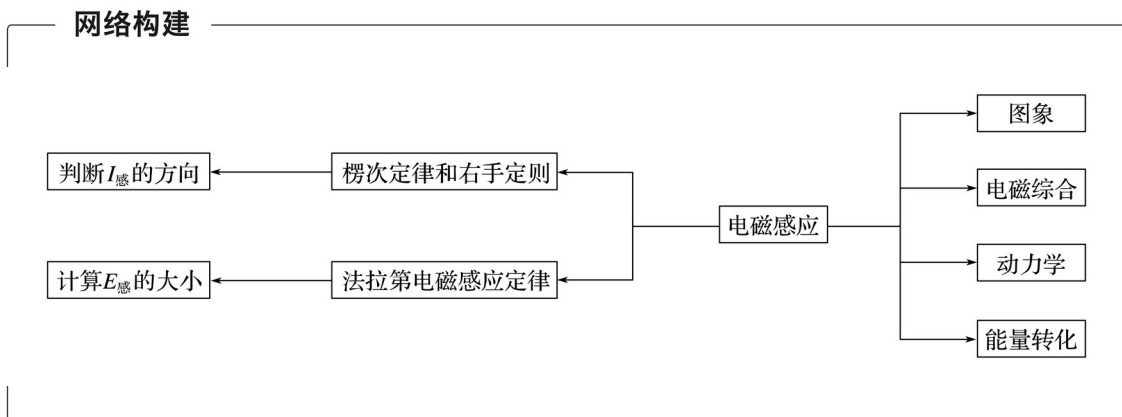




专题11 电磁感应规律及其应用



考题一 楞次定律和法拉第电磁感应定律的应用

知识精讲

1. 楞次定律中“阻碍”的主要表现形式

- (1) 阻碍原磁通量的变化——“增反减同”；
- (2) 阻碍相对运动——“来拒去留”；
- (3) 使线圈面积有扩大或缩小的趋势——“增缩减扩”；
- (4) 阻碍原电流的变化(自感现象)——“增反减同”。

2. 楞次定律和右手定则的适用对象

- (1) 楞次定律：一般适用于线圈面积不变，磁感应强度发生变化的情形。
- (2) 右手定则：一般适用于导体棒切割磁感线的情形。

3. 求感应电动势大小的五种类型

- (1) 磁通量变化型： $E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ 。
- (2) 磁感应强度变化型： $E = nS \frac{\Delta B}{\Delta t}$ 。
- (3) 面积变化型： $E = nB \frac{\Delta S}{\Delta t}$ 。
- (4) 平动切割型： $E = Blv$ 。
- (5) 转动切割型： $E = nBl^2\omega$ 。

注意：公式 $E = nS$ 中的 S 是垂直于磁场方向的有效面积。

典例剖析

例 1 (2016·浙江·16)如图 1 所示, a 、 b 两个闭合正方形线圈用同样的导线制成, 匝数均为 10 匝, 边长 $l_a = 3l_b$, 图示区域内有垂直纸面向里的匀强磁场, 且磁感应强度随时间均匀增大, 不考虑线圈之间的相互影响, 则()

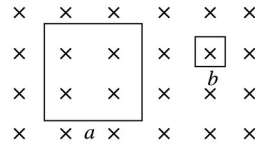


图 1

- A. 两线圈内产生顺时针方向的感应电流
- B. a 、 b 线圈中感应电动势之比为 9:1
- C. a 、 b 线圈中感应电流之比为 3:4
- D. a 、 b 线圈中电功率之比为 3:1

解析 根据楞次定律可知, 两线圈内均产生逆时针方向的感应电流, 选项 A 错误; 因磁感应强度随时间均匀增大, 设 $B = kt$, 根据法拉第电磁感应定律可得 $E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = n \frac{\Delta B \cdot S}{\Delta t} = n \cdot k \cdot S$, 则 $E \propto S$, 选项 B 正确; 根据 $I = \frac{E}{R} = \frac{n \cdot k \cdot S}{\rho \frac{l}{S}} = \frac{n \cdot k \cdot S^2}{\rho l}$ 可知, $I \propto \frac{S^2}{l}$, 故 a 、 b 线圈中感应电流之比为 3:1, 选项 C 错误; 电功率 $P = IE = n^2 k^2 \frac{S^3}{\rho l}$, 则 $P \propto \frac{S^3}{l}$, 故 a 、 b 线圈中电功率之比为 27:1, 选项 D 错误。

答案 B

【变式训练】

1. 如图 2 所示, a 、 b 、 c 三个线圈是同心圆, b 线圈上连接有直流电源 E 和开关 K , 则下列说法正确的是()

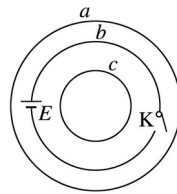


图 2

- A. 在 K 闭合的一瞬间, 线圈 a 中有逆时针方向的瞬时电流, 有收缩趋势
- B. 在 K 闭合的一瞬间, 线圈 c 中有顺时针方向的瞬时电流, 有收缩趋势
- C. 在 K 闭合电路稳定后, 再断开 K 的一瞬间, 线圈 c 中有感应电流, 线圈 a 中没有感应电流
- D. 在 K 闭合的一瞬间, 线圈 b 中有感应电动势; 在 K 闭合电路稳定后, 再断开 K 的一瞬间, 线圈 b 中仍然有感应电动势

答案 D

解析 K 闭合时线圈 b 中有顺时针的电流, 根据右手定则可知内部有向里增大的磁场, 则 a 线圈产生阻碍原磁通量变化的电流, 根据楞次定律可知, 电流方向为逆时针, 线圈受到向外

的安培力，故有扩张的趋势，故 A 错误；根据楞次定律可知， c 中感应电流为逆时针且有收缩的趋势，故 B 错误；在 K 闭合电路稳定后，再断开 K 的一瞬间，两线圈中均有磁通量的变化，故线圈中均有感应电流，故 C 错误；在 K 闭合的一瞬间，线圈 b 中有感应电动势；在 K 闭合电路稳定后，再断开 K 的一瞬间，线圈 b 中仍然有感应电动势，故 D 正确。

2.(2016·海南·4)如图 3，一圆形金属环与两固定的平行长直导线在同一竖直面内，环的圆心与两导线距离相等，环的直径小于两导线间距.两导线中通有大小相等、方向向下的恒定电流.若()

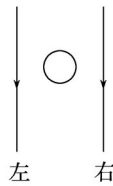


图 3

- A.金属环向上运动，则环上的感应电流方向为顺时针方向
- B.金属环向下运动，则环上的感应电流方向为顺时针方向
- C.金属环向左侧直导线靠近，则环上的感应电流方向为逆时针方向
- D.金属环向右侧直导线靠近，则环上的感应电流方向为逆时针方向

