大学物理•电磁学

主讲教师：吴 喆

第 12 章　变化的电磁场

12.1 电磁感应定律

12.2 动生电动势与感生电动势(1)

12.3 自感与互感

12.4 磁场能量

12.5 位移电流

12.6 麦克斯韦方程组

12.7 电磁波

12.2 动生电动势与感生电动势

本节的研究内容

- 动生电动势的产生机理与计算
- 感生电动势的产生机理与计算
- 涡旋电场

引起磁通量变化的原因
- 磁场不变导体运动 ——动生电动势
- 导体不动磁场变化 ——感生电动势

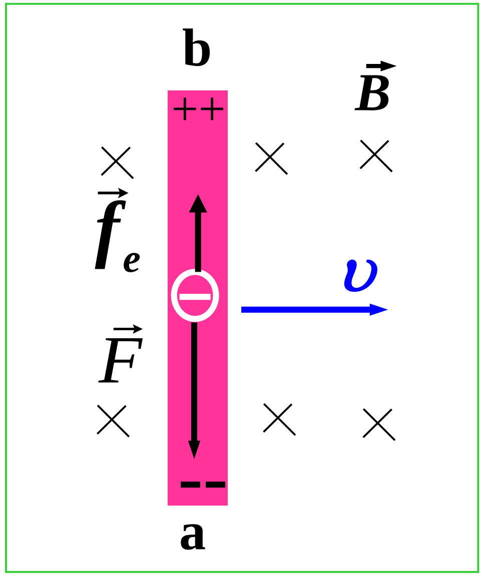
电动势 $\varepsilon = \int_{-}^{+} \vec{E}_k \cdot \mathrm{d}\vec{l}$ 式中 $\vec{E}_k = \dfrac{\vec{F}_k}{q}$ 称为非静电场强，是单位正电荷受到的非静电力

思考

为什么磁通量变化就会产生感应电动势？产生感应电动势的非静电力是什么？

12.2.1 动生电动势

(1)动生电动势的产生机理



如图所示，导体ab在磁场中运动，导体中的电子受到洛伦兹力 F 的作用

$$\vec{F} = q\vec{\upsilon}\times\vec{B}$$

在a端出现负电荷，b端出现正电荷，同时电子又受到电场力 f_e 的作用

结果： 当电场力与洛沦兹力相等时，导体两端有一个稳定的电势差，导体 ab 相当于一个电源。

显然，**产生动生电动势的非静电力-----洛沦兹力**

非静电场强： $\vec{E}_k = \dfrac{\vec{F}}{q} = \vec{\upsilon}\times\vec{B}$

导体ab上的**动生电动势**：

$$\boxed{\varepsilon_i = \int_a^b \vec{E}_k\cdot \mathrm{d}\vec{l} = \int_a^b (\vec{\upsilon}\times\vec{B})\cdot \mathrm{d}\vec{l}}$$

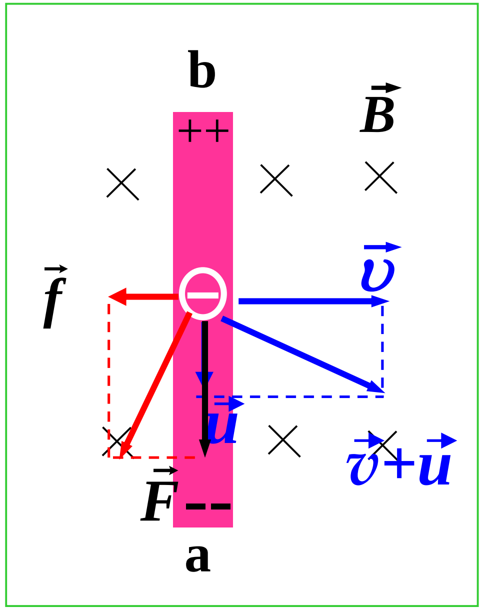
说明： • 若$\varepsilon_i>0$，则ε_i沿$d\vec{l}$方向，即$a\to b$的方向；若$\varepsilon_i<0$，则ε_i与$d\vec{l}$的方向相反，即$b\to a$的方向

• 动生电动势只存在于运动导体内，无论导体是否构成闭合回路，只要运动导体切割磁场线

(2)动生电动势产生过程中的能量转换

导体内部的电子同时参与两种运动 $\begin{cases}\text{随导体以速度}\upsilon\text{的运动} \\ \text{沿导体的漂移运动}u\end{cases}$

电子受到的洛伦兹力： $(\vec{F}+\vec{f})=q(\vec{\upsilon}+\vec{u})\times\vec{B}\perp(\vec{\upsilon}+\vec{u})$

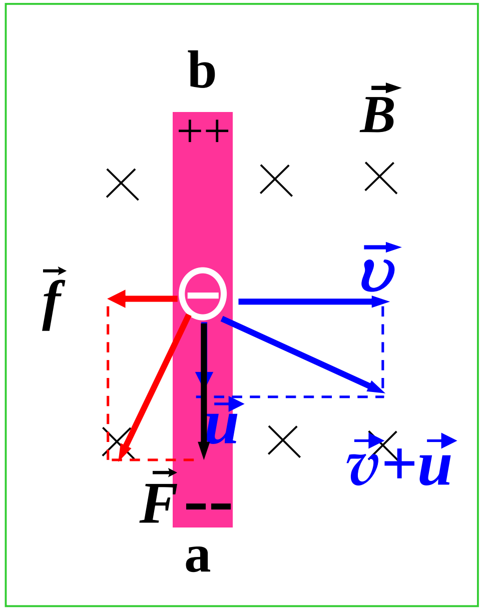


显然，洛仑兹力的合力不做功，但每个分力要做功，单位时间内各分力的功：

$$A_F=(q\vec{\upsilon}\times\vec{B})\cdot\vec{u}>0,\qquad A_f=(q\vec{u}\times\vec{B})\cdot\vec{\upsilon}<0$$

