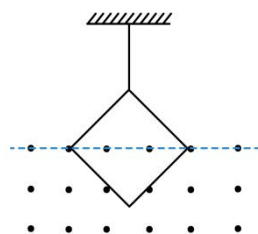


专题 10 电磁感应（解析版）

近 5 年（2018-2022）高考物理试题分类解析

1、（2022·全国乙卷·T24）如图，一不可伸长的细绳的上端固定，下端系在边长为 $l = 0.40\text{m}$ 的正方形金属框的一个顶点上。金属框的一条对角线水平，其下方有方向垂直于金属框所在平面的匀强磁场。已知构成金属框的导线单位长度的阻值为 $\lambda = 5.0 \times 10^{-3} \Omega/\text{m}$ ；在 $t = 0$ 到 $t = 3.0\text{s}$ 时间内，磁感应强度大小随时间 t 的变化关系为 $B(t) = 0.3 - 0.1t(\text{SI})$ 。求：

- （1） $t = 2.0\text{s}$ 时金属框所受安培力的大小；
- （2）在 $t = 0$ 到 $t = 2.0\text{s}$ 时间内金属框产生的焦耳热。



【答案】（1） $0.04\sqrt{2}\text{N}$ ；（2） 0.016J

【解析】

（1）金属框的总电阻为

$$R = 4l\lambda = 4 \times 0.4 \times 5 \times 10^{-3} \Omega = 0.008 \Omega$$

金属框中产生的感应电动势为

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta B \times \frac{l^2}{2}}{\Delta t} = 0.1 \times \frac{1}{2} \times 0.4^2 \text{ V} = 0.008 \text{ V}$$

金属框中的电流为

$$I = \frac{E}{R} = 1 \text{ A}$$

$t = 2.0\text{s}$ 时磁感应强度为

$$B_2 = (0.3 - 0.1 \times 2) \text{ T} = 0.1 \text{ T}$$

金属框处于磁场中的有效长度为

$$L = \sqrt{2}l$$

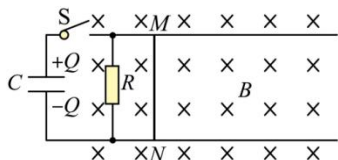
此时金属框所受安培力大小为

$$F_A = B_2 IL = 0.1 \times 1 \times \sqrt{2} \times 0.4 \text{ N} = 0.04\sqrt{2} \text{ N}$$

(2) 0 : 2.0s 内金属框产生的焦耳热为

$$Q = I^2 R t = 1^2 \times 0.008 \times 2 \text{ J} = 0.016 \text{ J}$$

2、(2022·全国甲卷·T20) 如图，两根相互平行的光滑长直金属导轨固定在水平绝缘桌面上，在导轨的左端接入电容为 C 的电容器和阻值为 R 的电阻。质量为 m 、阻值也为 R 的导体棒 MN 静止于导轨上，与导轨垂直，且接触良好，导轨电阻忽略不计，整个系统处于方向竖直向下的匀强磁场中。开始时，电容器所带的电荷量为 Q ，合上开关 S 后，()



- A. 通过导体棒 MN 电流的最大值为 $\frac{Q}{RC}$
- B. 导体棒 MN 向右先加速、后匀速运动
- C. 导体棒 MN 速度最大时所受的安培力也最大
- D. 电阻 R 上产生的焦耳热大于导体棒 MN 上产生的焦耳热

【答案】AD

【解析】

MN 在运动过程中为非纯电阻， MN 上的电流瞬时值为

$$i = \frac{u - Blv}{R}$$

A. 当闭合的瞬间， $Blv = 0$ ，此时 MN 可视为纯电阻 R ，此时反电动势最小，故电流最大

$$I_{\max} = \frac{U}{R} = \frac{Q}{CR}$$

故 A 正确；

B. 当 $u > Blv$ 时，导体棒加速运动，当速度达到最大值之后，电容器与 MN 及 R 构成回路，由于一直处于通路的形式，由能量守恒可知，最后 MN 终极速度为零，故 B 错误；

C. MN 在运动过程中为非纯电阻电路， MN 上的电流瞬时值为

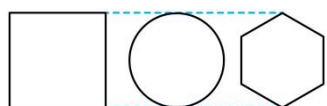
$$i = \frac{u - Blv}{R}$$

当 $u = Blv$ 时, MN 上电流瞬时为零, 安培力为零此时, MN 速度最大, 故 C 错误;

D. 在 MN 加速度阶段, 由于 MN 反电动势存在, 故 MN 上电流小于电阻 R 上的电流, 电阻 R 消耗电能大于 MN 上消耗的电能 (即 $E_R > E_{MN}$), 故加速过程中, $Q_R > Q_{MN}$; 当 MN 减速为零的过程中, 电容器的电流和导体棒的电流都流经电阻 R 形成各自的回路, 因此可知此时也是电阻 R 的电流大, 综上分析可知全过程中电阻 R 上的热量大于导体棒上的热量, 故 D 正确。

故选 AD。

3、(2022·全国甲卷·T16) 三个用同样的细导线做成的刚性闭合线框, 正方形线框的边长与圆线框的直径相等, 圆线框的半径与正六边形线框的边长相等, 如图所示。把它们放入磁感应强度随时间线性变化的同一匀强磁场中, 线框所在平面均与磁场方向垂直, 正方形、圆形和正六边形线框中感应电流的大小分别为 I_1 、 I_2 和 I_3 。则 ()



A. $I_1 < I_3 < I_2$

B. $I_1 > I_3 > I_2$

C. $I_1 = I_2 > I_3$

D.

$I_1 = I_2 = I_3$

【答案】C

【解析】

设圆线框的半径为 r , 则由题意可知正方形线框的边长为 $2r$, 正六边形线框的边长为 r ; 所以圆线框的周长为

$$C_2 = 2\pi r$$

面积为

$$S_2 = \pi r^2$$

同理可知正方形线框的周长和面积分别为

$$C_1 = 8r, \quad S_1 = 4r^2$$

正六边形线框的周长和面积分别为

$$C_3 = 6r, \quad S_3 = \frac{1}{2} \times 6 \times r \times \frac{\sqrt{3}}{2} r = \frac{3\sqrt{3}r^2}{2}$$

三线框材料粗细相同，根据电阻定律

$$R = \rho \frac{L}{S_{\text{横截面}}}$$

可知三个线框电阻之比为

$$R_1 : R_2 : R_3 = C_1 : C_2 : C_3 = 8 : 2\pi : 6$$

根据法拉第电磁感应定律有

$$I = \frac{E}{R} = \frac{\Delta B}{\Delta t} \cdot \frac{S}{R}$$

可得电流之比为：

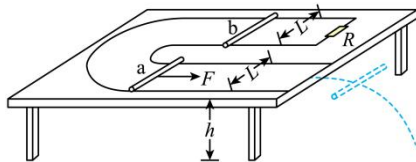
$$I_1 : I_2 : I_3 = 2 : 2 : \sqrt{3}$$

即

$$I_1 = I_2 > I_3$$

故选 C。

4、(2022·湖南卷·T10) 如图，间距 $L = 1\text{m}$ 的 U 形金属导轨，一端接有 0.1Ω 的定值电阻 R ，固定在高 $h = 0.8\text{m}$ 的绝缘水平桌面上。质量均为 0.1kg 的匀质导体棒 a 和 b 静止在导轨上，两导体棒与导轨接触良好且始终与导轨垂直，接入电路的阻值均为 0.1Ω ，与导轨间的动摩擦因数均为 0.1 （设最大静摩擦力等于滑动摩擦力），导体棒 a 距离导轨最右端 1.74m 。整个空间存在竖直向下的匀强磁场（图中未画出），磁感应强度大小为 0.1T 。用 $F = 0.5\text{N}$ 沿导轨水平向右的恒力拉导体棒 a ，当导体棒 a 运动到导轨最右端时，导体棒 b 刚要滑动，撤去 F ，导体棒 a 离开导轨后落到水平地面上。重力加速度取 10m/s^2 ，不计空气阻力，不计其他电阻，下列说法正确的是（ ）



- A. 导体棒 a 离开导轨至落地过程中，水平位移为 0.6m
- B. 导体棒 a 离开导轨至落地前，其感应电动势不变
- C. 导体棒 a 在导轨上运动的过程中，导体棒 b 有向右运动的趋势
- D. 导体棒 a 在导轨上运动的过程中，通过电阻 R 的电荷量为 0.58C

【答案】BD

【解析】

C. 导体棒 a 在导轨上向右运动，产生的感应电流向里，流过导体棒 b 向里，由左手定则可知安培力向左，则导体棒 b 有向左运动的趋势，故 C 错误；

A. 导体棒 b 与电阻 R 并联，有

$$I = \frac{BLv}{R + \frac{R}{2}}$$

当导体棒 a 运动到导轨最右端时，导体棒 b 刚要滑动，有

$$B \cdot \frac{I}{2} \cdot L = \mu mg$$

联立解得 a 棒的速度为

$$v = 3\text{m/s}$$

a 棒做平抛运动，有

$$x = vt$$

$$h = \frac{1}{2}gt^2$$

联立解得导体棒 a 离开导轨至落地过程中水平位移为

$$x = 1.2\text{m}$$

故 A 错误；

B. 导体棒 a 离开导轨至落地前做平抛运动，水平速度切割磁感线，则产生的感应电动势不变，故 B 正确；

D. 导体棒 a 在导轨上运动的过程中，通过电路的电量为

$$q = \bar{I} \cdot \Delta t = \frac{BL \cdot \Delta x}{R + \frac{1}{2}R} = \frac{0.1 \times 1 \times 1.74}{0.15} \text{C} = 1.16\text{C}$$

导体棒 b 与电阻 R 并联，流过的电流与电阻成反比，则通过电阻 R 的电荷量为

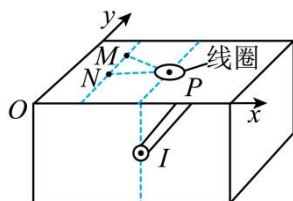
$$q_R = \frac{q}{2} = 0.58\text{C}$$

故 D 正确。

故选 BD。

5、(2022·广东卷·T1) 如图所示，水平地面 (Oxy 平面) 下有一根平行于 y 轴且通有恒定电流 I 的长直导线。 P 、 M 和 N 为地面上的三点， P 点位于导线正上方， MN 平行于 y 轴， PN

平行于 x 轴。一闭合的圆形金属线圈，圆心在 P 点，可沿不同方向以相同的速率做匀速直线运动，运动过程中线圈平面始终与地面平行。下列说法正确的有（ ）



- A. N 点与 M 点的磁感应强度大小相等，方向相同
- B. 线圈沿 PN 方向运动时，穿过线圈的磁通量不变
- C. 线圈从 P 点开始竖直向上运动时，线圈中无感应电流
- D. 线圈从 P 到 M 过程的感应电动势与从 P 到 N 过程的感应电动势相等

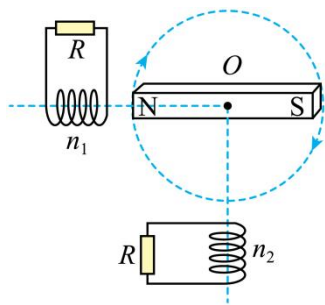
【答案】AC

【解析】

- A. 依题意， M 、 N 两点连线与长直导线平行、两点与长直导线的距离相同，根据右手螺旋定则可知，通电长直导线在 M 、 N 两点产生的磁感应强度大小相等，方向相同，故 A 正确；
- B. 根据右手螺旋定则，线圈在 P 点时，磁感线穿进与穿出在线圈中对称，磁通量为零；在向 N 点平移过程中，磁感线穿进与穿出线圈不再对称，线圈的磁通量会发生变化，故 B 错误；
- C. 根据右手螺旋定则，线圈从 P 点竖直向上运动过程中，磁感线穿进与穿出线圈对称，线圈的磁通量始终为零，没有发生变化，线圈无感应电流，故 C 正确；
- D. 线圈从 P 点到 M 点与从 P 点到 N 点，线圈的磁通量变化量相同，依题意 P 点到 M 点所用时间较从 P 点到 N 点时间长，根据法拉第电磁感应定律，则两次的感应电动势不相等，故 D 错误。