答案 D

解析 根据楞次定律，当金属圆环上、下移动时，穿过圆环的磁通量不发生变化，故没有感应电流产生，故选项 A、B 错误；当金属圆环向左移动时，则穿过圆环的磁场垂直纸面向外并且增强，故根据楞次定律可以知道，产生的感应电流为顺时针，故选项 C 错误；当金属圆环向右移动时，则穿过圆环的磁场垂直纸面向里并且增强，故根据楞次定律可以知道，产生的感应电流为逆时针，故选项 D 正确。

3.(2016·全国甲卷·20)法拉第圆盘发电机的示意图如图 4 所示.铜圆盘安装在竖直的铜轴上，两铜片 P 、 Q 分别与圆盘的边缘和铜轴接触.圆盘处于方向竖直向上的匀强磁场 B 中.圆盘旋转时，关于流过电阻 R 的电流，下列说法正确的是()

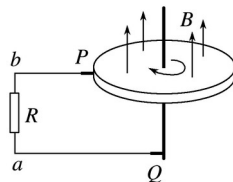


图 4

- A.若圆盘转动的角速度恒定，则电流大小恒定
- B.若从上向下看，圆盘顺时针转动，则电流沿 a 到 b 的方向流动
- C.若圆盘转动方向不变，角速度大小发生变化，则电流方向可能发生变化
- D.若圆盘转动的角速度变为原来的 2 倍，则电流在 R 上的热功率也变为原来的 2 倍

答案 AB

解析 将圆盘看成无数幅条组成，它们都在切割磁感线从而产生感应电动势和感应电流，则当圆盘顺时针(俯视)转动时，根据右手定则可知圆盘上感应电流从边缘流向中心，流过电阻的电流方向从 a 到 b ，B 对；由法拉第电磁感应定律得感应电动势 $E = BLv = BL^2\omega$ ， $I = \frac{E}{R}$ ， ω 恒定时， I 大小恒定， ω 大小变化时， I 大小变化，方向不变，故 A 对，C 错；由 $P = I^2R$ 知，当 ω 变为原来的 2 倍时， P 变为原来的 4 倍，D 错。

4.如图 5 所示，一根弧长为 L 的半圆形硬导体棒 AB 在水平拉力 F 作用下，以速度 v_0 在竖直平面内的 U 形框架上匀速滑动，匀强磁场的磁感应强度为 B ，回路中除电阻 R 外，其余电阻均不计，U 形框左端与平行板电容器相连，质量为 m 的带电油滴静止于电容器两极板中央，半圆形硬导体棒 AB 始终与 U 形框接触良好。则以下判断正确的是()

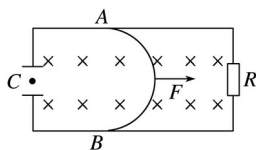


图 5

- A.油滴所带电荷量为
- B.电流自上而下流过电阻 R
- C. A 、 B 间的电势差 $U_{AB} = BLv_0$
- D.其他条件不变，使电容器两极板距离减小，电容器所带电荷量将增加，油滴将向上运动

答案 BD

解析 导体棒 AB 在水平拉力 F 作用下向右运动，由右手定则可知，导体棒 AB 相当于电源， A 端是正极，故电流自上而下流过电阻 R ，B 对；导体棒 AB 的弧长为 L ，与磁场切割有效长度为 L ，故 A、C 错；根据电容器 $C = \frac{Q}{U}$ ， $C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$ ，两极板距离 d 减小， C 增大， Q 增加，电场强度 E 增大，油滴将向上运动，D 对。

考题二 电磁感应中的图象问题

方法指导

解决电磁感应图象问题的方法技巧

(1)解决电磁感应图象问题的“三点关注”：

- ① 关注初始时刻，如初始时刻感应电流是否为零，是正方向还是负方向。
- ② 关注变化过程，看电磁感应发生的过程分为几个阶段，这几个阶段是否和图象变化相对应。
- ③ 关注大小、方向的变化趋势，看图线斜率的大小、图线的曲、直是否和物理过程对应。

(2)解决电磁感应图象问题的一般步骤：

- ① 明确图象的种类，即是 $B-t$ 图还是 $\Phi-t$ 图，或者 $E-t$ 图、 $I-t$ 图等.
 - ② 分析电磁感应的具体过程.
 - ③ 用右手定则或楞次定律确定方向对应关系.
 - ④ 结合法拉第电磁感应定律、欧姆定律、牛顿运动定律等规律写出函数关系式.
 - ⑤ 根据函数关系式，进行数学分析，如分析斜率的变化、截距等.
 - ⑥ 画图象或判断图象.
- (3) 图象选择技巧：求解物理图象的选择题时可用“排除法”，即排除与题目要求相违背的图象，留下正确图象.

典例剖析

例 2 (2016·四川·7)如图 6 所示，电阻不计、间距为 L 的光滑平行金属导轨水平放置于磁感应强度为 B 、方向竖直向下的匀强磁场中，导轨左端接一定值电阻 R . 质量为 m 、电阻为 r 的金属棒 MN 置于导轨上，受到垂直于金属棒的水平外力 F 的作用由静止开始运动，外力 F 与金属棒速度 v 的关系是 $F = F_0 + kv$ (F_0 、 k 是常量)，金属棒与导轨始终垂直且接触良好. 金属棒中感应电流为 i ，受到的安培力大小为 $F_{安}$ ，电阻 R 两端的电压为 U_R ，感应电流的功率为 P ，它们随时间 t 变化图象可能正确的有()

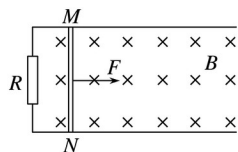
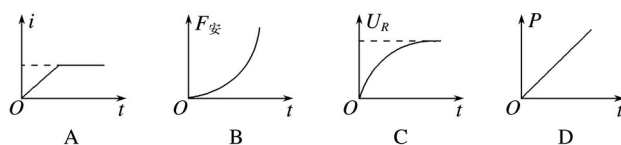


图 6



解析 设金属棒在某一时刻速度为 v ，由题意可知，感应电动势 $E = BLv$ ，回路电流 $I = \frac{E}{R+r} = \frac{BLv}{R+r}$ ，即 $I \propto v$ ；安培力 $F_{安} = BIL = \frac{B^2 L^2 v}{R+r}$ ，方向水平向左，即 $F_{安} \propto v$ ； R 两端电压 $U_R = IR = \frac{RBLv}{R+r}$ ，即 $U_R \propto v$ ；感应电流功率 $P = EI = \frac{B^2 L^2 v^2}{R+r}$ ，即 $P \propto v^2$.

分析金属棒运动情况，由牛顿运动第二定律可得 $F_0 + kv - \frac{B^2 L^2 v}{R+r} = ma$ ，即 $F_0 + (k - \frac{B^2 L^2}{R+r})v = ma$. 因为金属棒从静止开始运动，所以 $F_0 > 0$.

