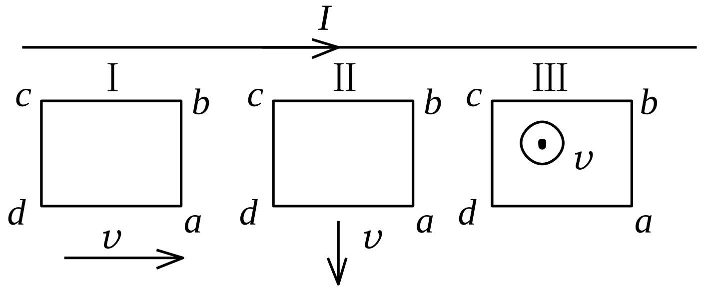
第6章电磁场理论基础

一、选择题

1．在无限长的载流直导线附近放置一矩形闭合线圈，开始时线圈与导线在同一平面内，且线圈中两条边与导线平行，当线圈以相同的速率作如图所示的三种不同方向的平动时，线圈中的感应电流（　　）

A．以情况Ⅰ中为最大　　B．以情况Ⅱ中为最大

C．以情况Ⅲ中为最大　D．在情况Ⅰ和Ⅱ中相同



2．尺寸相同的铁环与铜环所包围的面积中,通以相同变化的磁通量，环中（ ）

A．感应电动势不同

B．感应电动势相同，感应电流相同

C．感应电动势不同，感应电流相同

D．感应电动势相同，感应电流不同

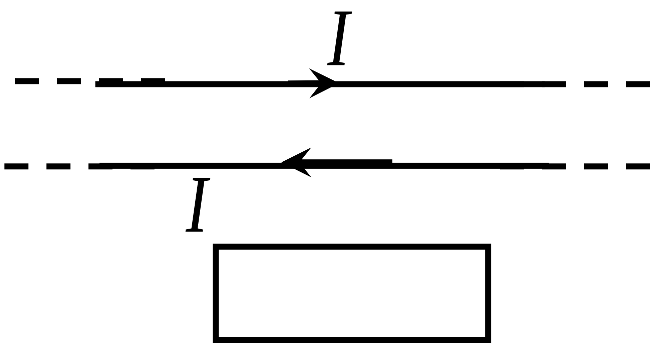
3．两根无限长平行直导线载有大小相等方向相反的电流*I*，*I* 以 d*I*/d*t* 的变化率增长，一矩形线圈位于导线平面内(如图)，则（）

A．线圈中无感应电流；

B．线圈中感应电流为顺时针方向；

C．线圈中感应电流为逆时针方向；

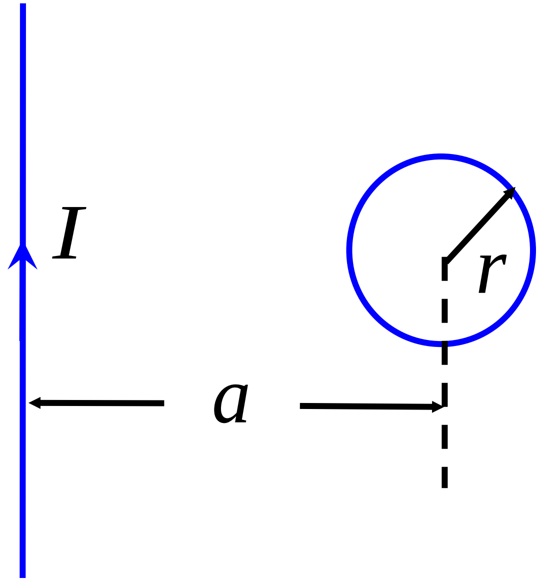
D．线圈中感应电流方向不确定。



4．在一通有电流I的无限长直导线所在平面内,有一半经为r、电阻为R的导线环,环中心距直导线为a,如图所示,且$a>>r$。当直导线的电流被切断后,沿着导线环流过的电量约为（）

A. $\dfrac{\mu_0 I r^2}{2\pi R}\left(\dfrac{1}{a}-\dfrac{1}{a+r}\right)$ B. $\dfrac{\mu_0 I r}{2\pi R}\ln\dfrac{a+r}{a}$

C. $\dfrac{\mu_0 I r^2}{2aR}$ D. $\dfrac{\mu_0 I a^2}{2rR}$



$$I=\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}=\frac{1}{R}\left|\frac{\mathrm{d}\varphi_m}{\mathrm{d}t}\right| \qquad q=\frac{1}{R}\Delta\varphi_m=\frac{1}{R}BS$$

5．对位移电流，有下述四种说法,请指出哪一种说法是正确的（）

A. 位移电流是由变化电场产生的

B. 位移电流是由变化磁场产生的

C. 位移电流的热效应服从焦耳—楞次定律

D. 位移电流的磁效应不服从安培环路定理

6．感应电场中电磁感应定律可写成 $\oint_C \vec{E}_K \cdot \mathrm{d}\vec{r} = -\dfrac{\mathrm{d}\Phi_m}{\mathrm{d}t}$,式中 E_K 为感应电场的电场强度，此式表明（）

