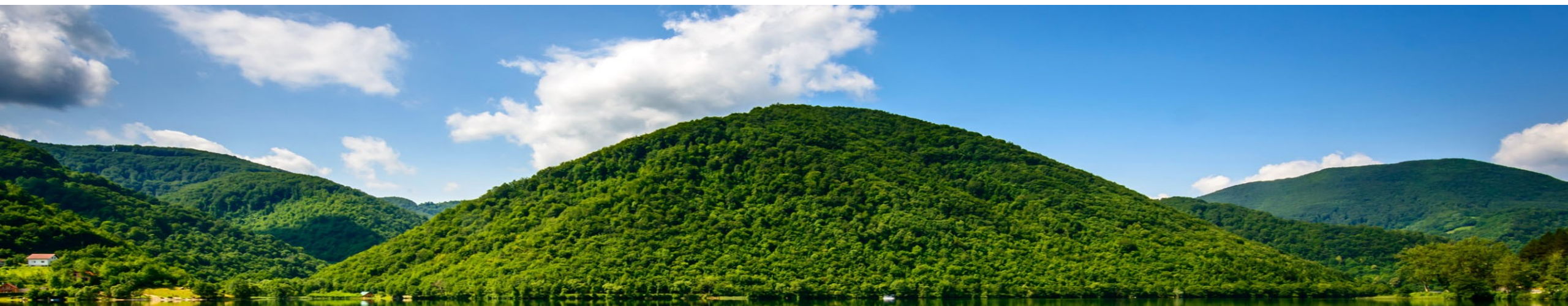
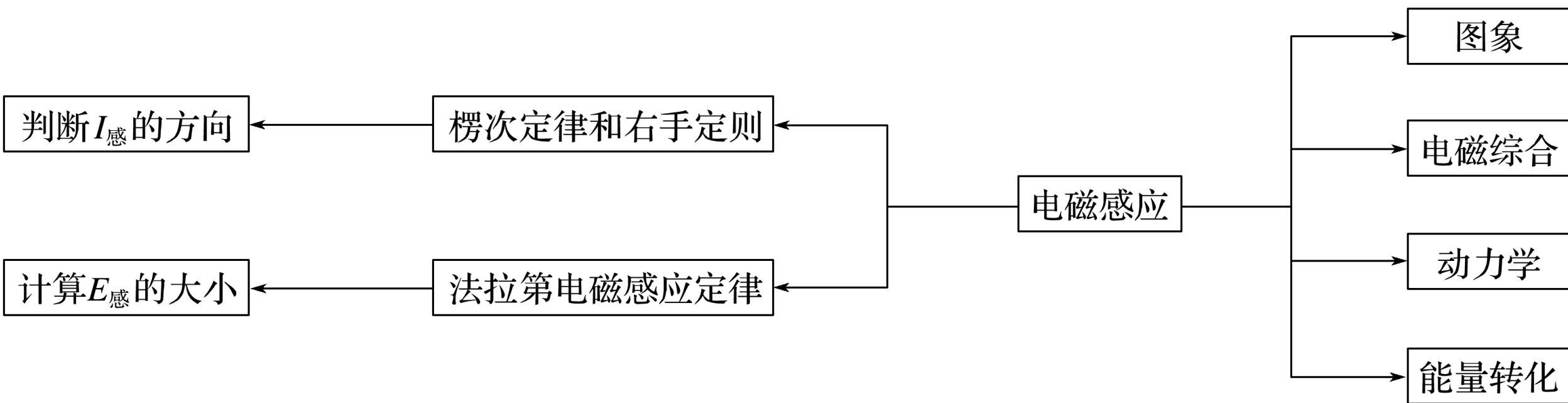


知识专题

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

考题二 电磁感应中的图象问题

考题三 电磁感应中的动力学问题

考题四 电磁感应中的能量问题

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： $E =$

~~(5)~~ 转动切割型： $E = \frac{1}{2} nBl^2 \omega$.