- (1) 若 $k = \frac{B^2 L^2}{R+r}$ ，金属棒水平向右做匀加速直线运动. 所以在此情况下没有选项符合；
- (2) 若 $k > \frac{B^2 L^2}{R+r}$ ， $F_{合}$ 随 v 增大而增大，即 a 随 v 增大而增大，说明金属棒在做加速度增大的加速运动，根据四个物理量与速度的关系可知 B 选项符合；
- (3) 若 $k < \frac{B^2 L^2}{R+r}$ ， $F_{合}$ 随 v 增大而减小，即 a 随 v 增大而减小，说明金属棒在做加速度减小的加速运动，直到加速度减小为 0 后金属棒做匀速直线运动，根据四个物理量与速度关系可知 C 选项符合.

综上所述，选项 B、C 符合题意。

答案 BC

【变式训练】

5. 在竖直方向的匀强磁场中，水平放置一个面积不变的单匝金属圆线圈，规定线圈中感应电流的正方向如图 7 甲所示，取线圈中磁场 B 的方向向上为正，当磁场中的磁感应强度 B 随时间 t 如图乙变化时，下列图中能正确表示线圈中感应电流变化的是()

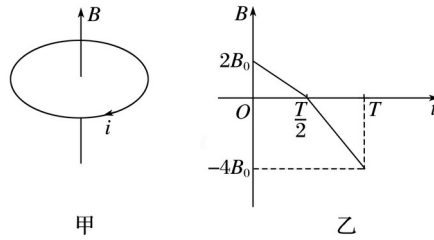
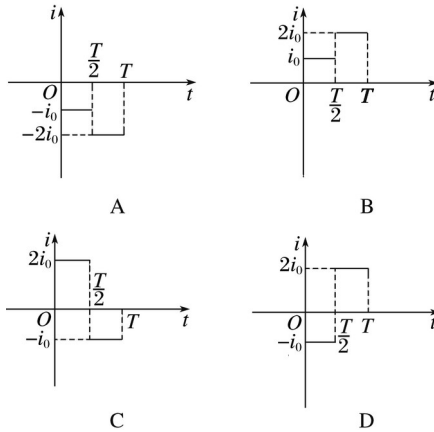


图 7



答案 A

解析 在 $0 \sim \frac{T}{2}$ 内，根据法拉第电磁感应定律， $E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ 。根据楞次定律，感应电动势的方向与图示箭头方向相反，为负值；在 $\frac{T}{2} \sim T$ 内，根据法拉第电磁感应定律， $E' = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = 2E$ ，所以感应电流是之前的 2 倍。再根据楞次定律，感应电动势的方向与图示方向相反，为负值。故 A 正确。

6. 如图 8 所示，有一个边界为正三角形的匀强磁场区域，边长为 a ，磁感应强度方向垂直纸面向里，一个导体矩形框的长为 a ，宽为 $\frac{a}{2}$ ，平行于纸面沿着磁场区域的轴线匀速穿越磁场区域，导体框中感应电流的正方向为逆时针方向，以导体框刚进入磁场时为 $t = 0$ 时刻，则导体框中的感应电流随时间变化的图象是()

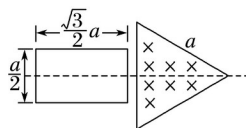
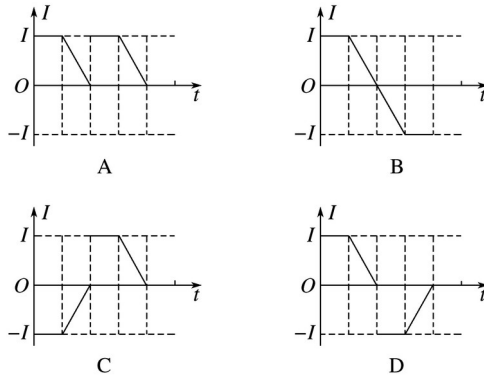


图 8



答案 D

解析 由右手定则可知，线框进入磁场过程与离开磁场过程感应电流方向相反，故 A 错误；由图示可知，线框开始进入磁场的一段时间内，切割磁感线的有效长度 L 不变，电流 $I = \frac{BLv}{R}$ 大小不变，当线框右边部分穿出磁场过程，切割磁感线的有效长度 L 减小，感应电流减小，线框右边完全离开磁场后，线框左边完全进入磁场，然后线框左边切割磁感线，感应电流反向，此后一段时间内，线框切割磁感线的有效长度 L 不变，感应电流大小不变，线框左边离开磁场过程，线框切割磁感线的有效长度 L 减小，感应电流减小，故 B、C 错误，D 正确。

7. 宽度均为 d 且足够长的两相邻条形区域内，各存在磁感应强度大小均为 B 、方向相反的匀强磁场. 电阻为 R 、边长为 d 的等边三角形金属框的 AB 边与磁场边界平行，金属框从图 9 所示位置以垂直于 AB 边向右的方向做匀速直线运动，取逆时针方向电流为正，从金属框 C 端刚进入磁场开始计时，框中产生的感应电流随时间变化的图象是()

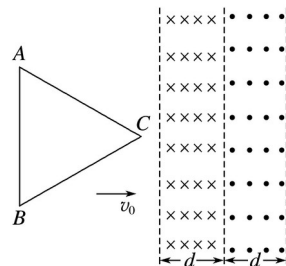
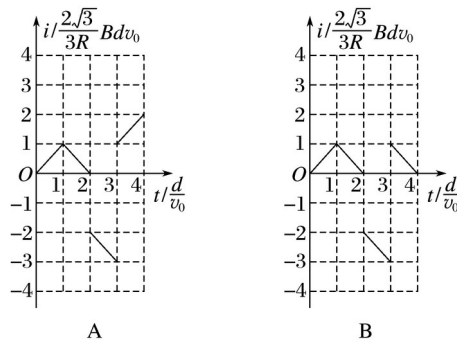
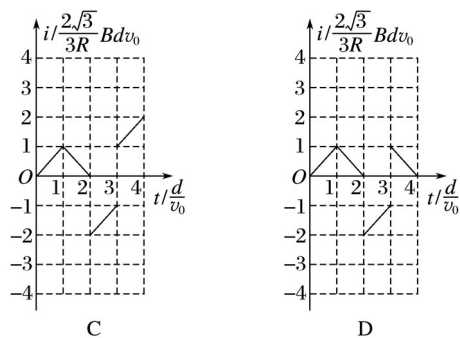


图 9





答案 A

考题三 电磁感应中的动力学问题

方法指导

电磁感应与动力学综合题的解题策略

- (1)分析“源”：找准主动运动者，用法拉第电磁感应定律和楞次定律求解感应电动势的大小和方向；
- (2)分析“路”：画出等效电路图，求解回路中的电流的大小及方向；
- (3)分析“力”：分析安培力对导体棒运动速度、加速度的影响，从而推得对电流的影响，最后确定导体棒的最终运动情况；
- (4)列“方程”：列出牛顿第二定律或平衡方程求解。