故选 AC。

6、(2022·广东卷·T4) 图是简化的某种旋转磁极式发电机原理图。定子是仅匝数 n 不同的两线圈， $n_1 > n_2$ ，二者轴线在同一平面内且相互垂直，两线圈到其轴线交点 O 的距离相等，且均连接阻值为 R 的电阻，转子是中心在 O 点的条形磁铁，绕 O 点在该平面内匀速转动时，两线圈输出正弦式交变电流。不计线圈电阻、自感及两线圈间的相互影响，下列说法正确的是（ ）



- A. 两线圈产生的电动势的有效值相等
 B. 两线圈产生的交变电流频率相等
 C. 两线圈产生的电动势同时达到最大值
 D. 两电阻消耗的电功率相等

【答案】B

【解析】

AD. 根据

$$E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

两线圈中磁通量的变化率相等，但是匝数不等，则产生的感应电动势最大值不相等，有效值也不相等，根据

$$P = \frac{U^2}{R}$$

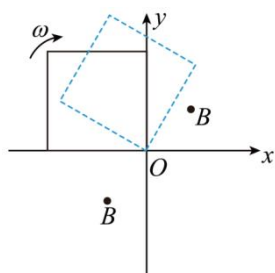
可知，两电阻的电功率也不相等，选项 AD 错误；

B. 因两线圈放在同一个旋转磁铁的旁边，则两线圈产生的交流电的频率相等，选项 B 正确；

C. 当磁铁的磁极到达线圈附近时，磁通量变化率最大，感应电动势最大，可知两线圈产生的感应电动势不可能同时达到最大值，选项 C 错误；

故选 B。

7、(2022·山东卷·T12) 如图所示， xOy 平面的第一、三象限内以坐标原点 O 为圆心、半径为 $\sqrt{2}L$ 的扇形区域充满方向垂直纸面向外的匀强磁场。边长为 L 的正方形金属框绕其始终在 O 点的顶点、在 xOy 平面内以角速度 ω 顺时针匀速转动， $t=0$ 时刻，金属框开始进入第一象限。不考虑自感影响，关于金属框中感应电动势 E 随时间 t 变化规律的描述正确的是 ()

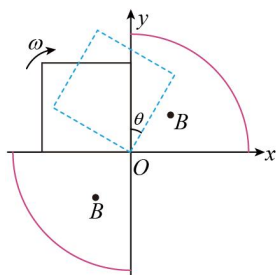


- A. 在 $t=0$ 到 $t=\frac{\pi}{2\omega}$ 的过程中, E 一直增大
- B. 在 $t=0$ 到 $t=\frac{\pi}{2\omega}$ 的过程中, E 先增大后减小
- C. 在 $t=0$ 到 $t=\frac{\pi}{4\omega}$ 的过程中, E 的变化率一直增大
- D. 在 $t=0$ 到 $t=\frac{\pi}{4\omega}$ 的过程中, E 的变化率一直减小

【答案】BC

【解析】

AB. 如图所示



在 $t=0$ 到 $t=\frac{\pi}{2\omega}$ 的过程中, 线框的有效切割长度先变大再变小, 当 $t=\frac{\pi}{4\omega}$ 时, 有效切割长度最大为 $\sqrt{2}L$, 此时, 感应电动势最大, 所以在 $t=0$ 到 $t=\frac{\pi}{2\omega}$ 的过程中, E 先增大后减小, 故 B 正确, A 错误;

CD. 在 $t=0$ 到 $t=\frac{\pi}{4\omega}$ 的过程中, 设转过的角度为 θ , 由几何关系可得

$$\theta = \omega t$$

进入磁场部分线框的面积

$$S = \frac{L \cdot L \tan \theta}{2}$$

穿过线圈的磁通量

$$\Phi = BS = \frac{BL^2 \tan \omega t}{2}$$

线圈产生的感应电动势

$$E = \Phi' = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

感应电动势的变化率

$$\frac{\Delta E}{\Delta t} = E'$$

对 $\Phi = \frac{BL^2 \tan \omega t}{2}$ 求二次导数得

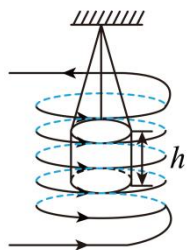
$$\frac{\Delta E}{\Delta t} = BL^2 \omega^2 \sec^2 \omega t \tan \omega t$$

在 $t=0$ 到 $t = \frac{\pi}{4\omega}$ 的过程中 $BL^2 \omega^2 \sec^2 \omega t \tan \omega t$ 一直变大，所以 E 的变化率一直增大，故

C 正确，D 错误。

故选 BC。

8、（2022·浙江1月卷·T13）如图所示，将一通电螺线管竖直放置，螺线管内部形成方向竖直向上、磁感应强度大小 $B=kt$ 的匀强磁场，在内部用绝缘轻绳悬挂一与螺线管共轴的金属薄圆管，其电阻率为 ρ 、高度为 h 、半径为 r 、厚度为 d ($d \ll r$)，则（ ）



A. 从上向下看，圆管中的感应电流为逆时针方向

B. 圆管的感应电动势大小为 $\frac{k\pi r^2}{h}$

C. 圆管的热功率大小为 $\frac{\pi d h k^2 r^3}{2\rho}$

D. 轻绳对圆管的拉力随时间减小

【答案】C

【解析】

A. 穿过圆管的磁通量向上逐渐增加，则根据楞次定律可知，从上向下看，圆管中的感应电

流为顺时针方向，选项 A 错误；

B. 圆管的感应电动势大小为

$$E = \frac{\Delta B}{\Delta t} \pi r^2 = k \pi r^2$$

选项 B 错误；

C. 圆管的电阻

$$R = \rho \frac{2\pi r}{dh}$$

圆管的热功率大小为

$$P = \frac{E^2}{R} = \frac{\pi d h k^2 r^3}{2\rho}$$

选项 C 正确；

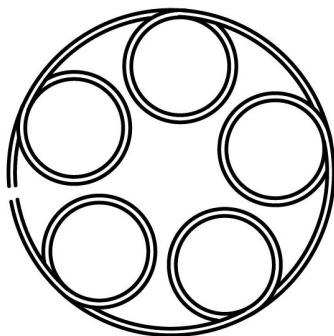
D. 根据左手定则可知，圆管中各段所受的安培力方向指向圆管的轴线，则轻绳对圆管的拉力的合力始终等于圆管的重力，不随时间变化，选项 D 错误。

故选 C。

9. (2022·河北·T5) 将一根绝缘硬质细导线顺次绕成如图所示的线圈，其中大圆面积为 S_1 ，

小圆面积均为 S_2 ，垂直线圈平面方向有一随时间 t 变化的磁场，磁感应强度大小 $B = B_0 + kt$ ，

B_0 和 k 均为常量，则线圈中总的感应电动势大小为 ()



A. kS_1

B. $5kS_2$

C. $k(S_1 - 5S_2)$

D. $k(S_1 + 5S_2)$

【答案】D

【解析】

由法拉第电磁感应定律可得大圆线圈产生的感应电动势

$$E_1 = \frac{\Delta \Phi_1}{\Delta t} = \frac{\Delta B \cdot S_1}{\Delta t} = kS_1$$

每个小圆线圈产生的感应电动势

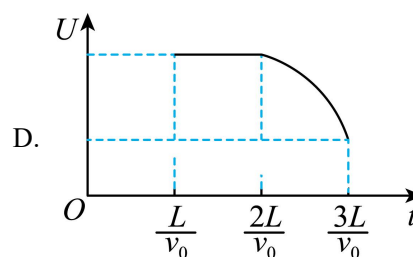
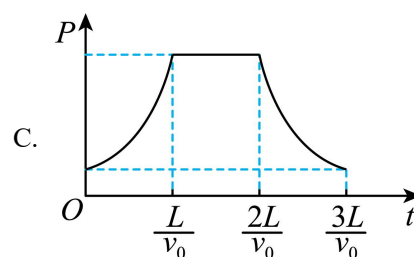
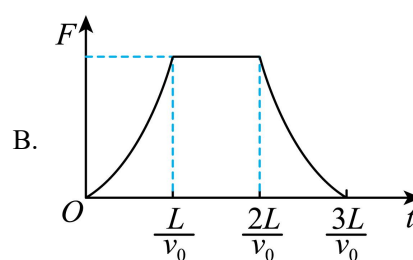
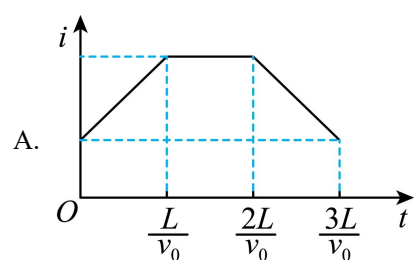
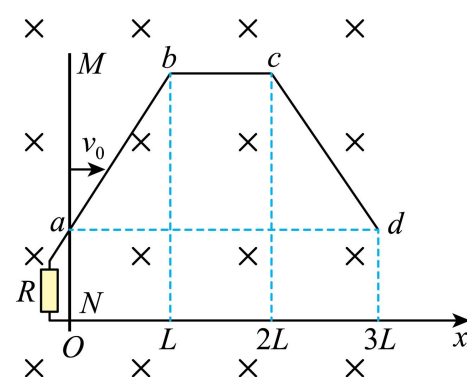
$$E_2 = \frac{\Delta \Phi_2}{\Delta t} = \frac{2}{\Delta t} = kS_2$$

由线圈的绕线方式和楞次定律可得大、小圆线圈产生的感应电动势方向相同，故线圈中总的感应电动势大小为

$$E = E_1 + 4E_2 = k(S_1 + 5S_2)$$

故选 D。

10.(2022·河北·T8) 如图，两光滑导轨水平放置在竖直向下的匀强磁场中，一根导轨位于 x 轴上，另一根由 ab 、 bc 、 cd 三段直导轨组成，其中 bc 段与 x 轴平行，导轨左端接入一电阻 R 。导轨上一金属棒 MN 沿 x 轴正向以速度 v_0 保持匀速运动， $t=0$ 时刻通过坐标原点 O ，金属棒始终与 x 轴垂直。设运动过程中通过电阻的电流强度为 i ，金属棒受到安培力的大小为 F ，金属棒克服安培力做功的功率为 P ，电阻两端的电压为 U ，导轨与金属棒接触良好，忽略导轨与金属棒的电阻。下列图像可能正确的是 ()



【答案】AC

【解析】

当导体棒从 O 点向右运动 L 时，即在 $0 \sim \frac{L}{v_0}$ 时间内，在某时刻导体棒切割磁感线的长度

$$L = l_0 + v_0 t \tan \theta$$

(θ 为 ab 与 ad 的夹角) 则根据

$$E = BLv_0$$

$$I = \frac{BLv_0}{R} = \frac{Bv_0}{R} (l_0 + v_0 t \tan \theta)$$

可知回路电流均匀增加；安培力

$$F = \frac{B^2 L^2 v_0}{R} = \frac{B^2 v_0}{R} (l_0 + v_0 t \tan \theta)^2$$

则 $F-t$ 关系为抛物线，但是不过原点；安培力做功的功率

$$P = Fv_0 = \frac{B^2 L^2 v_0^2}{R} = \frac{B^2 v_0^2}{R} (l_0 + v_0 t \tan \theta)^2$$

则 $P-t$ 关系为抛物线，但是不过原点；电阻两端的电压等于导体棒产生的感应电动势，即

$$U = E = BLv_0 = Bv_0 (l_0 + v_0 t \tan \theta)$$

即图像是不过原点的直线；根据以上分析，可大致排除 BD 选项；

当在 $\frac{L}{v_0} \sim \frac{2L}{v_0}$ 时间内，导体棒切割磁感线的长度不变，感应电动势 E 不变，感应电流 I 不变，

安培力 F 大小不变，安培力的功率 P 不变，电阻两端电压 U 保持不变；

同理可判断，在 $\frac{2L}{v_0} \sim \frac{3L}{v_0}$ 时间内，导体棒切割磁感线长度逐渐减小，导体棒切割磁感线的

感应电动势 E 均匀减小，感应电流 I 均匀减小，安培力 F 大小按照二次函数关系减小，但是

不能减小到零，与 $0 \sim \frac{L}{v_0}$ 内是对称的关系，安培力的功率 P 按照二次函数关系减小，但是

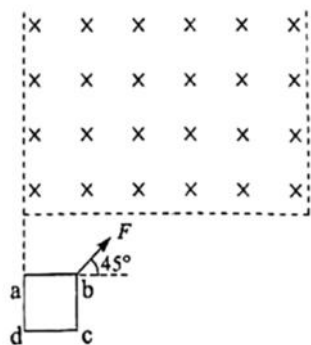
不能减小到零，与 $0 \sim \frac{L}{v_0}$ 内是对称的关系，电阻两端电压 U 按线性均匀减小；综上所述选