注意：公式 $E = n \frac{\Delta B}{\Delta t} S$ 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 ()

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

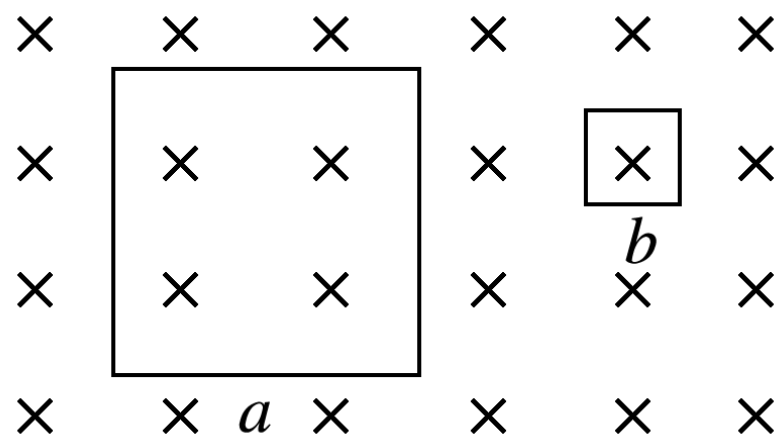


图 1

[变式训练]

1 2 3 4

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

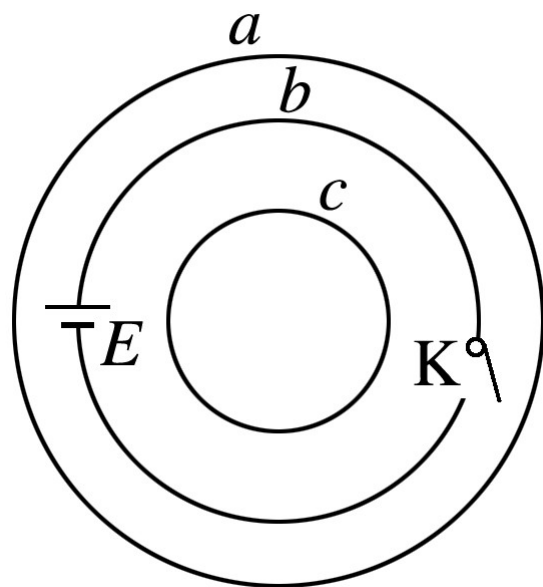


图 2

A. 在 K 闭合的一瞬间，线圈 a 中有逆时针方向的瞬时电流，线圈 a 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，线圈 c 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，

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 ()

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

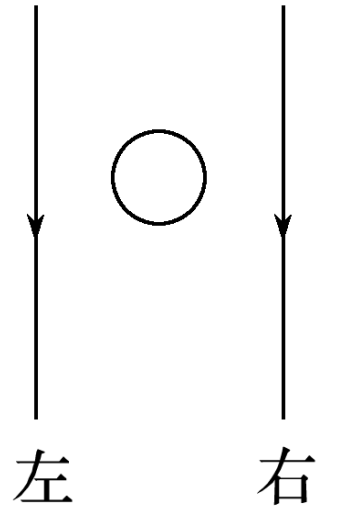


图 3

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: 电流, 下列说法正确的是 (?)