典例剖析

例3 (2016·全国甲卷·24)如图10，水平面(纸面)内间距为 l 的平行金属导轨间接一电阻，质量为 m 、长度为 l 的金属杆置于导轨上。 $t=0$ 时，金属杆在水平向右、大小为 F 的恒定拉力作用下由静止开始运动。 t_0 时刻，金属杆进入磁感应强度大小为 B 、方向垂直于纸面向里的匀强磁场区域，且在磁场中恰好能保持匀速运动。杆与导轨的电阻均忽略不计，两者始终保持垂直且接触良好，两者之间的动摩擦因数为 μ 。重力加速度大小为 g 。求：

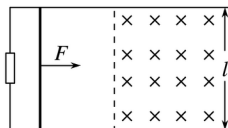


图10

- (1)金属杆在磁场中运动时产生的电动势的大小；
- (2)电阻的阻值。

解析 (1)设金属杆进入磁场前的加速度大小为 a ，由牛顿第二定律得

$$F - \mu mg = ma$$

①

设金属杆到达磁场左边界时的速度为 v ，由运动学公式有 $v = at_0$ ②

当金属杆以速度 v 在磁场中运动时，由法拉第电磁感应定律知产生的电动势为

$$E = Blv \quad ③$$

联立①②③式可得

$$E = Blt_0(-\mu g) \quad ④$$

(2)设金属杆在磁场区域中匀速运动时，金属杆中的电流为 I ，根据欧姆定律

$$I = \quad ⑤$$

式中 R 为电阻的阻值.金属杆所受的安培力为

$$F_{\text{安}} = BIl \quad ⑥$$

因金属杆做匀速运动，有

$$F - \mu mg - F_{\text{安}} = 0 \quad ⑦$$

联立④⑤⑥⑦式得

$$R =$$

答案 (1) $Bl t_0(-\mu g)$ (2)

【变式训练】

8.如图 11(a)所示，在光滑水平面上用恒力 F 拉质量为 1 kg 的单匝均匀正方形铜线框，在 1 位置以速度 $v_0 = 3 \text{ m/s}$ 进入匀强磁场时开始计时 $t = 0$ ，此时线框中感应电动势为 1 V ，在 $t = 3 \text{ s}$ 时刻线框到达 2 位置开始离开匀强磁场.此过程中 $v - t$ 图象如图(b)所示，那么()

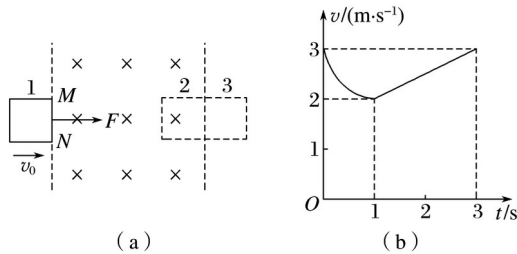


图 11

- A. 线框右侧边两端 MN 间的电压为 0.25 V
- B. 恒力 F 的大小为 0.5 N
- C. 线框完全离开磁场的瞬间位置 3 的速度大小为 3 m/s
- D. 线框完全离开磁场的瞬间位置 3 的速度大小为 1 m/s

答案 B

解析 $t = 0$ 时，线框右侧边 MN 的两端电压为外电压，总的感应电动势为： $E = Blv_0$ ，外电压 $U_{\text{外}} = E = 0.75 \text{ V}$.故 A 错误；在 $1 \sim 3 \text{ s}$ 内，线框做匀加速运动，没有感应电流，线框不受安培力，则有 $F = ma$ ，由速度—时间图象的斜率表示加速度，求得 $a = \frac{3-2}{3-1} \text{ m/s}^2 = 0.5 \text{ m/s}^2$ ，则得 $F = 0.5 \text{ N}$.故 B 正确.由(b)图象看出，在 $t = 3 \text{ s}$ 时刻线框到达 2 位置开始离开匀强磁场时与线框进入匀强磁场时速度相同，则线框出磁场与进磁场运动情况完全相同，则知线框完全

离开磁场的瞬间位置 3 速度与 $t = 1 \text{ s}$ 时刻的速度相等，即为 2 m/s 。故 C、D 错误。

9. 如图 12 所示，两根光滑、足够长的平行金属导轨固定在水平面上。滑动变阻器接入电路的电阻值为 R (最大阻值足够大)，导轨的宽度 $L = 0.5 \text{ m}$ ，空间有垂直于导轨平面的匀强磁场，磁感应强度的大小 $B = 1 \text{ T}$ 。内阻 $r = 1 \Omega$ 的金属杆在 $F = 5 \text{ N}$ 的水平恒力作用下由静止开始运动。经过一段时间后，金属杆的速度达到最大速度 v_m ，不计导轨电阻，则有()

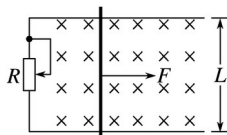


图 12

- A. R 越小， v_m 越大
- B. 金属杆的最大速度大于或等于 20 m/s
- C. 金属杆达到最大速度之前，恒力 F 所做的功等于电路中消耗的电能
- D. 金属杆达到最大速度后，金属杆中电荷沿杆长度方向定向移动的平均速率 v_e 与恒力 F 成正比

答案 BD

解析 当导体棒达到最大速度时满足 $F = F_{安}$ ，则 $F = BLv_m$ ，解得 $v_m = \frac{F}{BL}$ ，可知 R 越大， v_m 越大，选项 A 错误；金属杆的最大速度 $v_m = \frac{F}{BL} = 20(1 + R) \text{ m/s}$ ，则金属杆的最大速度大于或等于 20 m/s ，选项 B 正确；在金属杆达到最大速度之前，恒力 F 所做的功等于电路中消耗的电能与导体棒动能增量之和，选项 C 错误；金属杆达到最大速度后导体棒中的电流 $I = \frac{F}{BL}$ ，则 $I = neSv_e$ ，则 $v_e = \frac{F}{nBLs}$ ，故金属杆达到最大速度后，金属杆中电荷沿杆长度方向定向移动的平均速率 v_e 与恒力 F 成正比，选项 D 正确。