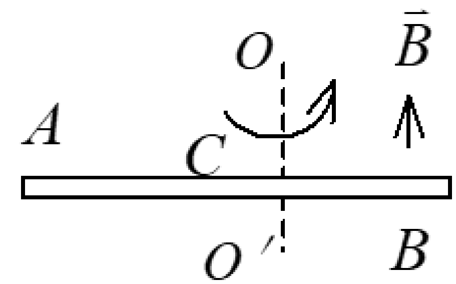
A. 闭合曲线 C 上 E_K 处处相等

B. 感应电场是保守力场

C. 感应电场的电场线不是闭合曲线

D. 感应电场中不能像静电场那样引入电势的概念

7．如图所示，导体棒AB在均匀磁场B中　绕通过C点的垂直于棒长且沿磁场方向的轴OO 转动（角速度与同方向），BC的长度为棒长的1/3，则



A．A点比B点电势高

B．A点比B点电势高

C．A点比B点电势低　D．有稳恒电流从A点流向B点

8．用线圈的自感系数*L*来表示载流线圈的磁场能量公式$W_m=\frac{1}{2}LI^2$

A．只适用于无限长密绕的螺线管

B．只适用于单匝圆线圈

C．只适用于一个匝数很多，且密绕的螺线管

D．适用于自感系数为*L*任意线圈

9. 某广播电台的天线可视为偶极辐射，原发射频率为v，若将发射频率提高到$4v$，其辐射强度为原来的（）倍。

A. 16　　B. 8　　C. 32　　D. 256

10. 在某广播电台附近电场强度的最大值为E_m，则该处磁感应强度最大值为（）

A. E_m/C^2　　B. C^2E_m　　C. E_m/C　　D. CE_m

11. 一功率为P的无线台，A点距电台为r_A，B点距电台为r_B，且$r_B=2r_A$，若电台沿各方向作等同辐射，则场强幅值$E_A:E_B$为（ ）

A：2：1　B：4：1　C：8：1　D：16：1

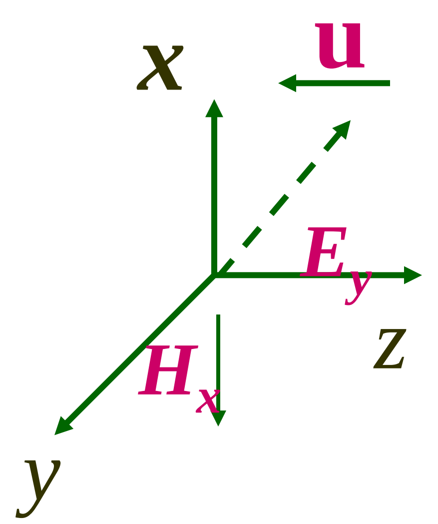
12. 设在真空中沿着z轴负方向传播的平面电磁波，其磁场强度的波表达式为$H_x= -H_0\cos\omega(t+z/c)$，则电场强度的表达式为（ ）

A: $E_y = \sqrt{\mu_0/\varepsilon_0}H_0\cos\omega(t+z/c)$

B: $E_x = \sqrt{\mu_0/\varepsilon_0}H_0\cos\omega(t+z/c)$

C: $E_y = -\sqrt{\mu_0/\varepsilon_0}H_0\cos\omega(t+z/c)$

D: $E_x = -\sqrt{\mu_0/\varepsilon_0}H_0\cos\omega(t+z/c)$



13. 在均匀媒质中，沿 $\vec{r}$ 方向传播的平面电磁波的方程为 $E = E_0 \cos\omega(t - r/u)$, $\quad H = H_0 \cos\omega(t - r/u)$