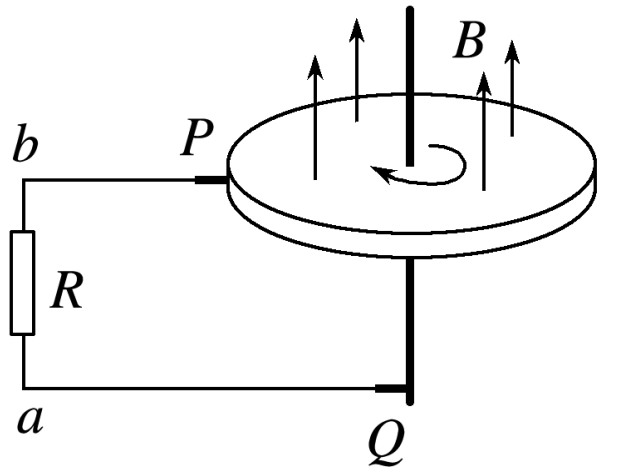


图 4

- ✓ 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

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[?]正确的是（

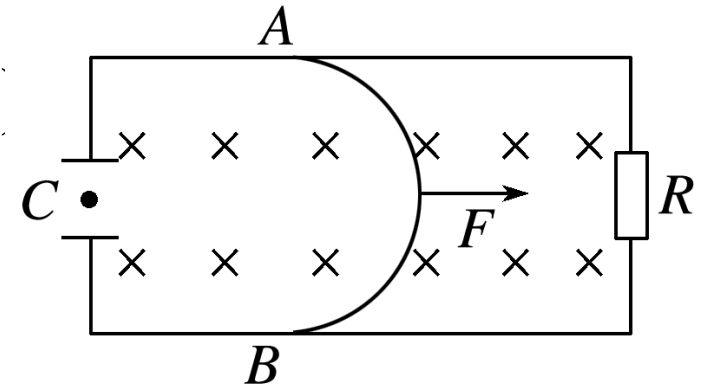


图 5

A. 油滴所带电荷量为 $\frac{mgd}{BLv_0}$

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

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

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

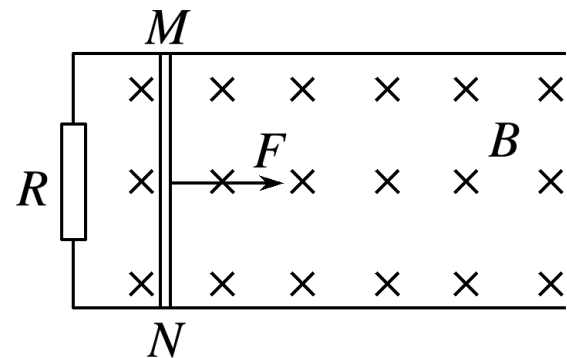
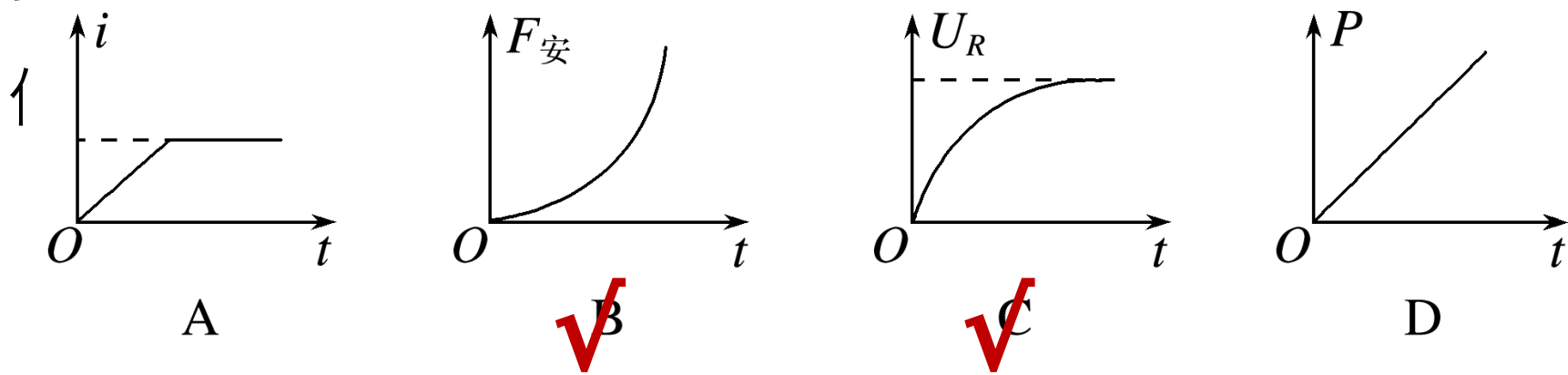
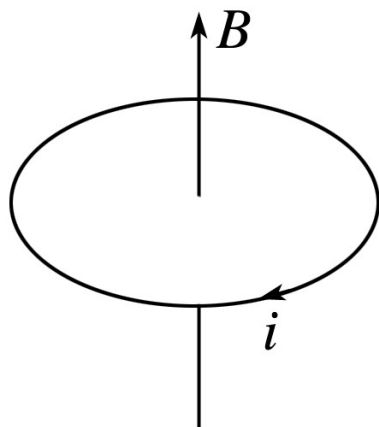