项 AC 正确，BD 错误。

故选 AC。

11、(2022·湖北·T15)如图所示，高度足够的匀强磁场区域下边界水平、左右边界竖直，磁场方向垂直于纸面向里。正方形单匝线框 $abcd$ 的边长 $L = 0.2\text{m}$ 、回路电阻 $R = 1.6 \times 10^{-3}\Omega$ 、质量 $m = 0.2\text{kg}$ 。线框平面与磁场方向垂直，线框的 ad 边与磁场左边界平齐， ab 边与磁场下边界的距离也为 L 。现对线框施加与水平向右方向成 $\theta = 45^\circ$ 角、大小为 $4\sqrt{2}\text{N}$ 的恒力 F ，使其在图示竖直平面内由静止开始运动。从 ab 边进入磁场开始，在竖直方向线框做匀速运动； dc 边进入磁场时， bc 边恰好到达磁场右边界。重力加速度大小取 $g = 10\text{m/s}^2$ ，求：

- (1) ab 边进入磁场前，线框在水平方向和竖直方向的加速度大小；
- (2) 磁场的磁感应强度大小和线框进入磁场的整个过程中回路产生的焦耳热；
- (3) 磁场区域的水平宽度。



【答案】(1) $a_x = 20\text{m/s}^2$, $a_y = 10\text{m/s}^2$; (2) $B = 0.2\text{T}$, $Q = 0.4\text{J}$; (3) $X = 1.1\text{m}$

【解析】

(1) ab 边进入磁场前，对线框进行受力分析，在水平方向有

$$ma_x = F\cos\theta$$

代入数据有

$$a_x = 20\text{m/s}^2$$

在竖直方向有

$$ma_y = F\sin\theta - mg$$

代入数据有

$$a_y = 10\text{m/s}^2$$

(2) ab 边进入磁场开始， ab 边在竖直方向切割磁感线； ad 边和 bc 边的上部分也开始进入磁场，且在水平方向切割磁感线。但 ad 和 bc 边的上部分产生的感应电动势相互抵消，则整个回路的电源为 ab ，根据右手定则可知回路的电流为 $adcba$ ，则 ab 边进入磁场开始， ab 边受到的安培力竖直向下， ad 边的上部分受到的安培力水平向右， bc 边的上部分受到的安培

力水平向左，则 ad 边和 bc 边的上部分受到的安培力相互抵消，故线框 $abcd$ 受到的安培力的合力为 ab 边受到的竖直向下的安培力。由题知，线框从 ab 边进入磁场开始，在竖直方向线框做匀速运动，有

$$F\sin\theta - mg - BIL = 0$$

$$E = BLv_y$$

$$I = \frac{E}{R}$$

$$v_y^2 = 2a_y L$$

联立有

$$B = 0.2\text{T}$$

由题知，从 ab 边进入磁场开始，在竖直方向线框做匀速运动； dc 边进入磁场时， bc 边恰好到达磁场右边界。则线框进入磁场的整个过程中，线框受到的安培力为恒力，则有

$$Q = W_{\text{安}} = BILy$$

$$y = L$$

$$F\sin\theta - mg = BIL$$

联立解得

$$Q = 0.4\text{J}$$

(3) 线框从开始运动到进入磁场的整个过程中所用的时间为

$$v_y = a_y t_1$$

$$L = v_y t_2$$

$$t = t_1 + t_2$$

联立解得

$$t = 0.3\text{s}$$

由(2)分析可知线框在水平方向一直做匀加速直线运动，则在水平方向有

$$x = \frac{1}{2} a_x t^2 = \frac{1}{2} \times 20 \times 0.3^2 \text{m} = 0.9\text{m}$$

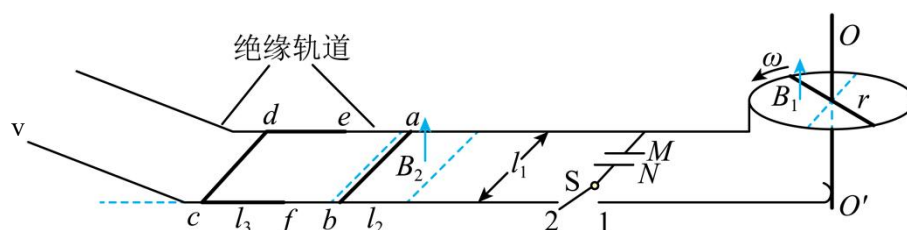
则磁场区域的水平宽度

$$X = x + L = 1.1\text{m}$$

12、(2022·浙江1月卷·T21) 如图所示，水平固定一半径 $r=0.2\text{m}$ 的金属圆环，长均为 r ，电阻均为 R_0 的两金属棒沿直径放置，其中一端与圆环接触良好，另一端固定在过圆心的导电竖直转轴 OO' 上，并随轴以角速度 $\omega=600\text{rad/s}$ 匀速转动，圆环内左半圆均存在磁感应强度

大小为 B_1 的匀强磁场。圆环边缘、与转轴良好接触的电刷分别与间距 l_1 的水平放置的平行金属轨道相连，轨道间接有电容 $C=0.09\text{F}$ 的电容器，通过单刀双掷开关 S 可分别与接线柱 1、2 相连。电容器左侧宽度也为 l_1 、长度为 l_2 、磁感应强度大小为 B_2 的匀强磁场区域。在磁场区域内靠近左侧边缘处垂直轨道放置金属棒 ab ，磁场区域外有间距也为 l_1 的绝缘轨道与金属轨道平滑连接，在绝缘轨道的水平段上放置“[”形金属框 $fcde$ 。棒 ab 长度和“[”形框的宽度也均为 l_1 、质量均为 $m=0.01\text{kg}$ ， de 与 cf 长度均为 $l_3=0.08\text{m}$ ，已知 $l_1=0.25\text{m}$ ， $l_2=0.068\text{m}$ ， $B_1=B_2=1\text{T}$ 、方向均为竖直向上；棒 ab 和“[”形框的 cd 边的电阻均为 $R=0.1\Omega$ ，除已给电阻外其他电阻不计，轨道均光滑，棒 ab 与轨道接触良好且运动过程中始终与轨道垂直。开始时开关 S 和接线柱 1 接通，待电容器充电完毕后，将 S 从 1 拨到 2，电容器放电，棒 ab 被弹出磁场后与“[”形框粘在一起形成闭合框 $abcd$ ，此时将 S 与 2 断开，已知框 $abcd$ 在倾斜轨道上重心上升 0.2m 后返回进入磁场。

- (1) 求电容器充电完毕后所带的电荷量 Q ，哪个极板（ M 或 N ；）带正电？
- (2) 求电容器释放的电荷量 ΔQ ；
- (3) 求框 $abcd$ 进入磁场后， ab 边与磁场区域左边界的最大距离 x 。



【答案】(1) 0.54C ； M 板；(2) 0.16C ；(3) 0.14m

【解析】

(1) 开关 S 和接线柱 1 接通，电容器充电过程，对绕转轴 OO' 转动的棒由右手定则可知其动生电源的电流沿径向向外，即边缘为电源正极，圆心为负极，则 M 板充正电；根据法拉第电磁感应定律可知

$$E = \frac{1}{2} B_1 \omega r^2$$

则电容器的电量为

$$Q = CU = \frac{CE}{2} = 0.54\text{C}$$

(2) 电容器放电过程有

$$B_2 l_1 \Delta Q = mv_1$$

棒 ab 被弹出磁场后与“ $\square$ ”形框粘在一起的过程有

$$mv_1 = (m + m)v_2$$

棒的上滑过程有

$$\frac{1}{2}2mv_2^2 = 2mgh$$

联立解得

$$\Delta Q = \frac{2m}{B_2 l_1} \sqrt{2gh} = 0.16C$$

(3) 设导体框在磁场中减速滑行的总路程为 Δx ，由动量定理

$$\frac{B_2^2 l_1^2 \Delta x}{2R} = 2mv_2$$

可得

$$\Delta x = 0.128m > 0.08m$$

匀速运动距离为

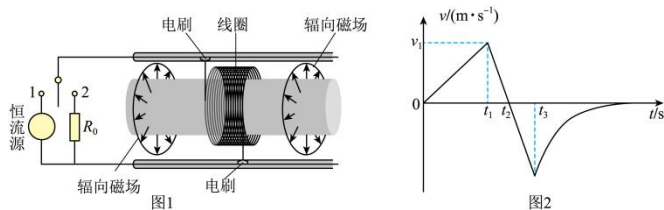
$$l_3 - l_2 = 0.012m$$

则

$$\Delta x = \Delta x + l_3 - l_2 = 0.14m$$

13、(2022·浙江 6 月·T21) 绝缘并固定，线圈带动动子，可在水平导轨上无摩擦滑动。线圈位于导轨间的辐向磁场中，其所在处的磁感应强度大小均为 B 。开关 S 与 1 接通，恒流源与线圈连接，动子从静止开始推动飞机加速，飞机达到起飞速度时与动子脱离；此时 S 掷向 2 接通定值电阻 R_0 ，同时施加回撤力 F ，在 F 和磁场力作用下，动子恰好返回初始位置停下。若动子从静止开始至返回过程的 $v-t$ 图如图 2 所示，在 t_1 至 t_3 时间内 $F=(800-10v)$ N， t_3 时撤去 F 。已知起飞速度 $v_1=80\text{m/s}$ ， $t_1=1.5\text{s}$ ，线圈匝数 $n=100$ 匝，每匝周长 $l=1\text{m}$ ，飞机的质量 $M=10\text{kg}$ ，动子和线圈的总质量 $m=5\text{kg}$ ， $R_0=9.5\Omega$ ， $B=0.1\text{T}$ ，不计空气阻力和飞机起飞对动子运动速度的影响，求

- (1) 恒流源的电流 I ；
- (2) 线圈电阻 R ；
- (3) 时刻 t_3 。



【答案】(1) 80A; (2) $R = 0.5\Omega$; (3) $t_3 = \frac{\sqrt{5}+3}{2}\text{s}$

【解析】

(1) 由题意可知接通恒流源时安培力

$$F_{\text{安}} = nBIl$$

动子和线圈在 $0 \sim t_1$ 时间段内做匀加速直线运动, 运动的加速度为

$$a = \frac{v_1}{t_1}$$

根据牛顿第二定律有

$$F_{\text{安}} = (M + m)a$$

代入数据联立解得

$$I = \frac{(m + M)v_1}{nlBt_1} = 80\text{A}$$

(2) 当 S 掷向 2 接通定值电阻 R_0 时, 感应电流为

$$I' = \frac{nBlv}{R_0 + R}$$

此时安培力为

$$F'_{\text{安}} = nBI'l$$

所以此时根据牛顿第二定律有

$$(800 - 10v) + \frac{n^2 l^2 B^2}{R_0 + R} v = ma'$$

由图可知在 t_1 至 t_3 期间加速度恒定, 则有

$$\frac{n^2 l^2 B^2}{R_0 + R} = 10$$

解得

$$R = 0.5\Omega, \quad a' = 160\text{m/s}^2$$

(3) 根据图像可知

$$t_2 - t_1 = \frac{v_1}{a'} = 0.5\text{s}$$

故 $t_2 = 2\text{s}$ ；在 $0 \sim t_2$ 时间段内的位移

$$s = \frac{1}{2} v_1 t_2 = 80\text{m}$$

而根据法拉第电磁感应定律有

$$E = n \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{nB\Delta S}{\Delta t}$$