则其振幅 E_0、H_0 与平均能流密度 $\bar{S}$ 的关系为

A. $E_0 = H_0;\ \bar{S} = E_0 H_0$

C. $\sqrt{\varepsilon} E_0 = \sqrt{\mu} H_0;\ \bar{S} = E_0 H_0$

B. $\sqrt{\varepsilon} E_0 = \sqrt{\mu} H_0;\ \bar{S} = \frac{1}{2} E_0 H_0$

D. $\sqrt{\varepsilon_0} E_0 = \sqrt{\mu_0} H_0;\ \bar{S} = \frac{1}{2} E_0 H_0$

14. 关于电磁波和机械波的性质比较，下列说法不正确的是（　）

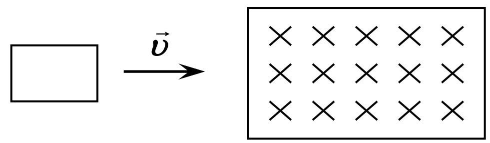
A. 都可以在真空中传播；

B. 都可以产生衍射、干涉现象；

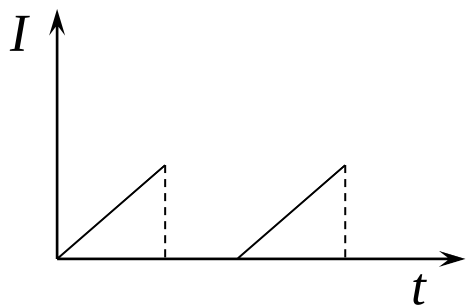
C. 都是能量由近及远地向外传播；

D. 都能产生反射、折射现象。

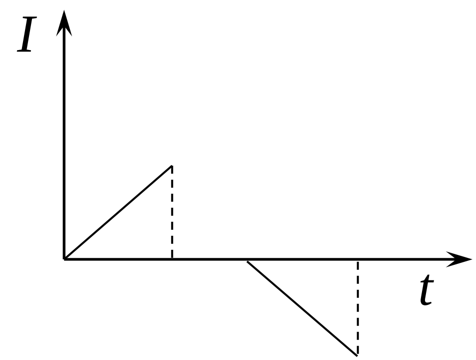
15. 如图所示，一矩形线圈以匀速自无场区平移进入均匀磁场区，又平移穿出，在A、B、C、D的各*I*—*t*曲线中哪一个符合图中电流随时间的变化关系（逆时针方向定为电流的正方向，且不计线圈的自感）（　）



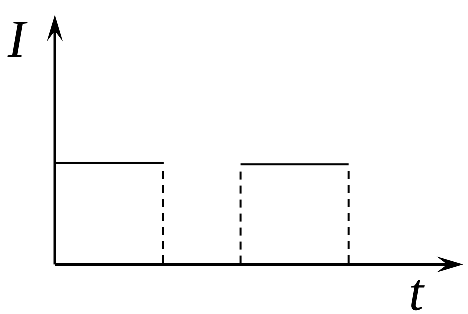
A.



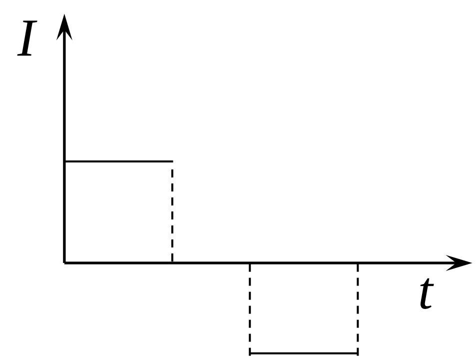
B.



C.

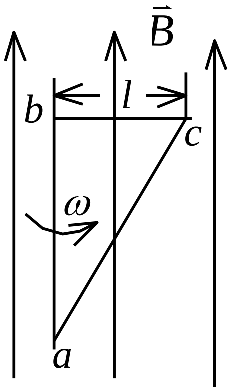


D.



二、填空题

1．如图所示，直角三角形金属框架*abc*放在均匀磁场中，磁场 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=__0____，*a*、*c*两点间的电势差$U_a - U_c$=____$-\frac{1}{2}B\omega l^2$____。 C 点电势高



解：任意时刻通过三角形磁通量为零，所以回路的感应电动势为零。

$$\varepsilon_{ab} + \varepsilon_{bc} + \varepsilon_{ca} = 0$$

$$\varepsilon_{ca} = -\varepsilon_{bc}$$

$$\varepsilon_{bc} = \int_0^l (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l} = \int_0^l \omega l B dl = \frac{1}{2} B\omega l^2$$

2．动生电动势的定义式为ε = $\int_a^b (\vec{\upsilon}\times\vec{B})\cdot d\vec{l}$，与动生电动势相联系的非静电力为 洛仑兹力 ，其非静电性场强为 $\vec{E}_K$= $\vec{\upsilon}\times\vec{B}$ 。

3．位移电流I_d= $\frac{\partial \Phi_e}{\partial t}$,它与传导电流及运流电流均能产生 磁 效应，但它不能产生 焦耳热 效应。

4．涡旋电场是由 变化的磁场 所激发的，其环流的数学表达式为 $\oint_L \vec{E}_k\cdot d\vec{l} = \int_S -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\cdot d\vec{S}$ ，涡旋电场强度 $\vec{E}_{涡}$与 $-\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ 成 右手螺旋 关系。

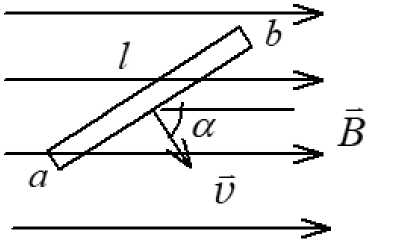
5．取自感系数的定义式为$L = \frac{\Phi}{I}$ ，当线圈的几何形状不变，周围无铁磁性物质时，若线圈中的电流强度变小，则线圈的自感系数L 不变 。

6. 已知在一个面积为S的平面闭合线圈的范围内，有一随时间变化的均匀磁场B（t），则此闭合线圈内的感应电动势为 $\varepsilon_i=-\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}=-\frac{\mathrm{d}\vec{B}}{\mathrm{d}t}\cdot\vec{S}$ 。

