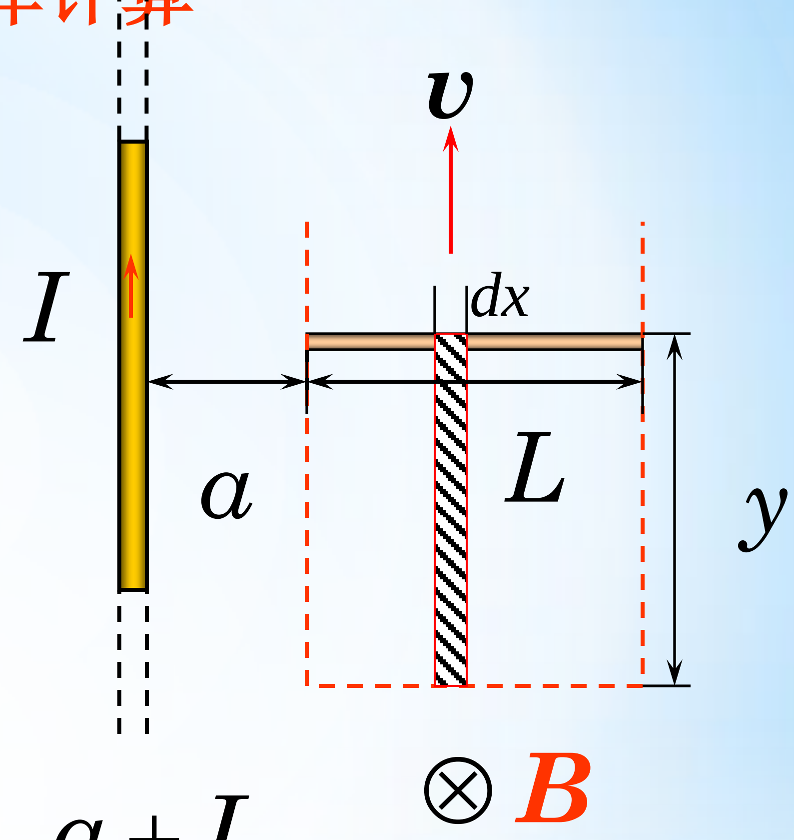
方向：$B \rightarrow A$ ，A点电势高。

(5)一般情况：



解2：利用法拉第电磁感应定律计算

构成如图矩形回路，



$$d\phi_m = BdS\cos\theta$$

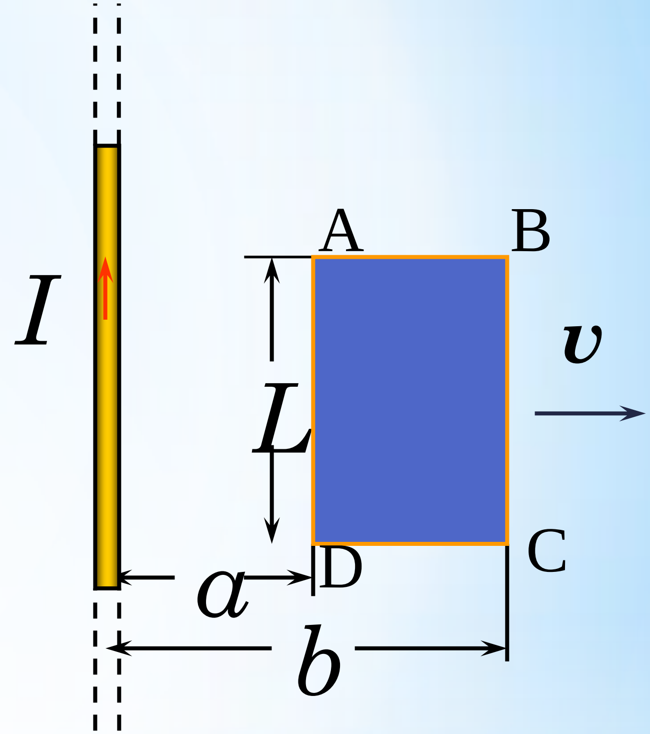
$$= Bydx = \frac{\mu_0 I y}{2\pi x}dx$$

$$\phi_m = \int_a^{a+L} \frac{\mu_0 I y}{2\pi x}dx = \frac{\mu_0 I y}{2\pi}\ln\frac{a+L}{a}$$

$$\varepsilon_i = -\frac{d\phi_m}{dt} = -\frac{\mu_0 I v}{2\pi}\ln\frac{a+L}{a}$$

讨论方向

例4： 在通有电流为 I 的长直载流导线旁，放置一矩形回路ABCD，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。