电荷量的定义式

$$\Delta q = It$$

$$I = \frac{E}{R + R_0}$$

可得

$$\Delta q = \frac{nBl \left[s - \frac{1}{2} a' (t_3 - t_2)^2 \right]}{R + R_0}$$

从 t_3 时刻到最后返回初始位置停下的时间段内通过回路的电荷量，根据动量定理有

$$-nBl\Delta q = 0 - ma'(t_3 - t_2)$$

联立可得

$$(t_3 - t_2)^2 + (t_3 - t_2) - 1 = 0$$

解得

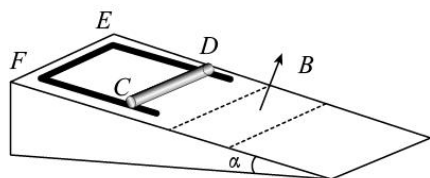
$$t_3 = \frac{\sqrt{5} + 3}{2} \text{s}$$

14. 2021 全国乙卷第 12 题. 如图，一倾角为 α 的光滑固定斜面的顶端放有质量 $M = 0.06\text{kg}$ 的 U 型导体框，导体框的电阻忽略不计；一电阻 $R = 3\Omega$ 的金属棒 CD 的两端置于导体框上，与导体框构成矩形回路 $CDEF$ ； EF 与斜面底边平行，长度 $L = 0.6\text{m}$ 。初始时 CD 与 EF 相

距 $s_0 = 0.4\text{m}$ ，金属棒与导体框同时由静止开始下滑，金属棒下滑距离 $s_1 = \frac{3}{16}\text{m}$ 后进入一

方向垂直于斜面的匀强磁场区域，磁场边界（图中虚线）与斜面底边平行；金属棒在磁场中做匀速运动，直至离开磁场区域。当金属棒离开磁场的瞬间，导体框的 EF 边正好进入磁场，并在匀速运动一段距离后开始加速。已知金属棒与导体框之间始终接触良好，磁场的磁感应强度大小 $B = 1\text{T}$ ，重力加速度大小取 $g = 10\text{m/s}^2$, $\sin \alpha = 0.6$ 。求：

- (1) 金属棒在磁场中运动时所受安培力的大小；
- (2) 金属棒的质量以及金属棒与导体框之间的动摩擦因数；
- (3) 导体框匀速运动的距离。



【答案】(1) 0.18N ；(2) $m = 0.02\text{kg}$ ， $\mu = \frac{3}{8}$ ；(3) $x_2 = \frac{5}{18}\text{m}$

【解析】(1) 根据题意可得金属棒和导体框在没有进入磁场时一起做匀加速直线运动，由动能定理可得

$$(M + m)gs_1 \sin \alpha = \frac{1}{2}(M + m)v_0^2$$

代入数据解得

$$v_0 = \frac{3}{2}\text{m/s}$$

金属棒在磁场中切割磁场产生感应电动势，由法拉第电磁感应定律可得

$$E = BLv_0$$

由闭合回路的欧姆定律可得

$$I = \frac{E}{R}$$

则导体棒刚进入磁场时受到的安培力为

$$F_{\text{安}} = BIL = 0.18\text{N}$$

(2) 金属棒进入磁场以后因为瞬间受到安培力的作用，根据楞次定律可知金属棒的安培力沿斜面向上，之后金属棒相对导体框向上运动，因此金属棒受到导体框给的沿斜面向下的滑动摩擦力，因匀速运动，可有

$$mg \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha = F_{\text{安}} \text{ 得 } \mu = (9 - 300m) / 400m \quad (1)$$

此时导体框向下做匀加速运动，根据牛顿第二定律可得

$$Mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha = Ma \text{ 得 } a = 100m + 3 \quad (2)$$

设磁场区域的宽度为 x ，则金属棒在磁场中运动的时间为

$$t = \frac{x}{v_0} \quad (3)$$

则此时导体框的速度为 $v_1 = v_0 + at$ 得 $1.5 + 2x + 200mx/3 \quad (4)$

则导体框的位移

$$x_1 = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \text{ 得 } x_1 = x + 200mx^2/9 + 2x^2/3 \quad (5)$$

因此导体框和金属棒的相对位移为

$$\Delta x = x_1 - x = \frac{1}{2} at^2 \text{ 得 } \Delta x = \frac{200}{9} mx^2 + \frac{2}{3} x^2 \quad (6)$$

由题意当金属棒离开磁场时金属框的上端 EF 刚好进入线框，则有位移关系

$$s_0 - \Delta x = x \text{ 得 } 0.4 - \frac{200}{9} mx^2 - \frac{2}{3} x^2 = x \quad (7)$$

金属框进入磁场时匀速运动，此时的电动势为

$$E_1 = BLv_1, \quad I_1 = \frac{BLv_1}{R} \quad (8)$$

导体框受到向上的安培力和滑动摩擦力，因此可得

$$Mg \sin \alpha = \mu mg \cos \alpha + BI_1 L \quad (9)$$

$$(8) \text{ 代入 } (9) \text{ 得 } Mg \sin \alpha = \mu mg \cos \alpha + \frac{B^2 L^2 v_1}{R} \quad (10)$$

$$\text{代入已知数据解得 } m = \frac{0.24x}{6 - 8x} \quad (11)$$

将 (11) 式代入 (7) 式解得

$$108x^2 + 82.8x - 21.6 = 0 \text{ (幸亏 } x^3 \text{ 项被消去)}$$

解此关于 x 的一元二次方程得

$$x = 0.344m \text{ 约等于 } x = 0.3m \quad (12)$$

将 (12) 式代入 (11) 式得 $m = 0.02kg \quad (13)$

将 (13) 式代入 (2) 式得 $a = 5m/s^2$

将(13)式代入(1)式得 $\mu = \frac{3}{8}$

概括之：联立以上可得 $x = 0.3\text{m}$ ， $a = 5\text{m/s}^2$ ， $m = 0.02\text{kg}$ ， $\mu = \frac{3}{8}$

我也试图把(11)式改为 $x = \frac{6m}{8m + 0.24}$ 代入(7)式先求 m ，因为出现了 x^4 项而不成功。

我解这道题用了 10 几张草稿纸，用计算器还用了半天的时间，考生在考场上怎么能解得出来呢？

(3) 金属棒出磁场以后，速度小于导体框的速度，因此受到向下的摩擦力，做加速运动，

则有 $mg \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha = ma_1$ 解得 $a_1 = 9\text{m/s}^2$

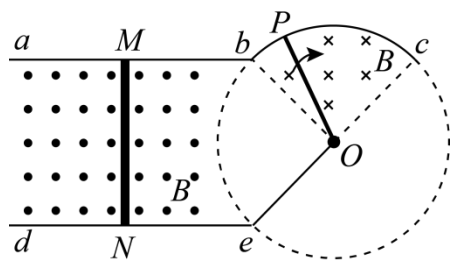
金属棒向下加速，导体框匀速，当共速时导体框不再匀速，则有 $v_0 + a_1 t_1 = v_1$ 解得 $t_1 = \frac{v_1 - v_0}{a}$

由(4)式解得 $v_1 = 2.5\text{m/s}$ ，代入上式得 $t_1 = 1/9(\text{s})$

导体框匀速运动的距离为 $x_2 = v_1 t_1$

代入数据解得 $x_2 = \frac{2.5}{9}\text{m} = \frac{5}{18}\text{m}$

15. 2021 广东卷第 10 题. 如图所示，水平放置足够长光滑金属导轨 abc 和 de ， ab 与 de 平行， bc 是以 O 为圆心的圆弧导轨，圆弧 be 左侧和扇形 Obc 内有方向如图的匀强磁场，金属杆 OP 的 O 端与 e 点用导线相接， P 端与圆弧 bc 接触良好，初始时，可滑动的金属杆 MN 静止在平行导轨上，若杆 OP 绕 O 点在匀强磁场区内从 b 到 c 匀速转动时，回路中始终有电流，则此过程中，下列说法正确的有 ()



- A. 杆 OP 产生的感应电动势恒定
- B. 杆 OP 受到的安培力不变
- C. 杆 MN 做匀加速直线运动
- D. 杆 MN 中的电流逐渐减小

【答案】AD

【解析】A. OP 转动切割磁感线产生的感应电动势为

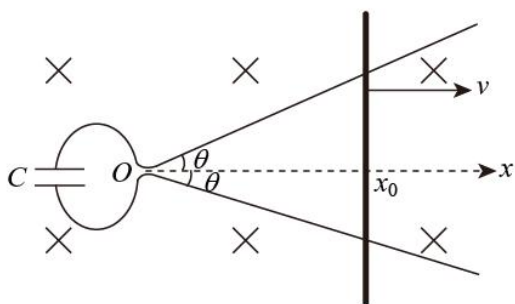
$$E = \frac{1}{2} Br^2 \omega$$

因为 OP 匀速转动，所以杆 OP 产生的感应电动势恒定，故 A 正确；

BCD. 杆 OP 匀速转动产生的感应电动势产生的感应电流由 M 到 N 通过 MN 棒，由左手定则可知， MN 棒会向左运动， MN 棒运动会切割磁感线，产生电动势与原来电流方向相反，让回路电流减小， MN 棒所受合力为安培力，电流减小，安培力会减小，加速度减小，故 D 正确，BC 错误。

故选 AD。

16. 2021 河北卷第 7 题. 如图，两光滑导轨水平放置在竖直向下的匀强磁场中，磁感应强度大小为 B ，导轨间距最窄处为一狭缝，取狭缝所在处 O 点为坐标原点，狭缝右侧两导轨与 x 轴夹角均为 θ ，一电容为 C 的电容器与导轨左端相连，导轨上的金属棒与 x 轴垂直，在外力 F 作用下从 O 点开始以速度 v 向右匀速运动，忽略所有电阻，下列说法正确的是（ ）



- A. 通过金属棒的电流为 $2BCv^2 \tan \theta$
- B. 金属棒到达 x_0 时，电容器极板上的电荷量为 $BCvx_0 \tan \theta$
- C. 金属棒运动过程中，电容器的上极板带负电
- D. 金属棒运动过程中，外力 F 做功的功率恒定

【答案】A

【解析】C. 根据楞次定律可知电容器的上极板应带正电，C 错误；

A. 由题知导体棒匀速切割磁感线，根据几何关系切割长度为

$$L = 2x \tan \theta, \quad x = vt$$

则产生的感应电动势为

$$E = 2Bv^2 t \tan \theta$$

由题图可知电容器直接与电源相连，则电容器的电荷量为

$$Q = CE = 2BCv^2 t \tan \theta$$

则流过导体棒的电流

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = 2BCv^2 \tan \theta$$

A 正确；

B. 当金属棒到达 x_0 处时，导体棒产生的感应电动势为

$$E' = 2Bvx_0 \tan \theta$$

则电容器的电荷量为

$$Q = CE' = 2BCvx_0 \tan \theta$$

B 错误；

D. 由于导体棒做匀速运动则

$$F = F_{\text{安}} = BIL$$

由选项 A 可知流过导体棒的电流 I 恒定，但 L 与 t 成正比，则 F 为变力，再根据力做功的功率公式

$$P = Fv$$

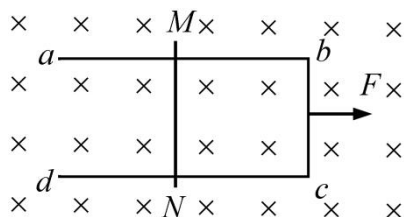
可看出 F 为变力， v 不变则功率 P 随力 F 变化而变化；

D 错误；

故选 A。

17.2020 全国 1 卷第 8 题

8.如图，U 形光滑金属框 $abcd$ 置于水平绝缘平台上， ab 和 dc 边平行，和 bc 边垂直。 ab 、 dc 足够长，整个金属框电阻可忽略。一根具有一定电阻的导体棒 MN 置于金属框上，用水平恒力 F 向右拉动金属框，运动过程中，装置始终处于竖直向下的匀强磁场中， MN 与金属框保持良好接触，且与 bc 边保持平行。经过一段时间后（ ）