7. 用导线制成一半径为r =10cm的闭合线圈，其电阻R=10欧，均匀磁场B垂直于线圈平面，欲使电路中有一稳恒的感应电流i=0.01A，B的变化率应为dB/dt= 10/π

$$\Phi=BS \qquad \frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}=S\frac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}t} \qquad i=\frac{1}{R}\frac{\mathrm{d}\varphi_m}{\mathrm{d}t}=\frac{S}{R}\frac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}t}$$

8．如图所如图，长度为l的直导线ab在均匀磁场中以速度移动，直导线ab中的电动势为



ε 0 。

9. 在自感系数为L=0.05mH的线圈中，流过的电流I =0.8A，在切断电路后经t=0.8μs的时间，电流强度近似为零，回路中的平均自感电动势的大小ε_L=__50V__。 $\varepsilon = -L\dfrac{dI}{dt}$

10. 一列平面电磁波，在真空中传播，则它是__横__波，波速c＝__$1/\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}$__，空间在一点的电场强度$\vec{E}$和磁场强度$\vec{H}$的方向__垂直__；相位__相同__。

11. 一广播电台的平均辐射功率20kw,假定辐射的能量均匀分布在以电台为球心的半球面上，那么距离电台为10km处的电磁波的平均辐射强度为__3.18×10^{-5} W__$\cdot$m^{-2} 注：应为$=P/2\pi r^2=10^{-4}/\pi$

12. 一列电磁波的波长为0.03m，电场强度幅值30V m^{-1}，则该电磁波的频率为 10^{10} Hz，其磁感应强度*B*的幅值为 10^{-7} T，平均辐射强度为 1.19 W•m^{-2}。注：$\nu = c/\lambda$　$B_0 = E_0/c$　$\overline{S} = \frac{1}{2}E_0H_0$

13. 一列电磁波在真空中沿z轴传播，设某点的电场强度为$E_x = 900\cos(2\pi\nu t + \pi/6)\mathrm{V\cdot m^{-1}}$,则该点的磁场强度的表达式为 $H_y = 900\sqrt{\varepsilon_0/\mu_0}\cos(2\pi\nu t + \frac{\pi}{6})\mathrm{A\cdot m^{-1}}$

14. 有一氦氖激光器发出的功率为10mW的激光，设发出的激光为圆柱形光束，圆柱横截面的直径为2mm，则激光束的坡印亭矢量的平均值为 3.18×10^3。

注：$\overline{S} = \frac{\overline{P}}{\pi r^2} = 3.18\times10^3\mathrm{(SI)}$

15. 在电磁波传播的空间中，任一点的$\vec{E}$和$\vec{H}$的方向及波传播方向之间的关系是 $\vec{u} \rightarrow \vec{E} \times \vec{H}$ 。

16. 坡印廷矢量S的物理意义是 单位时间通过垂直传播方向单位面积的辐射能 .

定义式为 $\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$ 。

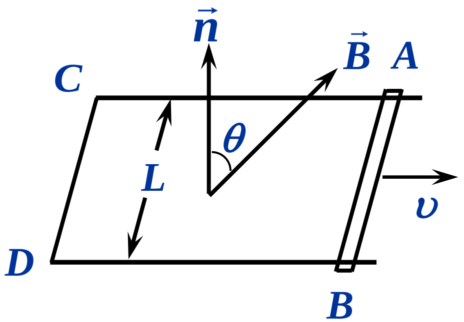
17. 一电磁波在空气中通过某点时，该点某一时刻的电场强度E=100V/m，则同时刻的磁场强度H= 0.265(SI) ;电磁能密度w= 8.85×10^{-8}(SI) ,能流密度S= 26.5(SI) 。

$$w = \frac{1}{2}BH + \frac{1}{2}DE = \frac{1}{2}\mu_0 H^2 + \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2$$

$$S = EH$$

三、计算题

1．如图所示，匀强磁场*B*与矩形导线回路的法线 $\vec{n}$ 成 θ=60°角，$B = kt$（*k*为大于零的常数）。长为*L*的导体杆*AB*以匀速υ 向右平动，求回路中*t*时刻的感应电动势的大小和方向（设$t = 0$时，$x = 0$）。



解：$$\Phi_m = \vec{B}\cdot\vec{S}$$

$$= SB\cos 60^\circ$$

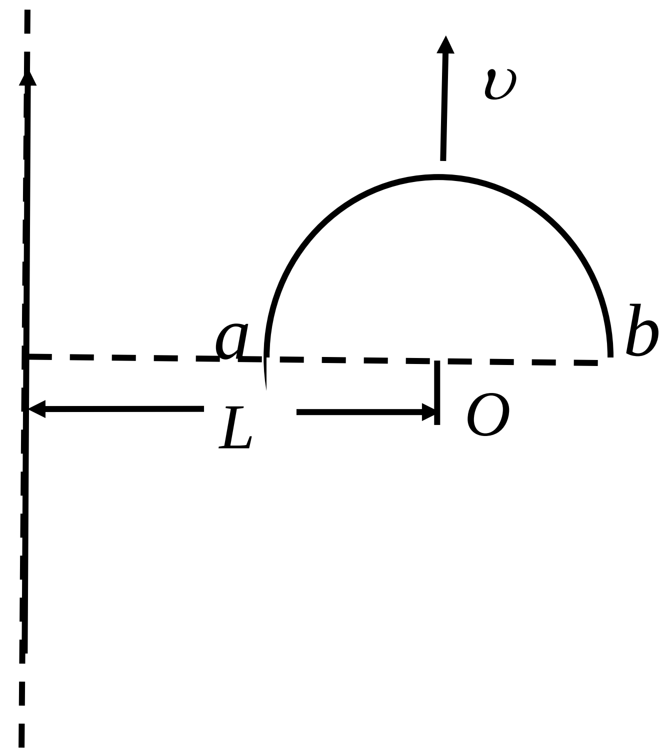
$$= \frac{1}{2}kt\cdot L\upsilon t = \frac{1}{2}kL\upsilon t^2$$