即分力$\vec{F}$作为产生动生电动势的非静电力做正功，将机械能转化为电能；

而分力$\vec{f}$ (它在宏观上表现为安培力)做负功，即外力克服安培力做正功，提供机械能



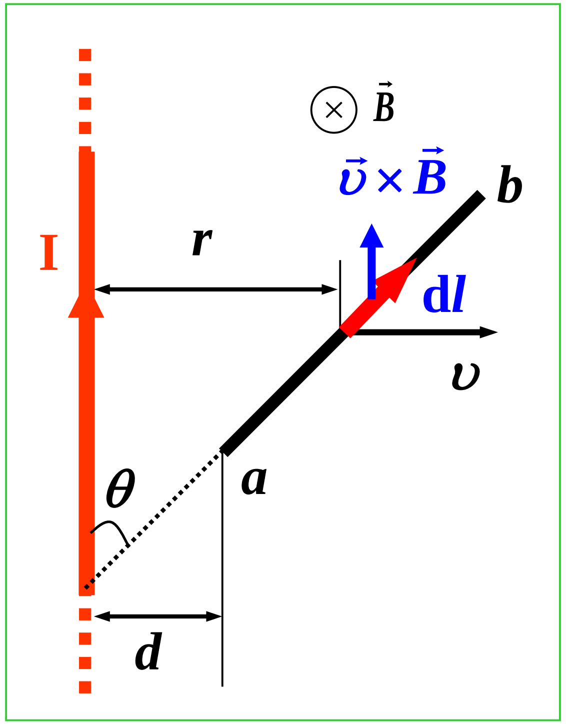
(3) 动生电动势的计算

$$\varepsilon_i=\int_a^b \vec{E}_k\cdot \mathrm{d}\vec{l}=\int_a^b(\vec{\upsilon}\times\vec{B})\cdot\mathrm{d}\vec{l}$$

- 导线上的微元 $\mathrm{d}\vec{l}$： $\mathrm{d}\varepsilon_i=(\vec{\upsilon}\times\vec{B})\cdot\mathrm{d}\vec{l}$
- 一段导线： $\varepsilon_i=\int_l \mathrm{d}\varepsilon_i$
- 闭合导体回路： $\varepsilon_i=\oint_l \mathrm{d}\varepsilon_i$ 或根据法拉第电磁感应定律求： $\varepsilon_i=-\dfrac{\mathrm{d}\varphi_m}{\mathrm{d}t}$

若导体不闭合，可通过添加不动的导线构成闭合回路

例1：长直电流I与直导线$ab(ab=l)$共面，ab以速度υ沿垂直于长直电流I的方向运动，求图示位置时导线ab中的动生电动势。



解：

$$d\varepsilon_i=(\vec{\upsilon}\times\vec{B})\cdot d\vec{l}=\upsilon B dl\cos\theta$$

$$=\upsilon\frac{\mu_0 I}{2\pi r}dr\cot\theta\ ,\ (dl\sin\theta=dr)$$

$$\varepsilon_{ab}=\int_{ab}d\varepsilon_i=\frac{\mu_0 I\upsilon}{2\pi}\cot\theta\int_d^{d+l\sin\theta}\frac{dr}{r}$$

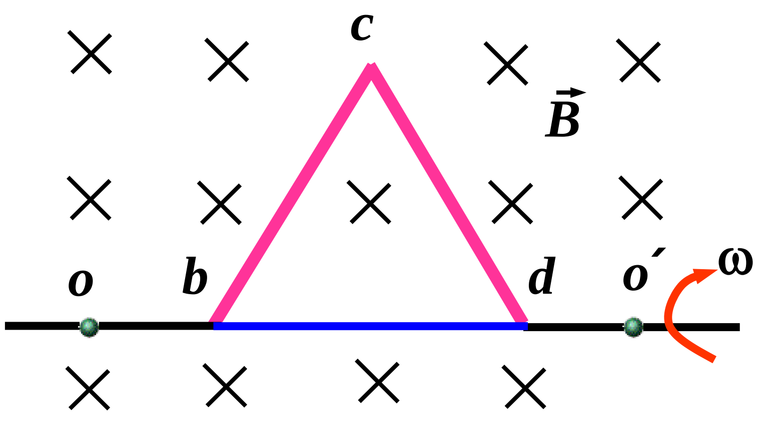
$$=\frac{\mu_0 I\upsilon}{2\pi}\cot\theta\cdot\ln\frac{d+l\sin\theta}{d}$$

由于$\varepsilon_{ab}>0$，所以ε_{ab}的方向$a\rightarrow b$，b点电势高

例2：导线 $bcd(\angle bcd=60^{\circ}, bc=cd=a)$，在匀强磁场$B$中绕 oo' 轴转动，转速每分种n转，$t=0$ 时如图所示，求导线 bcd 中的ε_i。

解: 用导线连接 bd 组成一个三角形回路 bcd

由于bd 段不动，所以整个回路中的电动势就是导线bcd中电动势的。



$$\varphi_m=BS\cos(\omega t+\theta_0)$$

$$=B\frac{1}{2}\cdot\frac{\sqrt{3}}{2}a^2\cos\omega t,\qquad \omega=\frac{n\cdot 2\pi}{60}=\frac{\pi n}{30}\text{rad/s}$$

$$\varepsilon_i=-\frac{\mathrm{d}\varphi_m}{\mathrm{d}t}=\frac{\sqrt{3}}{120}\pi n a^2 B\sin(\frac{\pi n}{30}t)$$


物理学院
谢谢大家！