考题四 电磁感应中的能量问题

方法指导

电磁感应中能量的三种求解方法

(1) 利用克服安培力做功求解：电磁感应中产生的电能等于克服安培力所做的功。

—————→—————→

(2) 利用能量守恒定律求解：若只有电能与机械能参与转化，则机械能的减少量等于产生的电能。

(3) 利用电路的相关公式——电功公式或电热公式求解：若通过电阻的电流是恒定的，则可直接利用电功公式或焦耳定律求解焦耳热。

特别提醒：回路中某个元件的焦耳热和回路总焦耳热之间的关系，不能混淆。

典例剖析

例4 如图13所示,两根足够长的平行光滑金属导轨 MN 、 PQ 与水平面的夹角为 $\theta = 30^\circ$, 导轨电阻不计,导轨处在垂直导轨平面斜向上的有界匀强磁场中,两根电阻都为 $R = 2\ \Omega$ 、质量都为 $m = 0.2\ \text{kg}$ 的完全相同的细金属棒 ab 和 cd 垂直导轨并排靠紧的放置在导轨上,与磁场上边界距离为 $x = 1.6\ \text{m}$,有界匀强磁场宽度为 $3x = 4.8\ \text{m}$.先将金属棒 ab 由静止释放,金属棒 ab 刚进入磁场就恰好做匀速运动,此时立即由静止释放金属棒 cd ,金属棒 cd 在出磁场前已做匀速运动,两金属棒在下滑过程中与导轨接触始终良好(取重力加速度 $g = 10\ \text{m/s}^2$),求:

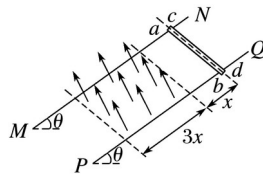


图13

- (1)金属棒 ab 刚进入磁场时棒中电流 I ;
- (2)金属棒 cd 在磁场中运动的过程中通过回路某一截面的电量 q ;
- (3)两根金属棒全部通过磁场的过程中回路产生的焦耳热 Q .

[思维规范流程]

| | |
|--|--|
| <p>步骤1:列动能定理方程 ab 匀速进入,列平衡方程 分步列式,得部分分</p> | <p>(1)ab 进入磁场前 $mgx\sin\theta = mv - 0$ ① 得 $v_1 = 4\ \text{m/s}$ ② $mg\sin\theta = F_{\text{安}}$ ③ $F_{\text{安}} = BIL$ ④ $I =$ ⑤ $E = BLv_1$ ⑥ 得: $I = 1\ \text{A}$ ⑦</p> |
| <p>步骤2: cd 在磁场外的位移 ab 在磁场内的位移 由几何关系得</p> | <p>设经时间 t, cd 进入磁场 $x_{cd} = x = t$ ⑧ $x_{ab} = v_1 t = 2x$ ⑨ 两棒都在磁场中时速度相同,无电流, ab 出磁场后, cd 上有电流 $x_{cd}' = 2x$ ⑩ $q = = = 0.8\ \text{C}$ ⑪</p> |

| | | |
|------------------------|---------------------------------------|---|
| 步骤 3 : | $Q_1 = mg \cdot 2x \cdot \sin \theta$ | ⑫ |
| ab 匀速进入, 列能量守恒方程 | $Q_2 = mg \cdot 3x \cdot \sin \theta$ | ⑬ |
| cd 进出磁场速度相等, 列能量守恒方程 | $Q = Q_1 + Q_2 = 8 \text{ J}$ | ⑭ |

①③⑪⑫⑬⑭ 每式各 2 分, 其余各式 1 分.

【变式训练】

10. 如图 14 所示, 正方形金属线框 $abcd$ 位于竖直平面内, 其质量为 m , 电阻为 R . 在线框的下方有一匀强磁场, MN 和 $M'N'$ 是磁场的水平边界, 并与 bc 边平行, 磁场方向垂直于纸面向里. 现使金属线框从 MN 上方某一高度处由静止开始下落, 图乙是线圈由开始下落到完全穿过匀强磁场区域瞬间的 $v-t$ 图象, 图中字母均为已知量. 重力加速度为 g , 不计空气阻力. 下列说法正确的是()

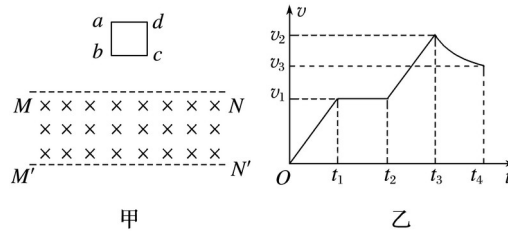


图 14

- A. 金属线框刚进入磁场时感应电流方向沿 $adcba$ 方向
- B. 金属线框的边长为 $v_1(t_2 - t_1)$
- C. 磁场的磁感应强度为
- D. 金属线框在 $0 \sim t_4$ 的时间内所产生的热量为 $2mgv_1(t_2 - t_1) + m(v - v)$

答案 BD

解析 金属线框刚进入磁场时磁通量增大, 根据楞次定律判断可知, 感应电流方向沿 $abcda$ 方向, 故 A 错误; 由题图乙可知, 金属线框进入磁场过程中是做匀速直线运动, 速度为 v_1 , 运动时间为 $t_2 - t_1$, 故金属线框的边长: $l = v_1(t_2 - t_1)$, 故 B 正确; 在金属线框进入磁场的过程中, 金属线框所受安培力等于重力, 则得: $mg = BIl$, $I = \frac{Blv_1}{R}$, 又 $l = v_1(t_2 - t_1)$. 联立解得: $B = \frac{mgR}{v_1(t_2 - t_1)}$, 故 C 错误; t_1 到 t_2 时间内, 根据能量守恒定律, 产生的热量为: $Q_1 = mgl = mgv_1(t_2 - t_1)$; t_3 到 t_4 时间内, 根据能量守恒定律, 产生的热量为:

$$Q_2 = mgl + m(v - v_1) \\ = mgv_1(t_2 - t_1) + m(v - v_1)$$

故 $Q = Q_1 + Q_2 = 2mgv_1(t_2 - t_1) + m(v - v_1)$, 故 D 正确.

11. (2016·浙江·24) 小明设计的电磁健身器的简化装置如图 15 所示, 两根平行金属导轨相距 $l = 0.50 \text{ m}$, 倾角 $\theta = 53^\circ$, 导轨上端串接一个 $R = 0.05 \Omega$ 的电阻. 在导轨间长 $d = 0.56 \text{ m}$ 的区域内, 存在方向垂直导轨平面向下的匀强磁场, 磁感应强度 $B = 2.0 \text{ T}$. 质量 $m = 4.0 \text{ kg}$ 的金属棒 CD 水平置于导轨上, 用绝缘绳索通过定滑轮与拉杆 GH 相连. CD 棒的初始位置与磁场区域

的下边界相距 $s = 0.24 \text{ m}$. 一位健身者用恒力 $F = 80 \text{ N}$ 拉动 GH 杆, CD 棒由静止开始运动, 上升过程中 CD 棒始终保持与导轨垂直. 当 CD 棒到达磁场上边界时健身者松手, 触发恢复装置使 CD 棒回到初始位置(重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$, $\sin 53^\circ = 0.8$, 不计其他电阻、摩擦力以及拉杆和绳索的质量). 求:

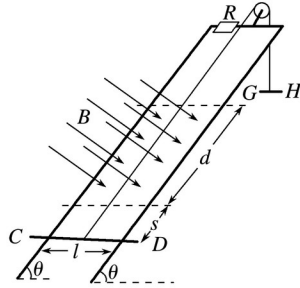


图 15

- (1) CD 棒进入磁场时速度 v 的大小;
- (2) CD 棒进入磁场时所受的安培力 $F_{安}$ 的大小;
- (3) 在拉升 CD 棒的过程中, 健身者所做的功 W 和电阻产生的焦耳热 Q .