$$\varepsilon_i = \left|-\frac{\mathrm{d}\Phi_m}{\mathrm{d}t}\right| = kL\upsilon t$$ 方向$A\rightarrow B$，顺时针。

2. 一长直导线中通有电流I，在其旁有一半径为R半金属圆环ab，二者共面，且直径ab与直电流垂直，环心与直电流相距L,当半圆环以速度υ平行直导线运动时，试求

(1)半圆环两端电势差U_a-U_b;

(2)那端电势高？



$$\varepsilon_{\widehat{ab}} + \varepsilon_{\overline{ba}} = 0$$

$$\varepsilon_{\widehat{ab}} = \varepsilon_{\overline{ab}} = \int_{L-R}^{L+R} B\upsilon \mathrm{d}x$$

$$\varepsilon_{\widehat{ab}} = \frac{\mu_0 I\upsilon}{2\pi} \ln\frac{L+R}{L-R}$$

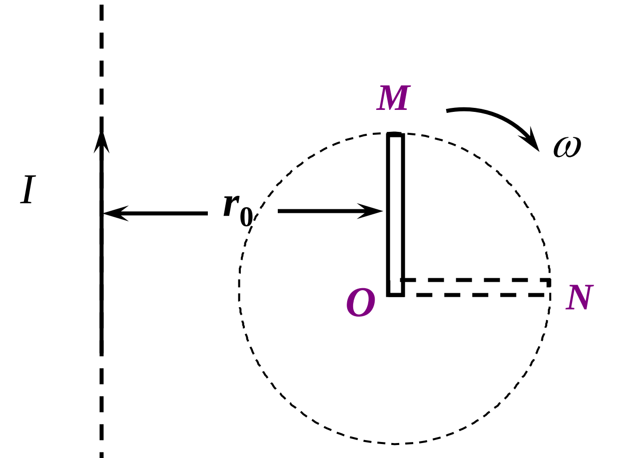
a 端高。

3．一无限长直导线上通过稳恒电流I，电流方向向上，导线旁有一长度为L的金属棒，绕其一端O在一平面内顺时针匀速转动，转动角速度为w，O点至导线的垂直距离为r_0，设长直导线在金属棒旋转的平面内，试求：

（1）当金属棒转至与长直导线平行、且O端向下（即图中OM位置）时，棒内感应电动势的大小和方向；

（2）当金属棒转至与长直导线垂直、且O端靠近导线（即图中ON位置）时，棒内的感应电动势的大小和方向。

解：1) $\mathrm{d}\varepsilon = (\vec{\upsilon} \times \vec{B}) \cdot \mathrm{d}\vec{l}$



$$\varepsilon = \int_L (\vec{\upsilon} \times \vec{B}) \cdot \mathrm{d}\vec{l} = \int_0^L \omega l B \mathrm{d}l$$

$$= \frac{1}{2} B\omega L^2 = \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0}\omega L^2$$

方向：$O \longrightarrow M$

3．一无限长直导线上通过稳恒电流I，电流方向向上，导线旁有一长度为L的金属棒，绕其一端O在一平面内顺时针匀速转动，转动角速度为，O点至导线的垂直距离为，设长直导线在金属棒旋转的平面内，试求：

（2）当金属棒转至与长直导线垂直、且O端靠近导线（即图中ON位置）时，棒内的感应电动势的大小和方向。

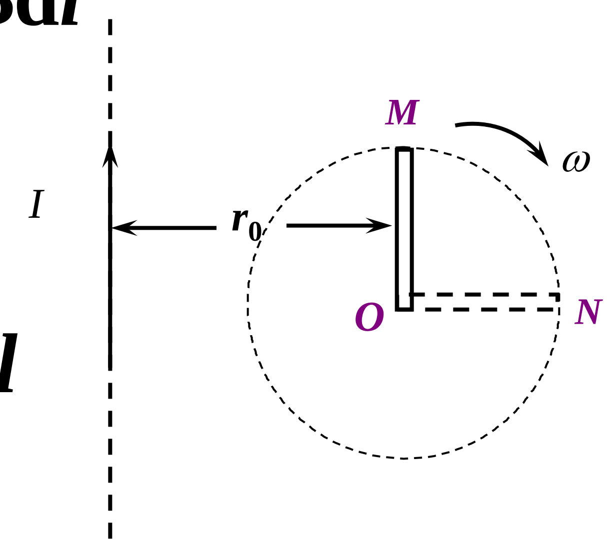
解：2)