A. 金属框的速度大小趋于恒定值

- B. 金属框的加速度大小趋于恒定值
C. 导体棒所受安培力的大小趋于恒定值
D. 导体棒到金属框 bc 边的距离趋于恒定值

【答案】BC

【解析】

由 bc 边切割磁感线产生电动势，形成电流，使得导体棒 MN 受到向右的安培力，做加速运动， bc 边受到向左的安培力，向右做加速运动。当 MN 运动时，金属框的 bc 边和导体棒 MN 一起切割磁感线，设导体棒 MN 和金属框的速度分别为 v_1 、 v_2 ，则电路中的电动势

$$E = BL(v_2 - v_1)$$

$$\text{电路中的电流 } I = \frac{E}{R} = \frac{BL(v_2 - v_1)}{R}$$

$$\text{金属框和导体棒 } MN \text{ 受到的安培力 } F_{\text{安框}} = \frac{B^2 L^2 (v_2 - v_1)}{R}, \text{ 与运动方向相反}$$

$$F_{\text{安MN}} = \frac{B^2 L^2 (v_2 - v_1)}{R}, \text{ 与运动方向相同}$$

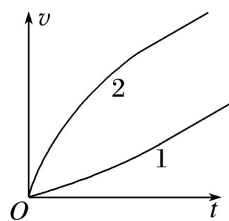
$$\text{设导体棒 } MN \text{ 和金属框的质量分别为 } m_1、m_2, \text{ 则对导体棒 } MN \frac{B^2 L^2 (v_2 - v_1)}{R} = m_1 a_1$$

$$\text{对金属框 } F - \frac{B^2 L^2 (v_2 - v_1)}{R} = m_2 a_2$$

初始速度均为零，则 a_1 从零开始逐渐增加， a_2 从 $\frac{F}{m_2}$ 开始逐渐减小。当 $a_1 = a_2$ 时，相对速度

$$v_2 - v_1 = \frac{FRm_1}{B^2 L^2 (m_1 + m_2)}$$

大小恒定。整个运动过程用速度时间图象描述如下。



综上可得，金属框的加速度趋于恒定值，安培力也趋于恒定值，BC 选项正确；

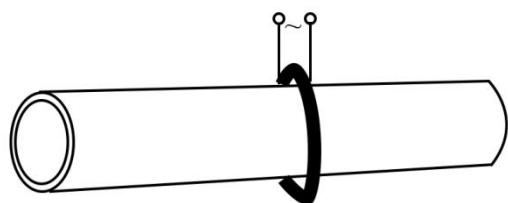
金属框的速度会一直增大，导体棒到金属框 bc 边的距离也会一直增大，AD 选项错误。

故选 BC。

可参考电力驱动实验。

18.2020 全国 2 卷第 1 题

1.管道高频焊机可以对由钢板卷成的圆管的接缝实施焊接。焊机的原理如图所示，圆管通过一个接有高频交流电源的线圈，线圈所产生的交变磁场使圆管中产生交变电流，电流产生的热量使接缝处的材料熔化将其焊接。焊接过程中所利用的电磁学规律的发现者为（ ）



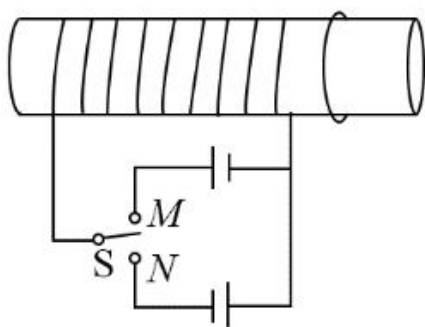
- A. 库仑 B. 霍尔 C. 洛伦兹 D. 法拉第

【答案】D

【解析】由题意可知，圆管为金属导体，导体内部自成闭合回路，且有电阻，当周围的线圈中产生出交变磁场时，就会在导体内部感应出涡电流，电流通过电阻要发热。该过程利用原理的是电磁感应现象，其发现者为法拉第。故选 D。

19.2020 全国 3 卷第 1 题

1.如图，水平放置的圆柱形光滑玻璃棒左边绕有一线圈，右边套有一金属圆环。圆环初始时静止。将图中开关 S 由断开状态拨至连接状态，电路接通的瞬间，可观察到（ ）



- A. 拨至 M 端或 N 端，圆环都向左运动
B. 拨至 M 端或 N 端，圆环都向右运动
C. 拨至 M 端时圆环向左运动，拨至 N 端时向右运动
D. 拨至 M 端时圆环向右运动，拨至 N 端时向左运动

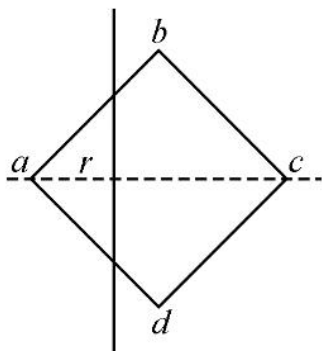
【答案】B

【解析】无论开关 S 拨至哪一端，当把电路接通一瞬间，左边线圈中的电流从无到有，电流在线圈轴线上的磁场从无到有，从而引起穿过圆环的磁通量突然增大，根据楞次定律（增反减同），右边圆环中产生了与左边线圈中方向相反的电流，异向电流相互排斥，所以无论哪种情况，圆环均向右运动。

故选 B。

20.2020 全国 3 卷第 11 题

11.如图，一边长为 l_0 的正方形金属框 $abcd$ 固定在水平面内，空间存在方向垂直于水平面、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场。一长度大于 $\sqrt{2}l_0$ 的均匀导体棒以速率 v 自左向右在金属框上匀速滑过，滑动过程中导体棒始终与 ac 垂直且中点位于 ac 上，导体棒与金属框接触良好。已知导体棒单位长度的电阻为 r ，金属框电阻可忽略。将导体棒与 a 点之间的距离记为 x ，求导体棒所受安培力的大小随 x ($0 \leq x \leq \sqrt{2}l_0$) 变化的关系式。



【答案】
$$F = \begin{cases} \frac{2B^2v}{r}x, & \left(0 \leq x \leq \frac{\sqrt{2}}{2}l_0\right) \\ \frac{2B^2v}{r}(\sqrt{2}l_0 - x), & \left(\frac{\sqrt{2}}{2}l_0 < x \leq \sqrt{2}l_0\right) \end{cases}$$

【解析】当导体棒与金属框接触的两点间棒的长度为 l 时，由法拉第电磁感应定律可知导体棒上感应电动势的大小为 $E = Blv$

由欧姆定律可知流过导体棒的感应电流为 $I = \frac{E}{R}$

式中 R 为这一段导体棒的电阻。按题意有 $R = rl$

此时导体棒所受安培力大小为 $F = BIl$

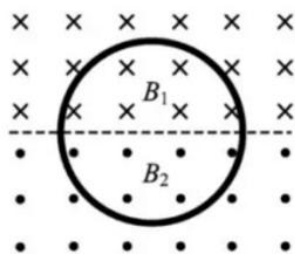
由题设和几何关系有 $l = \begin{cases} 2x, & \left(0 \leq x \leq \frac{\sqrt{2}}{2} l_0 \right) \\ 2(\sqrt{2} l_0 - x), & \left(\frac{\sqrt{2}}{2} l_0 < x \leq \sqrt{2} l_0 \right) \end{cases}$

联立各式得 $F = \begin{cases} \frac{2B^2 v}{r} x, & \left(0 \leq x \leq \frac{\sqrt{2}}{2} l_0 \right) \\ \frac{2B^2 v}{r} (\sqrt{2} l_0 - x), & \left(\frac{\sqrt{2}}{2} l_0 < x \leq \sqrt{2} l_0 \right) \end{cases}$

难点：要分段计算，结果两个式子。

21.2020 江苏省卷第 3 题

3. 如图所示，两匀强磁场的磁感应强度 B_1 和 B_2 大小相等、方向相反。金属圆环的直径与两磁场的边界重合。下列变化会在环中产生顺时针方向感应电流的是（ ）



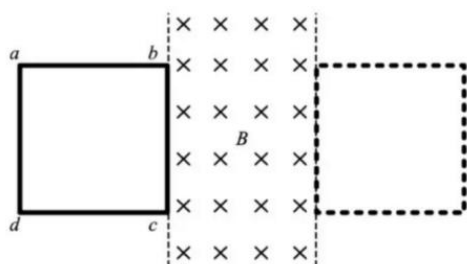
- A. 同时增大 B_1 减小 B_2
- B. 同时减小 B_1 增大 B_2
- C. 同时以相同的变化率增大 B_1 和 B_2
- D. 同时以相同的变化率减小 B_1 和 B_2

【答案】3. B

【解析】根据楞次定律判断 B 正确。其余错误。

22.2020 江苏省卷第 14 题

14. (15 分) 如图所示，电阻为 0.1Ω 的正方形单匝线圈 $abcd$ 的边长为 0.2m ， bc 边与匀强磁场边缘重合。磁场的宽度等于线圈的边长，磁感应强度大小为 0.5T 。在水平拉力作用下，线圈以 8m/s 的速度向右穿过磁场区域。求线圈在上述过程中



- (1) 感应电动势的大小 E ;
- (2) 所受拉力的大小 F ;
- (3) 感应电流产生的热量 Q .

14. (1) 感应电动势 $E = Blv$ 代入数据得 $E = 0.8V$

(2) 感应电流 $I = \frac{E}{R}$ 拉力的大小等于安培力 $F = BIl$

解得 $F = \frac{B^2 l^2 v}{R}$, 代入数据得 $F = 0.8N$

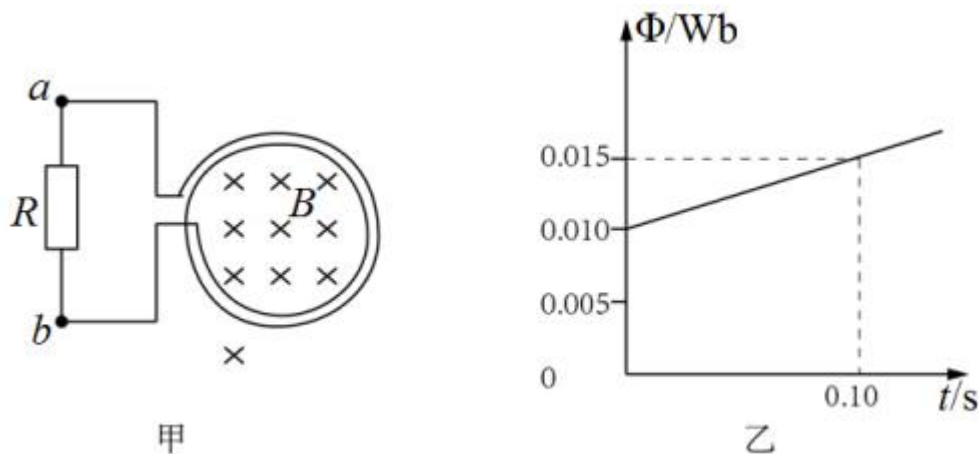
(3) 运动时间 $t = \frac{2l}{v}$ 焦耳定律 $Q = I^2 R t$

解得 $Q = \frac{2B^2 l^3 v}{R}$, 代入数据得 $Q = 0.32J$

23.2020 北京卷第 18 题

18. 如图甲所示, $N = 200$ 匝的线圈(图中只画了 2 匝), 电阻 $r = 2\Omega$, 其两端与一个 $R = 48\Omega$ 的电阻相连, 线圈内有指向纸内方向的磁场。线圈中的磁通量按图乙所示规律变化。

- (1) 判断通过电阻 R 的电流方向;
- (2) 求线圈产生的感应电动势 E ;
- (3) 求电阻 R 两端的电压 U 。



【答案】(1) $a \rightarrow b$ ；(2) 10V；(3) 9.6V

【解析】(1) 根据图像可知，线圈中垂直于纸面向里的磁场增大，为了阻碍线圈中磁通量的增大，根据楞次定律可知线圈中感应电流产生的磁场垂直于纸面向外，根据安培定则可知线圈中的感应电流为逆时针方向，所通过电阻 R 的电流方向为 $a \rightarrow b$ 。