答案 (1) 2.4 m/s (2) 48 N (3) 64 J 26.88 J

解析 (1) 由牛顿第二定律得

$$a = 12 \text{ m/s}^2$$

进入磁场时的速度

$$v = 2.4 \text{ m/s}$$

(2) 感应电动势 $E = Blv$

感应电流 $I =$

$$F_{安} = IBl$$

$$\text{代入得 } F_{安} = 48 \text{ N}$$

(3) 健身者做功 $W = F(s + d) = 64 \text{ J}$

$$\text{又 } F - mg \sin \theta - F_{安} = 0$$

CD 棒在磁场区做匀速运动

在磁场中运动时间 $t =$

$$\text{焦耳热 } Q = I^2 R t = 26.88 \text{ J}$$

专题规范练

1. 下列没有利用涡流的是()

- A. 金属探测器
- B. 变压器中用互相绝缘的硅钢片叠压成铁芯

- C.用来冶炼合金钢的真空冶炼炉
- D.磁电式仪表的线圈用铝框做骨架

答案 B

解析 金属探测器中变化电流遇到金属物体，在金属物体中产生涡流，故 A、D 是利用涡流的；变压器的铁芯用硅钢片叠压而成，是为了减小涡流，故 B 正确；真空冶炼炉是线圈中的电流做周期性变化，在冶炼炉中产生涡流，从而产生大量的热量，故 C 是利用涡流的。

2.(多选)(2016·江苏·6)电吉他中电拾音器的基本结构如图 1 所示，磁体附近的金属弦被磁化，因此弦振动时，在线圈中产生感应电流，电流经电路放大后传送到音箱发出声音，下列说法正确的有()

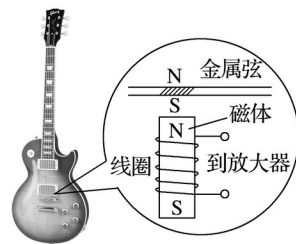


图 1

- A.选用铜质弦，电吉他仍能正常工作
- B.取走磁体，电吉他将不能正常工作
- C.增加线圈匝数可以增大线圈中的感应电动势
- D.弦振动过程中，线圈中的电流方向不断变化

答案 BCD

解析 铜质弦为非磁性材料，不能被磁化，选用铜质弦，电吉他不能正常工作，A 项错误；若取走磁体，金属弦不能被磁化，其振动时，不能在线圈中产生感应电动势，电吉他不能正常工作，B 项对；由 $E = n$ 可知，C 项正确；弦振动过程中，穿过线圈的磁通量大小不断变化，由楞次定律可知，线圈中感应电流方向不断变化，D 项正确。

3.如图 2 所示，三个相同的灯泡 a 、 b 、 c 和电阻不计的线圈 L 与内阻不计的电源连接，下列判断正确的是()

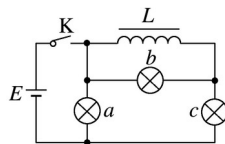


图 2

- A.K 闭合的瞬间， b 、 c 两灯亮度不同
- B.K 闭合足够长时间以后， b 、 c 两灯亮度相同
- C.K 断开的瞬间， a 、 c 两灯立即熄灭
- D.K 断开之后， b 灯突然闪亮以后再逐渐变暗

答案 D

解析 K 闭合的瞬间,三个灯同时发光,由于线圈自感电动势的阻碍,开始时通过 L 的电流很小, b 、 c 两灯的电流相同,一样亮.由于 a 灯的电压等于 b 、 c 电压之和,所以 a 灯最亮, K 闭合足够长时间以后, b 灯被线圈短路,故 b 灯熄灭,故 b 、 c 两灯亮度不相同,故 A、B 错误.K 断开的瞬间,线圈中电流将要减小,产生自感电动势,相当于电源,有电流流过 a 、 c 两灯,由于两灯串联,所以 a 、 c 两灯逐渐变暗且亮度相同.故 C 错误;因 K 断开之后, b 灯中有电流通过,故使得 b 灯突然闪亮以后再逐渐变暗,选项 D 正确.

4.(多选)(2016·上海·19)如图 3(a),螺线管内有平行于轴线的匀强磁场,以图中箭头所示方向为其正方向.螺线管与导线框 $abcd$ 相连,导线框内有一小金属圆环 L ,圆环与导线框在同一平面内.当螺线管内的磁感应强度 B 随时间按图(b)所示规律变化时()

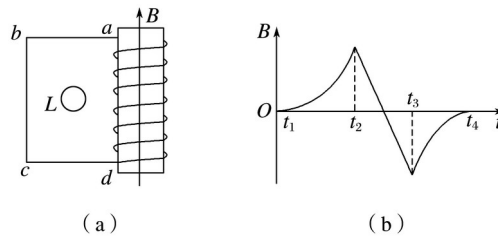


图 3

- A. 在 $t_1 \sim t_2$ 时间内, L 有收缩趋势
- B. 在 $t_2 \sim t_3$ 时间内, L 有扩张趋势
- C. 在 $t_2 \sim t_3$ 时间内, L 内有逆时针方向的感应电流
- D. 在 $t_3 \sim t_4$ 时间内, L 内有顺时针方向的感应电流

答案 AD

解析 据题意,在 $t_1 \sim t_2$ 时间内,外加磁场磁感应强度增加且斜率在增加,则在导线框中产生顺时针方向大小增加的电流,该电流激发出增加的磁场,该磁场通过圆环,在圆环内产生感应电流,据结论“增缩减扩”可以判定圆环有收缩趋势,故选项 A 正确;在 $t_2 \sim t_3$ 时间内,外加磁场均匀变化,在导线框中产生稳定电流,该电流激发出稳定磁场,该磁场通过圆环时,圆环中没有感应电流,故选项 B、C 错误;在 $t_3 \sim t_4$ 时间内,外加磁场向下减小,且斜率也减小,在导线框中产生顺时针方向减小的电流,该电流激发出向内减小的磁场,故圆环内产生顺时针方向的感应电流,选项 D 正确.