$$\varepsilon = \int_L (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l} = \int_0^L \omega l B dl$$

$$= \int_0^L \omega l \frac{\mu_0 I}{2\pi(r_0 + l)} dl$$

$$= \int_0^L \frac{\mu_0 I \omega}{2\pi}[1 - \frac{r_0}{(r_0 + l)}]dl$$

$$= \frac{\mu_0 I \omega}{2\pi}[L - r_0 \ln \frac{r_0 + L}{r_0}]$$



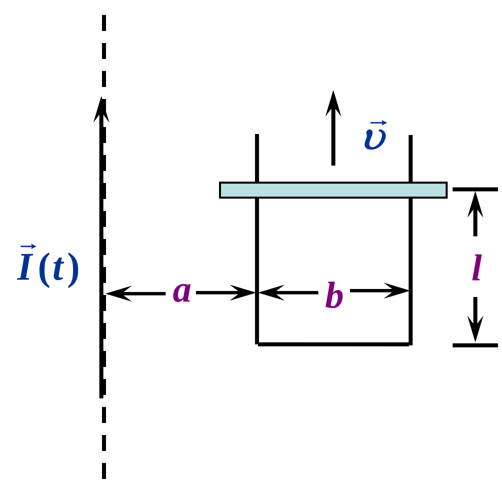
方向：$O \longrightarrow N$

4．如图所示，真空中一长直导线通有电流$I=I(t)$，有一带滑动边的矩形导线框与长直导线平行共面，二者相距a，矩形线框的滑动边与长直导线垂直，它的长度为b，并且以匀速 $\vec{\upsilon}$（方向平行长直导线）滑动，若忽略线框中的自感电动势，并设开始时滑动边与对边重合。求：（1）任意时刻矩形线框内的动生电动势；（2）任意时刻矩形线框内的感应电动势。

解：1) $\mathrm{d}\Phi = \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{S} = Bl\mathrm{d}x$

$$\Phi = \int_a^{a+b} Bl\mathrm{d}x = \int_a^{a+b} \frac{\mu_0 I(t)}{2\pi x} l\mathrm{d}x$$

$$= \frac{\mu_0 I(t)\upsilon t}{2\pi} \ln\frac{a+b}{a}$$



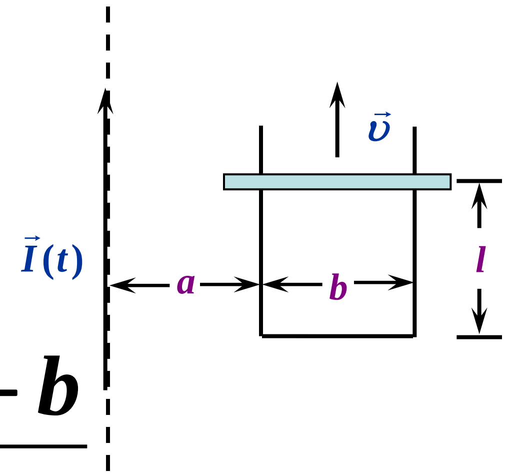
$$\varepsilon_{动} = \left| -\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t} \right| = \frac{\mu_0 I(t)\upsilon}{2\pi} \ln\frac{a+b}{a}$$

方向：$+ \longleftarrow -$

4．如图所示，真空中一长直导线通有电流$I=I(t)$，有一带滑动边的矩形导线框与长直导线平行共面，二者相距a，矩形线框的滑动边与长直导线垂直，它的长度为b，并且以匀速$\vec{\upsilon}$（方向平行长直导线）滑动，若忽略线框中的自感电动势，并设开始时滑动边与对边重合。求：（1）任意时刻矩形线框内的动生电动势；（2）任意时刻矩形线框内的感应电动势。

解：2) $$\varepsilon_{感应}=\left|-\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}\right|$$

$$=\frac{\mu_0 I(t)\upsilon}{2\pi}\ln\frac{a+b}{a}+\frac{\mu_0\upsilon t}{2\pi}\frac{\mathrm{d}I(t)}{\mathrm{d}t}\ln\frac{a+b}{a}$$

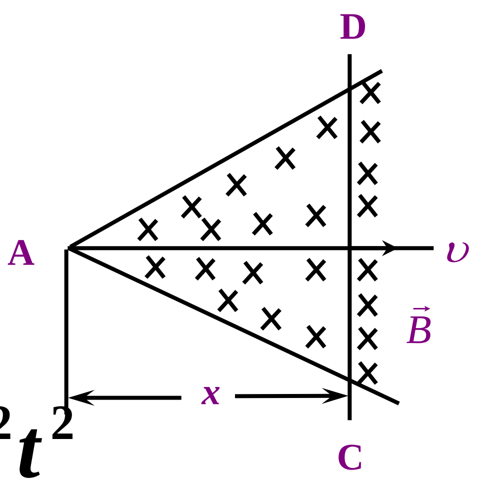


$$\varepsilon_{感应}=\varepsilon_{动生}+\varepsilon_{感生}$$

5．如图，在等边三角形平面回路ADCA中存在磁感应强度为的均匀磁场，其方向垂直于回路平面，回路上CD段为滑动导线，它以匀速远离A端运动，并始终保持回路是等边三角形，设滑动导线CD到A端的垂直距离为x，且时间t=0时，x=0， 试求，在下述两种不同的磁场情况下，回路中的感应电动势ε和时间t的关系。