动生电动势定义：

任意t时刻，**AB，CD边不切割磁力线，**
不产生动生电动势。

BC边： $\varepsilon_{BC}=\int_B^C(\vec{v}\times\vec{B})\cdot d\vec{l}$

$$=\int_B^C v\frac{\mu_0 I}{2\pi(b+vt)}dl\cos\pi=-\frac{\mu_0 IvL}{2\pi(b+vt)}$$

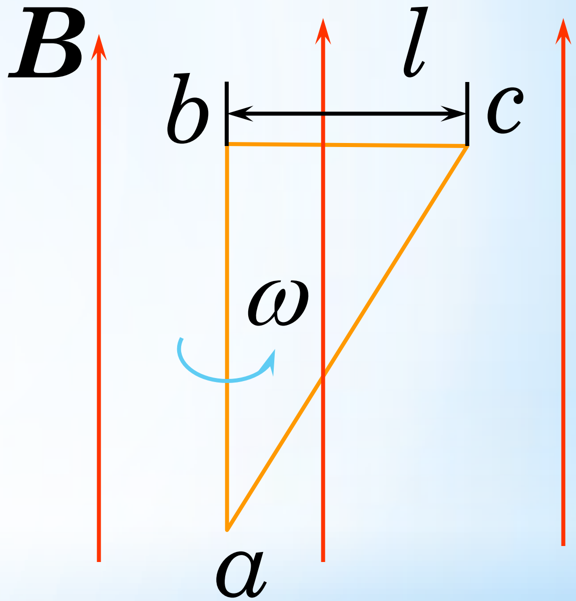
DA边:

$$\varepsilon_{DA}=\int_D^A(\vec{v}\times\vec{B})\cdot d\vec{l}=\int_D^A v\frac{\mu_0 I}{2\pi(a+vt)}dl=\frac{\mu_0 IvL}{2\pi(a+vt)}$$

$$\therefore\varepsilon=\varepsilon_{BC}+\varepsilon_{DA}=\frac{\mu_0 IvL}{2\pi}\left(\frac{1}{(a+vt)}-\frac{1}{(b+vt)}\right)$$

顺时针方向

练习.如图所示，直角三角形金属架 abc 放在均匀磁场中，磁场 $\boldsymbol{B}$ 平行于ab 边，bc 的长度为l．当金属框架绕 ab 边以匀角速度ω转动时，abc 回路中的感应电动势 ε 和a、c 两点间的电势差 U_a-U_c 为：



(A) $\varepsilon=0, U_a-U_c=B\omega l^2/2.$

(B) $\varepsilon=0, U_a-U_c=-B\omega l^2/2.$

(C) $\varepsilon=B\omega l^2,\ \ U_a-U_c=B\omega l^2/2.$

(D) $\varepsilon=B\omega l^2,\ U_a-U_c=-B\omega l^2/2.$

[B]