5.(2016·北京·16)如图 4 所示,匀强磁场中有两个导体圆环 a 、 b ,磁场方向与圆环所在平面垂直.磁感应强度 B 随时间均匀增大.两圆环半径之比为 2:1,圆环中产生的感应电动势分别为 E_a 和 E_b ,不考虑两圆环间的相互影响.下列说法正确的是()

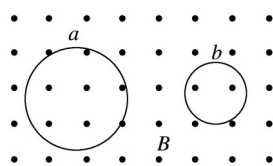


图 4

- A. $E_a:E_b = 4:1$ ，感应电流均沿逆时针方向
- B. $E_a:E_b = 4:1$ ，感应电流均沿顺时针方向
- C. $E_a:E_b = 2:1$ ，感应电流均沿逆时针方向
- D. $E_a:E_b = 2:1$ ，感应电流均沿顺时针方向

答案 B

解析 由法拉第电磁感应定律得圆环中产生的电动势为 $E = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \pi r^2 \frac{\Delta B}{\Delta t}$ ，则 $E_a = 4E_b$ ，由楞次定律可知感应电流的方向均沿顺时针方向，B 项对。

6. 如图 5 所示，边长为 L 的金属框 $abcd$ 放置在匀强磁场中，磁感应强度大小为 B ，方向平行于 ab 边向上，当金属框绕 ab 边以角速度 ω 逆时针转动时， a 、 b 、 c 、 d 四点的电势分别为 φ_a 、 φ_b 、 φ_c 、 φ_d 。下列判断正确的是()

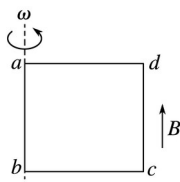


图 5

- A. 金属框中无电流， $\varphi_a = \varphi_d$
- B. 金属框中电流方向沿 $a - d - c - b - a$ ， $\varphi_a < \varphi_d$
- C. 金属框中无电流， $U_{bc} = -BL^2\omega$
- D. 金属框中无电流， $U_{bc} = -BL^2\omega$

答案 C

解析 因穿过线圈的磁通量始终为零，故线圈中无电流；根据右手定则可知， d 端电势高于 a 端， c 端电势高于 b 端， $U_{bc} = -BL = -BL^2\omega$ ，故选项 A、B、D 错误，C 正确；故选 C。

7. 如图 6 甲所示，正三角形导线框 abc 固定在磁场中，磁场方向与线圈平面垂直，磁感应强度 B 随时间变化的关系如图乙所示。 $t = 0$ 时刻磁场方向垂直纸面向里，在 $0 \sim 5$ s 时间内，线框 ab 边所受安培力 F 随时间 t 变化的关系(规定水平向左为力的正方向)可能是下列选项中的()

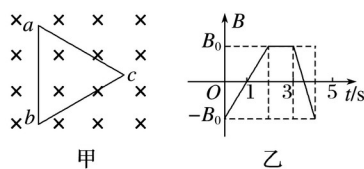
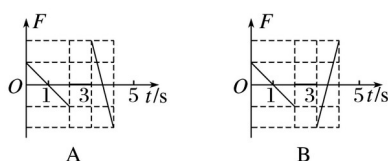
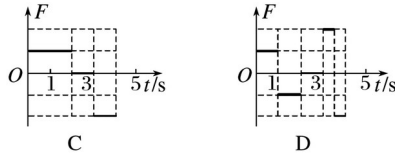


图 6





答案 A

解析 0~1 s, 感应电动势为: $E_1 = S = SB_0$, 为定值; 感应电流: $I_1 = \frac{E_1}{R+r}$, 为定值; 安培力 $F = BI_1L \propto B$; 由于 B 逐渐减小到零, 故安培力逐渐减小到零, 根据楞次定律可知, 线圈 ab 边所受的安培力向左, 为正; 同理: 1~2 s, 感应电动势为: $E_1 = S = SB_0$, 为定值; 感应电流: $I_1 = \frac{E_1}{R+r}$, 为定值; 安培力 $F = BI_1L \propto B$; 由于 B 逐渐增大, 故安培力逐渐增大, 根据楞次定律可知, 线圈 ab 边所受的安培力向右, 为负; 3~3.5 s 内, 感应电动势为: $E_2 = S = 2SB_0$, 为定值; 感应电流: $I_2 = \frac{E_2}{R+r}$, 为定值; 安培力 $F = BI_2L \propto B$, 由于 B 逐渐减小到零, 故安培力逐渐减小到零; 由于 B 逐渐减小到零, 故通过线圈的磁通量减小, 根据楞次定律, 感应电流要阻碍磁通量减小, 有扩张趋势, 故安培力向外, 即 ab 边所受安培力向左, 为正, 故 A 正确, B、C、D 错误.

8.(多选)如图 7 甲所示, 一光滑的平行金属导轨 $ABCD$ 竖直放置, AB 、 CD 相距 L , 在 A 、 C 之间接一个阻值为 R 的电阻; 在两导轨间的 $abcd$ 矩形区域内有垂直导轨平面向外、高度为 $5h$ 的有界匀强磁场, 磁感应强度为 B . 一质量为 m 、电阻为 r 、长度也为 L 的导体棒放在磁场下边界 ab 上(与 ab 边重合). 现用一个竖直向上的力 F 拉导体棒, 使它由静止开始向上运动, 导体棒刚要离开磁场时恰好做匀速直线运动, 导体棒与导轨始终垂直且保持良好接触, 导轨电阻不计. F 随导体棒与初始位置的距离 x 变化的情况如图乙所示, 下列说法正确的是()

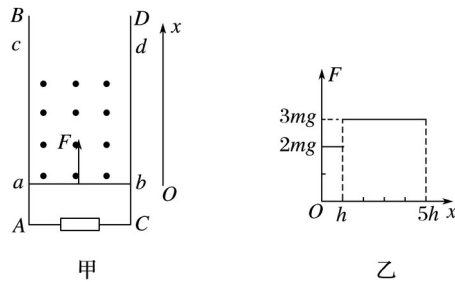


图 7

- A. 导体棒离开磁场时速度大小为
- B. 离开磁场时导体棒两端电压为
- C. 导体棒经过磁场的过程中, 通过电阻 R 的电荷量为
- D. 导体棒经过磁场的过程中, 电阻 R 产生焦耳热为

答案 BD

解析 导体棒刚要离开磁场时, 做匀速直线运动, 则 $3mg = mg + BL$ 可求得: $v = \frac{2mgh}{BL}$, A 错; 由 $3mg = mg + BL$ 知 $U = \frac{2mgh}{BL}$, B 对; 导体棒经过磁场的过程中, 通过电阻 R 的电荷量 $q = \frac{BLx}{R+r}$, C 错; 导体棒经过磁场的过程中, 设产生的总热量为 $Q_{总}$, 由能量守恒定律得: $2mgh + 3mg \cdot 4h = Q_{总}$

$-mg \cdot 5h = mv^2 + Q_{\text{总}}$, 知 $Q_R = Q_{\text{总}} = -$, D对.