(1) $\vec{B}=\vec{B}_0=$常矢量

(2) $\vec{B}=\vec{B}_0 t,\vec{B}_0=$常矢量



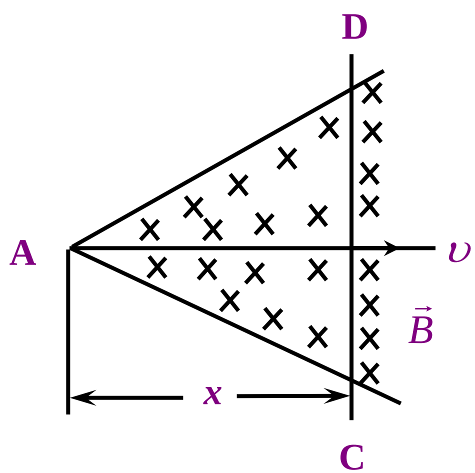
解(1) $$\Phi(t)=\vec{B}\cdot\vec{S}=B_0\cdot x\cdot\frac{1}{2}\cdot 2x\tan 30^0$$

$$=B_0\tan 30^0\cdot\upsilon^2 t^2=\frac{\sqrt{3}}{3}B_0\upsilon^2 t^2$$

$$\varepsilon_i=\varepsilon_{动}=-\frac{\mathrm{d}\Phi_m}{\mathrm{d}t}=-\frac{2\sqrt{3}}{3}B_0\upsilon^2 t$$ 逆时针

5．如图，在等边三角形平面回路ADCA中存在磁感应强度为的均匀磁场，其方向垂直于回路平面，回路上CD段为滑动导线，它以匀速远离A端运动，并始终保持回路是等边三角形，设滑动导线CD到A端的垂直距离为x，且时间t=0时，x=0, 试求，在下述两种不同的磁场情况下，回路中的感应电动势ε和时间t的关系。

(2) $\vec{B}=\vec{B}_0 t, \vec{B}_0=$ 常矢量



解(2) $\Phi_m(t)=\vec{B}\cdot\vec{S}$

$$=B_0 t\cdot x\cdot x\tan 30^0$$

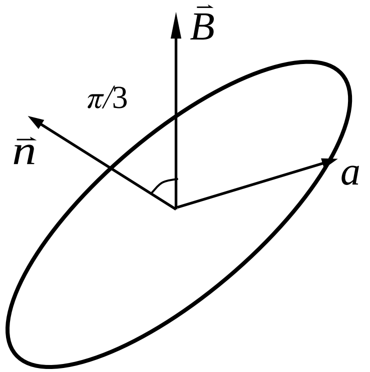
$$=\frac{\sqrt{3}}{3}B_0\upsilon^2 t^3$$

$$\varepsilon_i=-\frac{\mathrm{d}\Phi_m}{\mathrm{d}t}=-\sqrt{3}B_0\upsilon^2 t^2$$ 逆时针

6. 如图所示,一半径a＝0.10m,电阻R＝1.0×10^{-3}Ω的圆形导体回路置于均匀磁场中，磁场方向与回路面积的法向之间的夹角为π/3,若磁场变化的规律为 $B(t)=(3t^2+8t+5)\times10^{-4}\,\mathrm{T}$

求：(1) t＝2s时回路的感应电动势和感应电流；

(2) 最初2s内通过回截面的电量。



1） $\Phi_m = \vec{B}\cdot\vec{S} = BS\cos\theta$

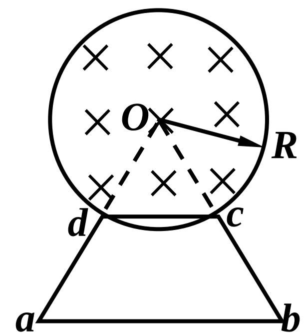
$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi_m}{dt} = -S\cos\theta\frac{dB}{dt} = -\pi a^2\cos\frac{\pi}{3}\cdot(6t+8)\times10^{-4}$$

当 t＝2s时, $\varepsilon_i = -3.1\times10^{-5}\,\mathrm{V}$, $I_i = \dfrac{\varepsilon_i}{R} = -3.1\times10^{-2}\,\mathrm{A}$

负号表示ε_i的方向与n的回路方向相反

2） $q_i = \int I_i dt = \int \frac{\varepsilon_i}{R}dt = \int_{\Phi_{m1}}^{\Phi_{m2}} \frac{d\Phi_m}{R} = \frac{\Phi_{m2}-\Phi_{m1}}{R} = 4.4\times10^{-2}\,\mathrm{A}$