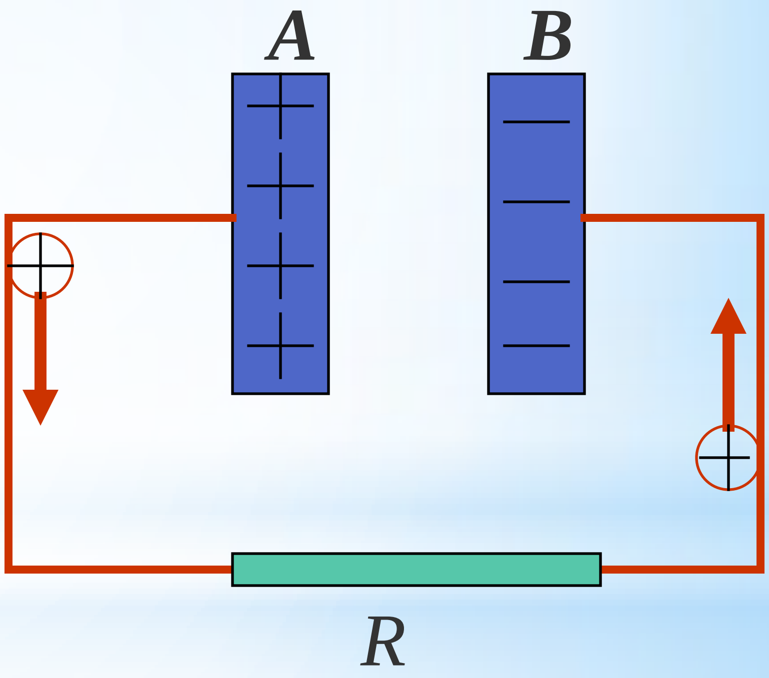
作业：3，5

Nonelectrostatic Force Source & Electromotive Force

非静电力　电源　电动势

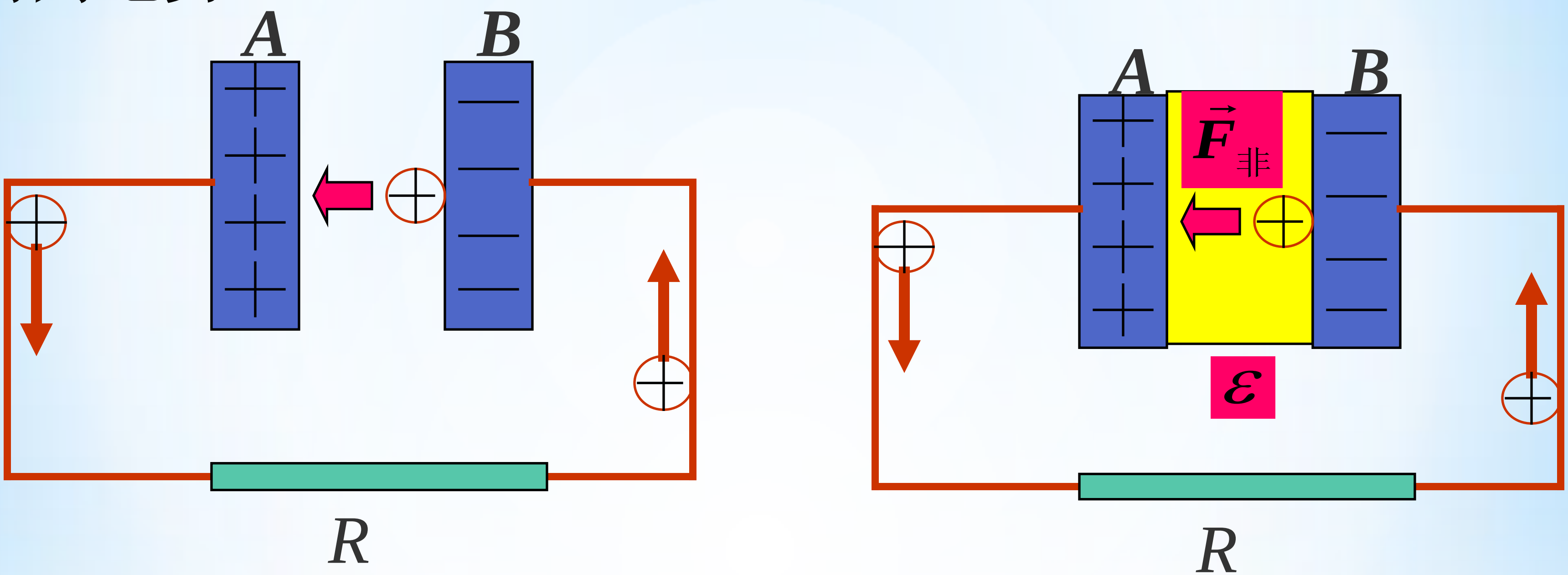
1. Nonelectrostatic Force 非静电力

图中，A，B 为电容器极板，开始时，$V_A > V_B$，在电场力作用下，正电荷从A板经导线到了B板与负电荷中和，极板上的电荷减少，电势差减小，很快达 V=0，瞬间电流停止。



结论：单靠静电力不能维持稳恒电流。

为了维持电流，必须使到B板的正电荷经另一路径回到A极，但静电力是阻止正电荷从低电势运动到高电势。



电源的作用：提供非静电力 $\vec{F}_{非}$

把正电荷从低电势的B极沿电源内部移到高电势的A极，从而维持两极电势差。

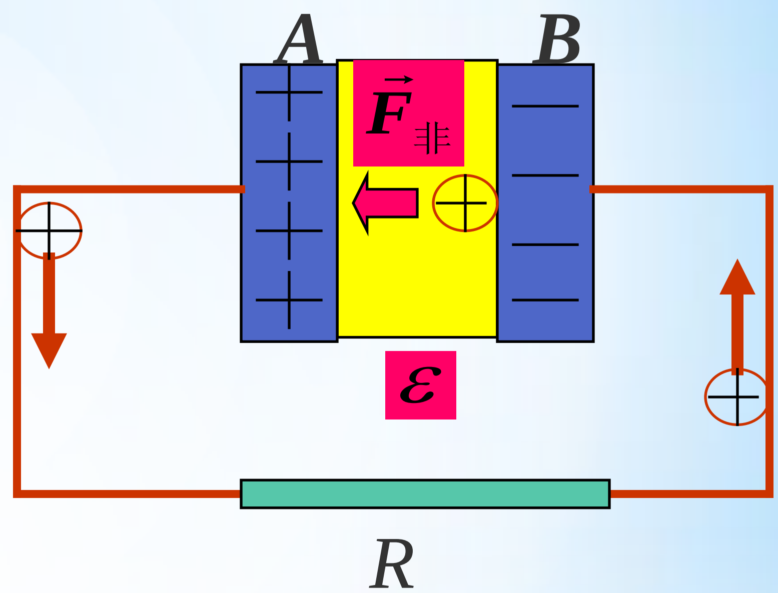
Nonelectrostatic Field: $\vec{E}_{非} = \dfrac{\vec{F}_{非}}{q}$

2. Electromotive Force 电动势

电源的电动势：单位正电荷经电源内部绕行闭合回路一周，非静电力所作的功。

$$\varepsilon = \oint_l \vec{E}_{非} \cdot d\vec{l}$$

$$\varepsilon = \int_{B \to A} \vec{E}_{非} \cdot d\vec{l}$$



电动势的方向：电源内部电势升高的方向

即从负极经电源内部指向正极的方向。