9.(2016·全国丙卷·25)如图8, 两条相距 l 的光滑平行金属导轨位于同一水平面(纸面)内, 其左端接一阻值为 R 的电阻; 一与导轨垂直的金属棒置于两导轨上; 在电阻、导轨和金属棒中间有一面积为 S 的区域, 区域中存在垂直于纸面向里的均匀磁场, 磁感应强度大小 B_1 随时间 t 的变化关系为 $B_1 = kt$, 式中 k 为常量; 在金属棒右侧还有一匀强磁场区域, 区域左边界 MN (虚线)与导轨垂直, 磁场的磁感应强度大小为 B_0 , 方向也垂直于纸面向里. 某时刻, 金属棒在一外加水平恒力的作用下从静止开始向右运动, 在 t_0 时刻恰好以速度 v_0 越过 MN , 此后向右做匀速运动. 金属棒与导轨始终相互垂直并接触良好, 它们的电阻均忽略不计. 求:

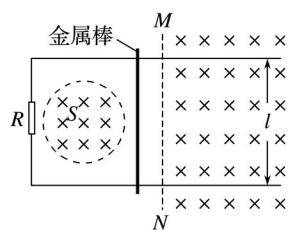


图8

- (1)在 $t = 0$ 到 $t = t_0$ 时间间隔内, 流过电阻的电荷量的绝对值;
 (2)在时刻 $t(t > t_0)$ 穿过回路的总磁通量和金属棒所受外加水平恒力的大小.

答案 (1)

(2) $B_0 l v_0 (t - t_0) + kSt$ ($B_0 l v_0 + kS$)

解析 (1)在金属棒未越过 MN 之前, 穿过回路的磁通量的变化量为

$$\Delta\Phi = \Delta BS = k\Delta t S \quad \text{①}$$

由法拉第电磁感应定律有

$$E = \quad \text{②}$$

由欧姆定律得

$$I = \quad \text{③}$$

由电流的定义得

$$I = \quad \text{④}$$

联立①②③④式得

$$|\Delta q| = \Delta t \quad \text{⑤}$$

由⑤式得, 在 $t = 0$ 到 $t = t_0$ 的时间间隔内即 $\Delta t = t_0$, 流过电阻 R 的电荷量 q 的绝对值为

$$|q| = \quad \text{⑥}$$

(2)当 $t > t_0$ 时, 金属棒已越过 MN . 由于金属棒在 MN 右侧做匀速运动, 有

$$F = F_{\text{安}} \quad \text{⑦}$$

式中, F 是外加水平恒力, $F_{\text{安}}$ 是金属棒受到的安培力. 设此时回路中的电流为 I ,

$$F_{\text{安}} = B_0 l I \quad \text{⑧}$$

$$\text{此时金属棒与 } MN \text{ 之间的距离为 } s = v_0(t - t_0) \quad \text{⑨}$$

匀强磁场穿过回路的磁通量为

$$\Phi' = B_0 l s \quad \text{⑩}$$

回路的总磁通量为

$$\Phi_t = \Phi + \Phi' \quad \text{⑪}$$

$$\text{其中 } \Phi = B_1 S = ktS \quad \text{⑫}$$

由⑨⑩⑪⑫式得，在时刻 $t(t > t_0)$ ，穿过回路的总磁通量为 $\Phi_t = B_0 l v_0(t - t_0) + ktS$ ⑬

在 t 到 $t + \Delta t$ 的时间间隔内，总磁通量的改变量 $\Delta\Phi_t$ 为

$$\Delta\Phi_t = (B_0 l v_0 + kS)\Delta t \quad \text{⑭}$$

由法拉第电磁感应定律得，回路感应电动势的大小为

$$E_t = \quad \text{⑮}$$

由欧姆定律得

$$I = \quad \text{⑯}$$

联立⑦⑧⑭⑮⑯式得

$$F = (B_0 l v_0 + kS).$$

10.如图9所示，宽 $L = 2\text{ m}$ 、足够长的金属导轨 MN 和 $M'N'$ 放在倾角为 $\theta = 30^\circ$ 的斜面上，在 N 与 N' 之间连接一个 $R = 2.0\ \Omega$ 的定值电阻，在 AA' 处放置一根与导轨垂直、质量 $m = 0.8\text{ kg}$ 、电阻 $r = 2.0\ \Omega$ 的金属杆，杆和导轨间的动摩擦因数 $\mu =$ ，导轨处于磁感应强度 $B = 1.0\text{ T}$ 、方向垂直于导轨平面向上的匀强磁场中.用轻绳通过定滑轮将电动小车与杆的中点相连，滑轮与杆之间的连线平行于斜面，开始时小车位于滑轮正下方水平面上的 P 处(小车可视为质点)，滑轮离小车的高度 $H = 4.0\text{ m}$.启动电动小车，使之沿 PS 方向以 $v = 5.0\text{ m/s}$ 的速度匀速前进，当杆滑到 OO' 位置时的加速度 $a = 3.2\text{ m/s}^2$ ， AA' 与 OO' 之间的距离 $d = 1\text{ m}$ ，求：

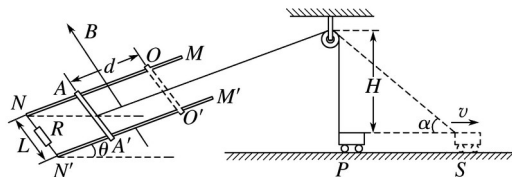


图9

- (1)该过程中，通过电阻 R 的电量 q ；
- (2)杆通过 OO' 时的速度大小；
- (3)杆在 OO' 时，轻绳的拉力大小；
- (4)上述过程中，若拉力对杆所做的功为 13 J ，求电阻 R 上的平均电功率.

答案 (1)0.5 C (2)3 m/s (3)12.56 N (4)2 W

解析 (1)平均感应电动势 =

$$q = I \cdot \Delta t =$$

代入数据，可得： $q = 0.5\text{ C}$

(2)由几何关系： $-H=d$

解得： $\sin \alpha = 0.8$ $\alpha = 53^\circ$

杆的速度等于小车速度沿绳方向的分量：

$$v_1 = v \cos \alpha = 3 \text{ m/s}$$

(3)杆受的摩擦力 $F_f = \mu mg \cos \theta = 3 \text{ N}$

杆受的安培力 $F_{\text{安}} = BIL =$

代入数据，可得 $F_{\text{安}} = 3 \text{ N}$

根据牛顿第二定律： $F_T - mg \sin \theta - F_f - F_{\text{安}} = ma$

解得： $F_T = 12.56 \text{ N}$

(4)根据动能定理： $W + W_{\text{安}} - mgd \sin \theta - F_f d = mV$

解得 $W_{\text{安}} = -2.4 \text{ J}$ ，电路产生的总电热 $Q_{\text{总}} = 2.4 \text{ J}$

那么， R 上的电热 $Q_R = 1.2 \text{ J}$

此过程所用的时间 $t = 0.6 \text{ s}$

R 上的平均电功率 $= P = 2 \text{ W}$.