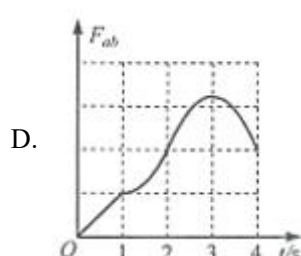
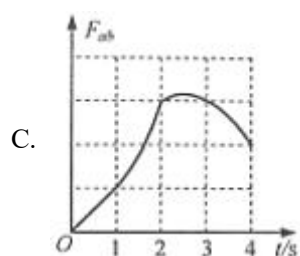
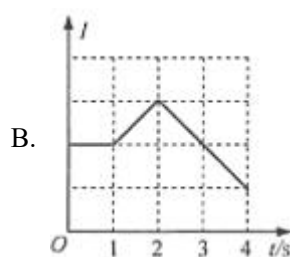
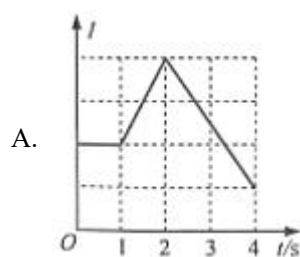
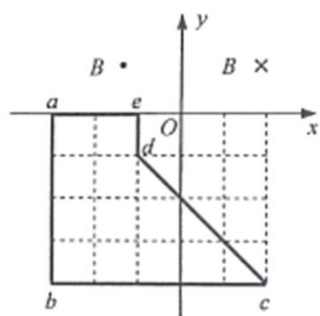
(2) 根据法拉第电磁感应定律 $E = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = 200 \times \frac{0.015 - 0.010}{0.10} \text{ V} = 10 \text{ V}$

(3) 电阻 R 两端的电压为路端电压，根据分压规律可知

$$U = \frac{R}{R + r} E = \frac{48}{48 + 2} \times 10 \text{ V} = 9.6 \text{ V}。$$

24.2020 山东卷第 12 题

12. 如图所示，平面直角坐标系的第一和第二象限分别存在磁感应强度大小相等、方向相反且垂直于坐标平面的匀强磁场，图中虚线方格为等大正方形。一位于 Oxy 平面内的刚性导体框 $abcde$ 在外力作用下以恒定速度沿 y 轴正方向运动（不发生转动）。从图示位置开始计时，4s 末 bc 边刚好进入磁场。在此过程中，导体框内感应电流的大小为 I ， ab 边所受安培力的大小为 F_{ab} ，二者与时间 t 的关系图像，可能正确的是（ ）



【答案】BC

【解析】AB. 因为 4s 末 bc 边刚好进入磁场，可知线框的速度每秒运动一个方格，故在 0~1s

内只有 ae 边切割磁场，设方格边长为 L ，根据 $E_1 = 2BLv$ ， $I_1 = \frac{E_1}{R}$

可知电流恒定；2s 末时线框在第二象限长度最长，此时有 $E_2 = 3BLv$ ， $I_2 = \frac{E_2}{R}$ ，可知

$$I_2 = \frac{3}{2}I_1$$

2~4s 线框有一部分进入第一象限，电流减小，在 4s 末同理可得 $I_3 = \frac{1}{2}I_1$

综上分析可知 A 错误，B 正确；

CD. 根据 $F_{ab} = BIL_{ab}$

可知在 0~1s 内 ab 边所受的安培力线性增加；1s 末安培力为 $F_{ab} = BI_1L$

在 2s 末可得安培力为 $F_{ab} = B \cdot \frac{3}{2}I_1 \cdot 2L = 3F_{ab}$

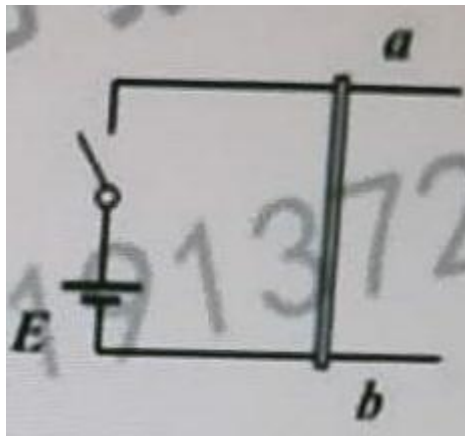
由图像可知 C 正确，D 错误。

故选 BC。

25.2020 上海等级考第 7 题

7. 如图所示, 接有直流电源 E 的光滑金属导轨水平放置。导轨间存在垂直于纸面向外的磁场, 电阻不可忽略的导体棒 ab 静止于导轨上, 当电键 S 闭合的瞬间, 导体棒()

- (A) 向左移动 (B) 向右移动 (C) 上下弹跳 (D) 保持不动



[答案]A

【解析】电流从 a 向 b , 根据左手定则, 导体棒受安培力向左, 所以向左移动。

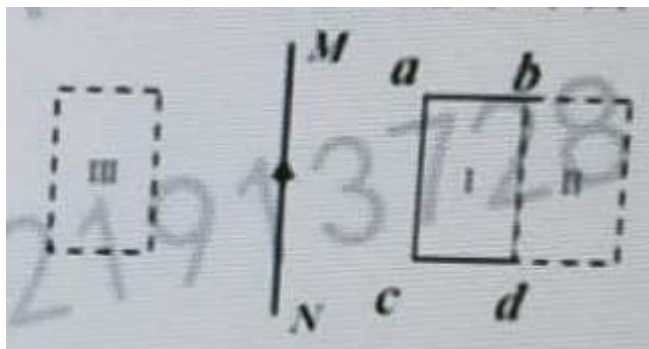
[考察知识] 楞次定律,

[核心素养] 物理观念

26.2020 上海等级考第 8 题

8. 如图所示, 线框 $abcd$ 与通有恒定电流的长直导线 MN 共面, 线框从图示位置 I 按以下四种方式运动, 磁通量变化的绝对值最大的是()

- (A) 平移到位置 II
(B) 以 bd 为转轴转到位置 II
(C) 以 MN 为转轴转到位置 III
(D) 平移到以 MN 为对称轴的位置 III



[答案] D

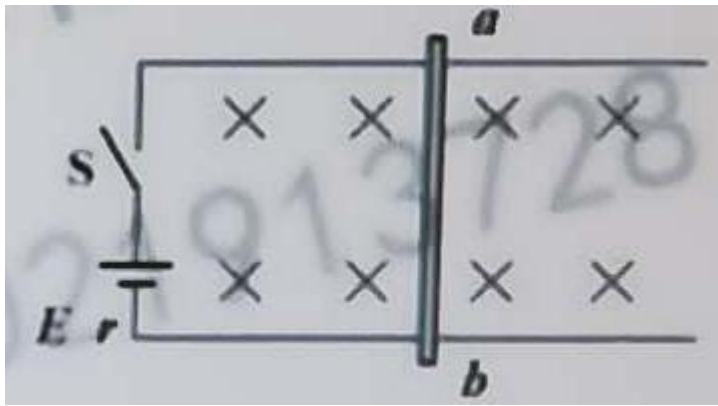
【解析】平移到以 MN 为对称轴的位置 III，磁通量方向相反，磁通量的变化是原来磁通量的 2 倍。变化量最大。

[考察知识]磁通量。

[核心素养]科学思维(改变磁通量的分析)

27.2020 上海等级考第 19 题

19、(15 分)如图所示，足够长的光滑金属导轨宽 $L=0.5\text{m}$ ，电阻不计。左端接个电动势为 3V 的电源，整个装置处于匀强磁场中。现闭合电键 s ，质量为 0.1kg 的金属棒 ab 由静止开始运动，回路的电流逐渐减小，稳定后感应电动势为 E ，回路的电流为 0 ，从闭合电键到逐渐稳定的过程中，电源提供的能量 $E=10\text{J}$ ，电源、导体棒产生的焦耳热分别是 $Q_1=0.5\text{J}$ 、 $Q_2=4.5\text{J}$ 。



- (1)求内阻 r 和电阻 R 的阻值之比。
- (2)求导体棒稳定时的速度和匀强磁场磁感应强度，
- (3)分析电键闭合后导体棒的运动情况和能量的转化关系

【解析】(1) 由内外电路电流相等，有

$$Q_1 = \bar{I}^2 (R + r)t = 0.5\text{J}$$

$$Q_2 = \bar{I}^2 R t = 4.5\text{J}$$

$$\text{解得: } \frac{r}{R} = \frac{1}{9}$$

(2) 能量守恒

$$E_{\text{总}} = Q_1 + Q_2 + \frac{1}{2}mv^2, \text{ 解得 } v = \sqrt{\frac{2 \times (10 - 0.5 - 4.5)}{0.1}} \text{ m/s} = 10 \text{ m/s}$$

$$\text{感应电动势 } E = BLv, \text{ 得 } B = \frac{E}{Lv} = \frac{3}{0.5 \times 10} \text{ T} = 0.6 \text{ T}.$$

(3) 闭合电键，导体棒中电流从 a 向 b ，根据左手定则，安培力向右，根据牛顿运动定律，

导体棒向右加速运动，随着速度增大，导体棒产生的电动势逐渐增大，因为感应电动势与电源电动势相反，电流逐渐减小，安培力逐渐减小，加速度逐渐减小。当感应电动势与电源电动势大小相等时，电流为 0。导体棒速度不变，达到稳定。

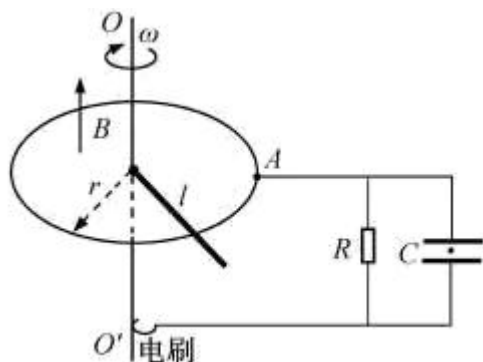
[考察知识]电磁感应综合

[核心素养]科学思维

[分析]本题与常规的电路题略有不同，有两个电源，一个是直流电源，一个是棒在切割磁感线时等效感生电源，而直流电源和感应电源在电路中产生两个方向相反的电流，所以在分析的时候需要注意与以往单根导体切割磁感线（没有外加电池）有所区别。

28.2020 浙江第 12 题

12. 如图所示，固定在水平面上的半径为 r 的金属圆环内存在方向竖直向上、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场。长为 l 的金属棒，一端与圆环接触良好，另一端固定在竖直导电转轴 OO' 上，随轴以角速度 ω 匀速转动。在圆环的 A 点和电刷间接有阻值为 R 的电阻和电容为 C 、板间距为 d 的平行板电容器，有一带电微粒在电容器极板间处于静止状态。已知重力加速度为 g ，不计其它电阻和摩擦，下列说法正确的是（ ）



- A. 棒产生的电动势为 $\frac{1}{2}Bl^2\omega$
- B. 微粒的电荷量与质量之比为 $\frac{2gd}{Br^2\omega}$
- C. 电阻消耗的电功率为 $\frac{\pi B^2 r^4 \omega}{2R}$
- D. 电容器所带的电荷量为 $CBr^2\omega$

【答案】B

【解析】A. 如图所示，金属棒绕 OO' 轴切割磁感线转动，棒产生的电动势

$$E = Br \cdot \frac{\omega r}{2} = \frac{1}{2} Br^2 \omega$$

A 错误；

B. 电容器两极板间电压等于电源电动势 E ，带电微粒在两极板间处于静止状态，则

$$q \frac{E}{d} = mg$$

$$\text{即 } \frac{q}{m} = \frac{dg}{E} = \frac{dg}{\frac{1}{2} Br^2 \omega} = \frac{2dg}{Br^2 \omega}, \text{ B 正确；}$$

$$\text{C. 电阻消耗的功率 } P = \frac{E^2}{R} = \frac{B^2 r^4 \omega^2}{4R}, \text{ C 错误；}$$

$$\text{D. 电容器所带的电荷量 } Q = CE = \frac{CBr^2 \omega}{2}, \text{ D 错误。}$$

故选 B。

29.2020 浙江第 22 题

22.如图 1 所示，在绝缘光滑水平桌面上，以 O 为原点、水平向右为正方向建立 x 轴，在 $0 \leq x \leq 1.0\text{m}$ 区域内存在方向竖直向上的匀强磁场。桌面上有一边长 $L = 0.5\text{m}$ 、电阻 $R = 0.25\Omega$ 的正方形线框 $abcd$ ，当平行于磁场边界的 cd 边进入磁场时，在沿 x 方向的外力 F 作用下以 $v = 1.0\text{m/s}$ 的速度做匀速运动，直到 ab 边进入磁场时撤去外力。若以 cd 边进入磁场时作为计时起点，在 $0 \leq t \leq 1.0\text{s}$ 内磁感应强度 B 的大小与时间 t 的关系如图 2 所示，在 $0 \leq t \leq 1.3\text{s}$ 内线框始终做匀速运动。