7. 在半径为R的细长螺线管内有$dB/dt>0$的均匀磁场，一等腰梯形金属框$abcd$如图所示放置。已知:$ab=2R$，$cd=R$,求:(1)各边产生的感生电动势；(2)线框的总电动势。



解:（1）径向的电动势为零，即 $\varepsilon_{ad}=\varepsilon_{cb}=0$

在Δodc中，以dc为底，设h为高。

$$\Phi_1=\frac{1}{2}Rh\cdot B=\frac{1}{2}R\cdot\frac{\sqrt{3}}{2}R\cdot B=\frac{\sqrt{3}}{4}R^2B$$

$$\varepsilon_1=\varepsilon_{cd}=\left|\frac{d\Phi_1}{dt}\right|=\frac{\sqrt{3}}{4}R^2\frac{dB}{dt}$$,方向$d\rightarrow c$.

在Δoab中 $\Phi_2=BS$，$S_{有效}=\frac{1}{6}\pi R^2$

$$\therefore\Phi_2=\frac{1}{6}\pi R^2B,\quad \varepsilon_2=\varepsilon_{ab}=\left|\frac{d\Phi_2}{dt}\right|=\frac{1}{6}\pi R^2\cdot\frac{dB}{dt}$$,方向a→b.

（2）线框总电动势为: $\varepsilon_i=\varepsilon_2-\varepsilon_1=\left(\frac{\pi}{6}-\frac{\sqrt{3}}{4}\right)R^2\frac{dB}{dt}$

8. 已知在某一各向同性介质中传播的线偏振光，其电场分量为 $E_z = E_0\cos\pi\times10^{15}(t+\frac{x}{0.8c})$(SI)

式中 $E_0 = 0.08\text{V/m}$, c为真空光速。试求

（1）介质的折射率；　　（2）光波的频率；

（3）磁场分量的幅值；　　（4）平均辐射强度。

解：（1） $n=\frac{c}{u}=\frac{c}{0.8c}=1.25$

（2） $\omega=2\pi\nu=\pi\times10^{15} \Rightarrow \nu=5\times10^{14}\text{Hz}$

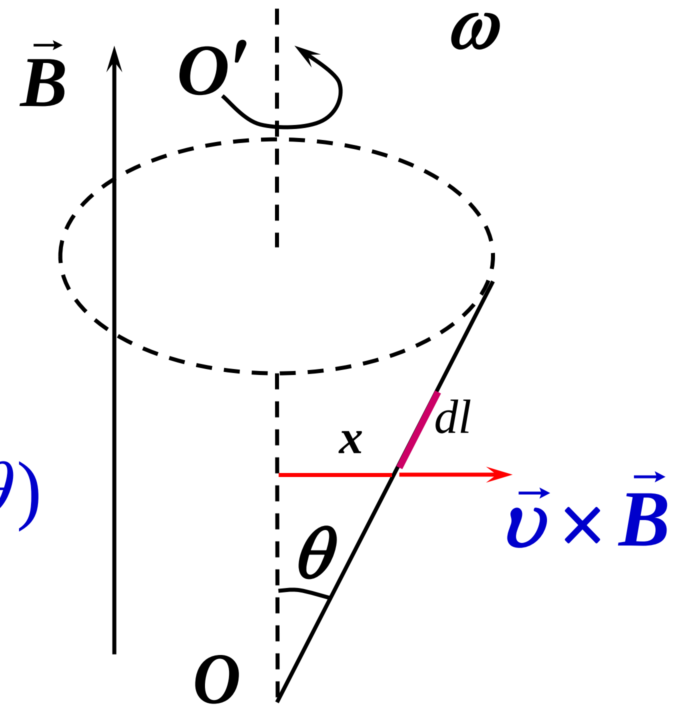
（3） $H_0=\frac{\sqrt{\varepsilon}}{\sqrt{\mu}}E_0=\frac{\sqrt{\varepsilon\mu}}{\mu}E_0$

$u=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}}=0.8c \quad \mu\approx\mu_0=4\pi\times10^{-7}\text{H/m}$

$H_0=2.65\times10^{-4}\text{A/m}$

（4） $\overline{S}=\frac{1}{2}E_0H_0=1.06\times10^{-5}\text{W/m}^2$

9. 如图所示，长度为L的金属棒在均匀磁场 $\vec{B}$中绕平行于磁场方向的定轴 OO' 转动。已知棒相对于磁场 $\vec{B}$ 的方位角为θ，棒的角速度为ω，求棒中的动生电动势。



解：$\varepsilon = \int_0^L (\vec{\upsilon}\times\vec{B})\cdot \mathrm{d}\vec{l}$

$$= \int_0^L \upsilon B \mathrm{d}l \cos(\frac{\pi}{2}-\theta)$$

$$= \int_0^{L\sin\theta} \omega x B \frac{\mathrm{d}x}{\cos(\frac{\pi}{2}-\theta)} \cos(\frac{\pi}{2}-\theta)$$

$$= \frac{1}{2}\omega B L^2 \sin^2\theta$$