(1)求外力 F 的大小；

(2)在 $1.0\text{s} \leq t \leq 1.3\text{s}$ 内存在连续变化的磁场，求磁感应强度 B 的大小与时间 t 的关系；

(3)求在 $0 \leq t \leq 1.3\text{s}$ 内流过导线横截面的电荷量 q 。

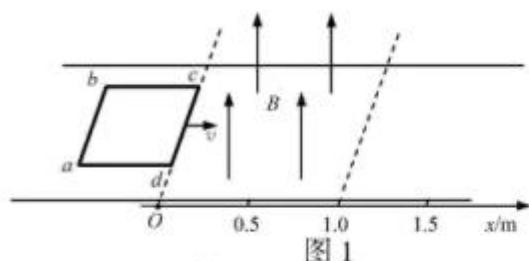


图 1

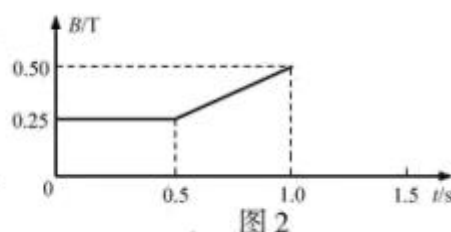


图 2

【答案】(1) 0.0625N ；(2) $B = \frac{1}{6-4t}$ ；(3) 0.5C

【解析】(1)由图 2 可知 $t_0 = 0, B_0 = 0.25\text{T}$ ，则回路电流 $I = \frac{B_0Lv}{R}$

$$\text{安培力 } F_A = \frac{B_0^2 L^2}{R} v$$

$$\text{所以外力 } F = F_A = 0.0625\text{N}$$

(2)匀速出磁场，电流为 0，磁通量不变 $\Phi_1 = \Phi$ ， $t_1 = 1.0\text{s}$ 时， $B_1 = 0.5\text{T}$ ，磁通量 $\Phi_1 = B_1 L^2$ ，

$$\text{则 } t \text{ 时刻，磁通量 } \Phi = BL[L - v(t - t_1)]，\text{解得 } B = \frac{1}{6 - 4t}$$

$$(3) 0 \leq t \leq 0.5\text{s} \text{ 电荷量 } q_1 = \frac{B_0 L^2}{R} = 0.25\text{C}$$

$$0.5\text{s} \leq t \leq 1.0\text{s} \text{ 电荷量 } q_2 = \frac{B_1 L^2 - B_0 L^2}{R} = 0.25\text{C}$$

$$\text{总电荷量 } q = q_1 + q_2 = 0.5\text{C}。$$

30.. 2019全国1卷20题. 空间存在一方向与直面垂直、大小随时间变化的匀强磁场，其边界

如图 (a) 中虚线MN所示，一硬质细导线的电阻率为 ρ 、横截面积为 S ，将该导线做成半径为 r 的圆环固定在纸面内，圆心 O 在MN上。 $t=0$ 时磁感应强度的方向如图 (a) 所示：

磁感应强度 B 随时间 t 的变化关系如图 (b) 所示，则在 $t=0$ 到 $t=t_1$ 的时间间隔内

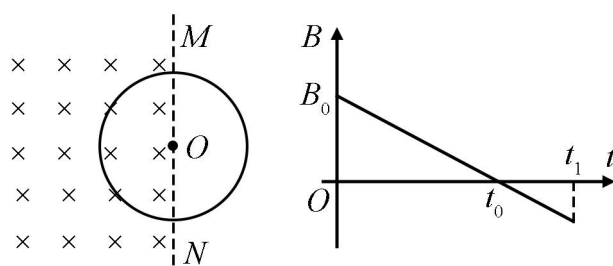


图 (a)

图 (b)

A. 圆环所受安培力的方向始终不变

B. 圆环中的感应电流始终沿顺时针方向

C. 圆环中的感应电流大小为 $\frac{B_0 r S}{4 t_0 \rho}$

D. 圆环中的感应电动势大小为 $\frac{B_0 \pi r^2}{4 t_0}$

【答案】 20. BC

【解析】根据楞次定律，圆环中的感应电流始终沿顺时针方向，B正确；根据左手定则，圆环所受安培力的方向先向左后向右，A错误；根据法拉第电磁感应定律，圆环中的感应

电动势大小为 $E = \frac{\Delta B}{\Delta t} \cdot S = \frac{1}{2} \pi r^2 \cdot \frac{B_0}{t_0} = \frac{B_0 \pi r^2}{2t_0}$ ，D错误；根据欧姆定律，圆环中的感应

电流大小 $I = \frac{E}{R}$ ，其中 $R = \rho \frac{2\pi r}{S}$ ，得 $I = \frac{B_0 r S}{4t_0 \rho}$ ，C正确。

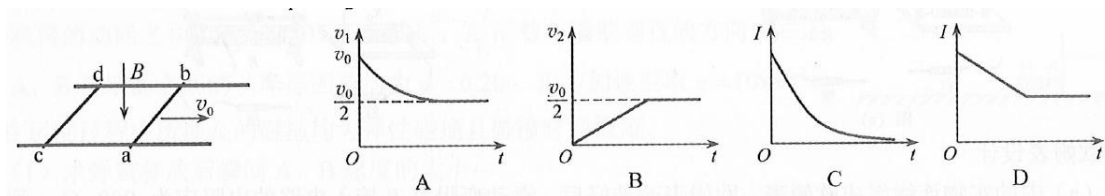
31. 2019年全国3卷14题. 楞次定律是下列哪个定律在电磁感应现象中的具体体现？

- A. 电阻定律 B. 库仑定律
C. 欧姆定律 D. 能量守恒定律

【答案】 14. D

【解析】楞次定律的“增反减同”是能量守恒定律在电磁感应现象中的具体体现。

32. 2019年全国3卷19题. 如图，方向竖直向下的匀强磁场中有两根位于同一水平面内的足够长的平行金属导轨，两相同的光滑导体棒ab、cd静止在导轨上。 $t=0$ 时，棒ab以初速度 v_0 向右滑动。运动过程中，ab、cd始终与导轨垂直并接触良好，两者速度分别用 v_1 、 v_2 表示，回路中的电流用 I 表示。下列图像中可能正确的是



【答案】 19. AC

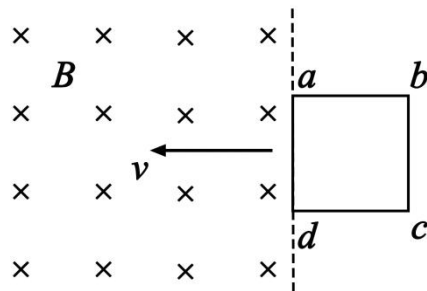
【解析】因为感应电流，ab 受安培力作用，速度 v_1 不断减小，根据动量守恒， $mv_0 = 2mv'$ ，

$v' = \frac{v_0}{2}$ ，所以 A 正确 B 错误；感应电动势 $E = BL(v_1 - v_2)$ ，电流 $I = \frac{E}{R} = \frac{BL(v_1 - v_2)}{R}$ ，

随着速度减小，感应电流 I 减小但不是线性的，所以 C 正确 D 错误。

33.. 2019年北京卷22题. (16分)

如图所示，垂直于纸面的匀强磁场磁感应强度为 B 。纸面内有一正方形均匀金属线框abcd，其边长为 L ，总电阻为 R ，ad边与磁场边界平行。从ad边刚进入磁场直至bc边刚要进入的过程中，线框在向左的拉力作用下以速度 v 匀速运动，求：



- (1) 感应电动势的大小 E ;
- (2) 拉力做功的功率 P ;
- (3) ab 边产生的焦耳热 Q 。

【答案】22. (16分)

(1) 由法拉第电磁感应定律可得，感应电动势 $E = BLv$

(2) 线圈中的感应电流 $I = \frac{E}{R}$

拉力大小等于安培力大小 $F = BIL$

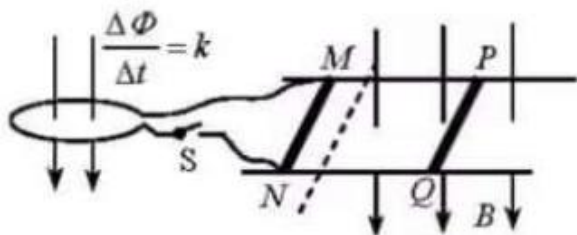
拉力的功率 $P = Fv = \frac{B^2 L^2 v^2}{R}$

(3) 线圈 ab 边电阻 $R_{ab} = \frac{R}{4}$

时间 $t = \frac{L}{v}$

ab 边产生的焦耳热 $Q = I^2 R_{ab} t = \frac{B^2 L^3 v}{4R}$

34. 2019 年天津卷 11 题. (18 分) 如图所示，固定在水平面上间距为 l 的两条平行光滑金属导轨，垂直于导轨放置的两根金属棒 MN 和 PQ 长度也为 l 、电阻均为 R ，两棒与导轨始终接触良好。 MN 两端通过开关 S 与电阻为 R 的单匝金属线圈相连，线圈内存在竖直向下均匀增加的磁场，磁通量变化率为常量 k 。图中虚线右侧有垂直于导轨平面向下的匀强磁场，磁感应强度大小为 B 。 PQ 的质量为 m ，金属导轨足够长，电阻忽略不计。



- (1) 闭合 S ，若使 PQ 保持静止，需在其上加多大的水平恒力 F ，并指出其方向；

(2) 断开 S, PQ 在上述恒力作用下, 由静止开始到速度大小为 v 的加速过程中流过 PQ 的电荷量为 q , 求该过程安培力做的功 W 。

【答案】

11. (18 分)

(1) 设线圈中的感应电动势为 E , 由法拉第电磁感应定律 $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, 则

$$E = k \quad (1)$$

设 PQ 与 MN 并联的电阻为 $R_{\text{并}}$, 有

$$R_{\text{并}} = \frac{R}{2} \quad (2)$$

闭合 S 时, 设线圈中的电流为 I , 根据闭合电路欧姆定律得

$$I = \frac{E}{R_{\text{并}} + R} \quad (3)$$

设 PQ 中的电流为 I_{PQ} , 有

$$I_{PQ} = \frac{1}{2}I \quad (4)$$

设 PQ 受到的安培力为 $F_{\text{安}}$, 有

$$F_{\text{安}} = BI_{PQ}l \quad (5)$$

保持 PQ 静止, 由受力平衡, 有

$$F = F_{\text{安}} \quad (6)$$

联立①②③④⑤⑥式得

$$F = \frac{Bkl}{3R} \quad (7)$$

方向水平向右。

(2) 设 PQ 由静止开始到速度大小为 v 的加速过程中, PQ 运动的位移为 x , 所用时间为 Δt ,

回路中的磁通量变化为 $\Delta\Phi$, 平均感应电动势为 $\bar{E}$, 有

$$\bar{E} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (8)$$

其中

$$\Delta\Phi = Blx \quad (9)$$

设 PQ 中的平均电流为 $\bar{I}$ ，有

$$\bar{I} = \frac{\bar{E}}{2R} \quad (10)$$

根据电流的定义得

$$\bar{I} = \frac{q}{\Delta t} \quad (11)$$

由动能定理，有

$$Fx + W = \frac{1}{2}mv^2 - 0 \quad (12)$$

联立⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬式得

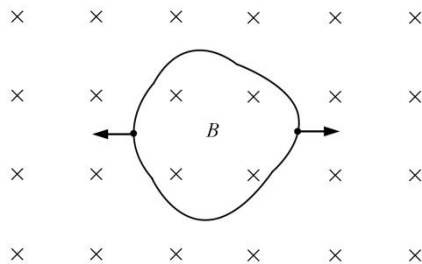
$$W = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{2}{3}kq \quad (13)$$

【解析】 $q = \bar{I} \Delta t = \frac{\bar{E}}{2R} \Delta t = \frac{\Delta\Phi}{2R} = \frac{Blx}{2R}$ ，所以 $x = \frac{2Rq}{Bl}$ ，又 $F = \frac{Bkl}{3R}$ ，代入 12 式得

$$W = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{2}{3}kq。$$

35. 2019年江苏卷14题. (15分) 如图所示，匀强磁场中有一个用软导线制成的单匝闭合线圈，线圈平面与磁场垂直。已知线圈的面积 $S=0.3 \text{ m}^2$ 、电阻 $R=0.6 \Omega$ ，磁场的磁感应强度 $B=0.2 \text{ T}$ 。现同时向两侧拉动线圈，线圈的两边在 $\Delta t=0.5 \text{ s}$ 时间内合到一起。求线圈在上述过程中

- (1) 感应电动势的平均值 E ；
- (2) 感应电流的平均值 I ，并在图中标出电流方向；
- (3) 通过导线横截面的电荷量 q 。



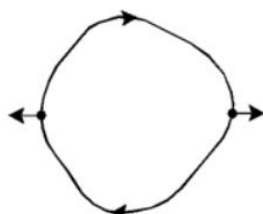
【答案】14. (1) 感应电动势的平均值 $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

磁通量的变化 $\Delta\Phi = B\Delta S$

解得 $E = \frac{B\Delta S}{\Delta t}$ ，代入数据得 $E = 0.12 \text{ V}$

(2) 平均电流 $I = \frac{E}{R}$

代入数据得 $I = 0.2 \text{ A}$ (电流方向见图3)

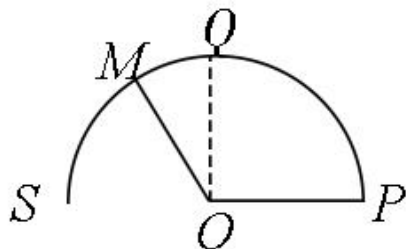


(图3)

(3) 电荷量 $q = I\Delta t$ 代入数据得 $q = 0.1 \text{ C}$

36.2018 年全国卷 17 题. 如图，导体轨道 $OPQS$ 固定，其中 PQS 是半圆弧， Q 为半圆弧的中心， O 为圆心。轨道的电阻忽略不计。 OM 是有一定电阻、可绕 O 转动的金属杆。 M 端位于 PQS 上， OM 与轨道接触良好。空间存在与半圆所在平面垂直的匀强磁场，磁感应强度的大小为 B ，现使 OM 从 OQ 位置以恒定的角速度逆时针转到 OS 位置并固定 (过程I)；再使磁感应强度的大小以一定的变化率从 B 增加到 B' (过程II)。在过程I、

II中，流过 OM 的电荷量相等，则 $\frac{B'}{B}$ 等于 A. $\frac{5}{4}$ B. $\frac{3}{2}$ C. $\frac{7}{4}$ D. 2

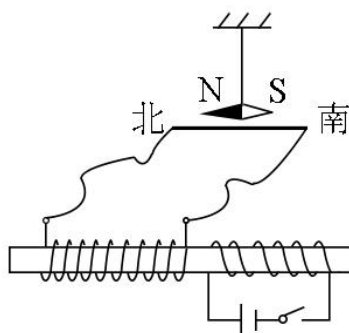


【解析】在过程I中 $q = \bar{I}t = \frac{E}{R}t = \frac{\Delta\Phi}{R} = \frac{B \cdot \frac{1}{4}\pi r^2}{R}$ ，在过程II中 $q = \frac{\Delta\Phi}{R} = \frac{(B' - B) \cdot \frac{1}{2}\pi r^2}{R}$

二者相等，解得 $\frac{B'}{B} = \frac{3}{2}$ 。

【答案】B

37.2018 年全国卷 19 题. 如图，两个线圈绕在同一根铁芯上，其中一线圈通过开关与电源连接，另一线圈与远处沿南北方向水平放置在纸面内的直导线连接成回路。将一小磁针悬挂在直导线正上方，开关未闭合时小磁针处于静止状态。下列说法正确的是



- A. 开关闭合后的瞬间，小磁针的 N 极朝垂直纸面向里的方向转动
- B. 开关闭合并保持一段时间后，小磁针的 N 极指向垂直纸面向里的方向
- C. 开关闭合并保持一段时间后，小磁针的 N 极指向垂直纸面向外的方向
- D. 开关闭合并保持一段时间再断开后的瞬间，小磁针的 N 极朝垂直纸面向外的方向转动

【解析】A. 开关闭合后的瞬间，铁芯内磁通量向右并增加，根据楞次定律，左线圈感应电流方向在直导线从南向北，其磁场在其上方向里，所以小磁针的 N 极朝垂直纸面向里的方向转动，A 正确；

B、C 直导线无电流，小磁针恢复图中方向。

D. 开关闭合并保持一段时间再断开后的瞬间，电流方向与 A 相反，小磁针的 N 极朝垂直纸面向外的方向转动，D 正确。

【答案】AD

38. 2018 年天津 12 题

12. 真空管道超高速列车的动力系统是一种将电能直接转换成平动动能的装置。

图 1 是某种动力系统的简化模型，图中粗实线表示固定在水平面上间距为 l 的两条平行光滑金属导轨，电阻忽略不计， ab 和 cd 是两根与导轨垂直，长度均为 l ，电阻均为 R 的金属棒，通过绝缘材料固定在列车底部，并与导轨良好接触，其间距也为 l ，列车的总质量为 m 。列车启动前， ab 、 cd 处于磁感应强度为 B 的匀强磁场中，磁场方向垂直于导轨平面向下，如图 1 所示，为使列车启动，需在 M 、 N 间连接电动势为 E 的直流电源，电源内阻及导线电阻忽略不计，列车启动后电源自动关闭。

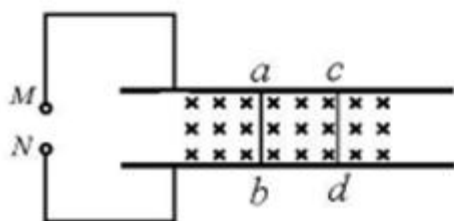


图 1

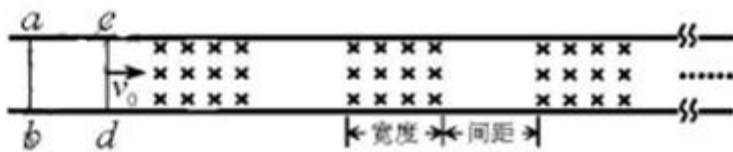


图 2

- (1) 要使列车向右运行，启动时图 1 中 M 、 N 哪个接电源正极，并简要说明理由；
 (2) 求刚接通电源时列车加速度 a 的大小；
 (3) 列车减速时，需在前方设置如图 2 所示的一系列磁感应强度为 B 的匀强磁场区域，
 磁场宽度和相邻磁场间距均大于 l 。若某时刻列车的速度为 v_0 ，此时 ab 、 cd 均在
 无磁场区域，试讨论：要使列车停下来，前方至少需要多少块这样的有界磁场？

【答案】

- 1 (1) M 接电源正极，列车要向右运动，安培力方向应向右，根据左手定则，接通电源后，
 金属棒中电流方向由 a 到 b ，由 c 到 d ，故 M 接电源正极。学#科网

- (2) 由题意，启动时 ab 、 cd 并联，设回路总电阻为 $R_{\text{总}}$ ，由电阻的串并联知识得 $R_{\text{总}} = \frac{R}{2}$

①；

设回路总电阻为 I ，根据闭合电路欧姆定律有 $I = \frac{E}{R_{\text{总}}}$ ②

设两根金属棒所受安培力之和为 F ，有 $F = BIl$ ③

根据牛顿第二定律有 $F = ma$ ④，联立①②③④式得 $a = \frac{2BEI}{mR}$ ⑤

(3) 设列车减速时， cd 进入磁场后经 Δt 时间 ab 恰好进入磁场，此过程中穿过两金属
 棒与导轨所围回路的磁通量的变化为 $\Delta\Phi$ ，平均感应电动势为 E_1 ，由法拉第电磁感应

定律有 $E_1 = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ⑥，其中 $\Delta\Phi = Bl^2$ ⑦；

设回路中平均电流为 I' ，由闭合电路欧姆定律有 $I' = \frac{E_1}{2R}$ ⑧

设 cd 受到的平均安培力为 F' ，有 $F' = I'lB$ ⑨

以向右为正方向，设 Δt 时间内 cd 受安培力冲量为 $I_{\text{冲}}$ ，有 $I_{\text{冲}} = -F'\Delta t$ ⑩

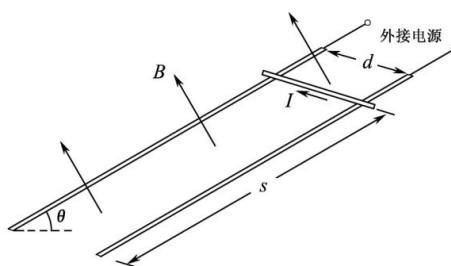
同理可知，回路出磁场时 ab 受安培力冲量仍为上述值，设回路进出一块有界磁场区域
 安培力冲量为 I_0 ，有 $I_0 = 2I_{\text{冲}}$ ⑪设列车停下来受到的总冲量为 $I_{\text{总}}$ ，由动量定理有

$$I_{\text{总}} = 0 - mv_0 \text{ 联立⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫式得 } \frac{I_{\text{总}}}{I_0} = \frac{mv_0 R}{B^2 l^3}。$$

讨论：若 $\frac{I_{\text{总}}}{I_0}$ 恰好为整数，设其为 n ，则需设置 n 块有界磁场，若 $\frac{I_{\text{总}}}{I_0}$ 不是整数，设 $\frac{I_{\text{总}}}{I_0}$

的整数部分为 N ，则需设置 $N+1$ 块有界磁场。

- 39. 2018 年江苏卷 13 题.** (15 分) 如图所示，两条平行的光滑金属导轨所在平面与水平面的夹角为 θ ，间距为 d 。导轨处于匀强磁场中，磁感应强度大小为 B ，方向与导轨平面垂直。质量为 m 的金属棒被固定在导轨上，距底端的距离为 s ，导轨与外接电源相连，使金属棒通有电流。金属棒被松开后，以加速度 a 沿导轨匀加速下滑，金属棒中的电流始终保持恒定，重力加速度为 g 。求下滑到底端的过程中，金属棒



- (1) 末速度的大小 v ;
- (2) 通过的电流大小 I ;
- (3) 通过的电荷量 Q .

【答案】13. (1) 匀加速直线运动 $v^2=2as$ 解得 $v=\sqrt{2as}$

(2) 安培力 $F_{\text{安}}=IdB$ 金属棒所受合力 $F=mgsin\theta-F_{\text{安}}$

牛顿运动定律 $F=ma$

$$\text{解得 } I = \frac{m(g\sin\theta - a)}{dB}$$

(3) 运动时间 $t = \frac{v}{a}$ 电荷量 $Q=It$

$$\text{解得 } Q = \frac{\sqrt{2asm}(g\sin\theta - a)}{dBa} \text{ [库]}$$

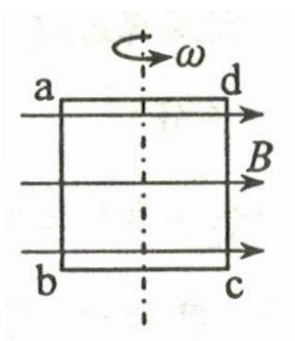
40. 2018 年海南卷第 7 题

7. 如图，在磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中，有一面积为 S 的矩形单匝闭合导线 $abcd$ ， ab 边与磁场方向垂直，线框的电阻为 R 。使线框以恒定角速度 ω 绕过 ad 、 bc 中点的轴旋转。下列说法正确的是

- A. 线框 $abcd$ 中感应电动势的最大值是 $BS\omega$
- B. 线框 $abcd$ 中感应电动势的有效值是 $BS\omega$

C.线框平面与磁场方向平行时，流经线框的电流最大

D.线框平面与磁场方向垂直时，流经线框的电流最大



【解析】最大值 $E_m = BS\omega$ ，平行时，速度与磁场垂直，最大。

【答案】AC