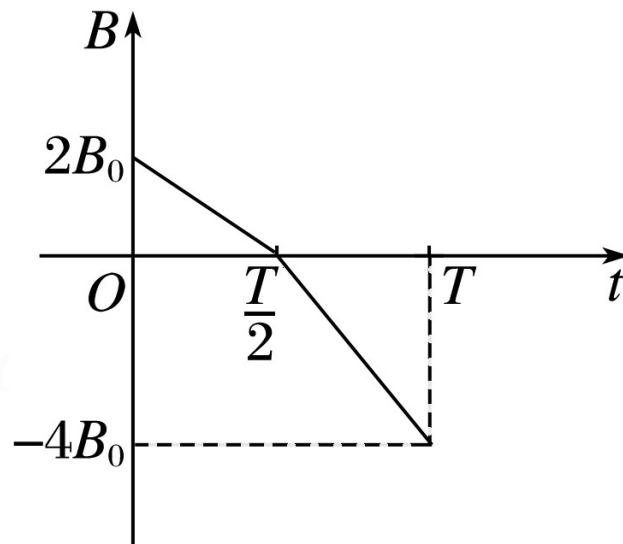
图 6

[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*i* 的是 ()

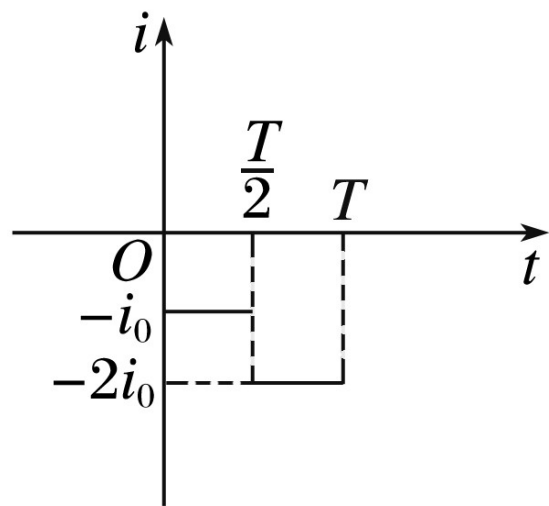


甲

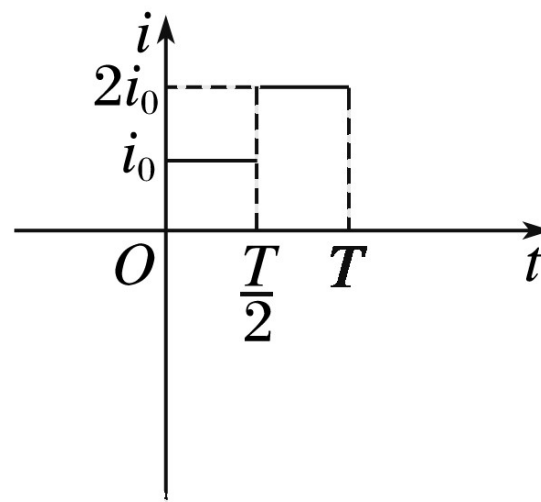


乙

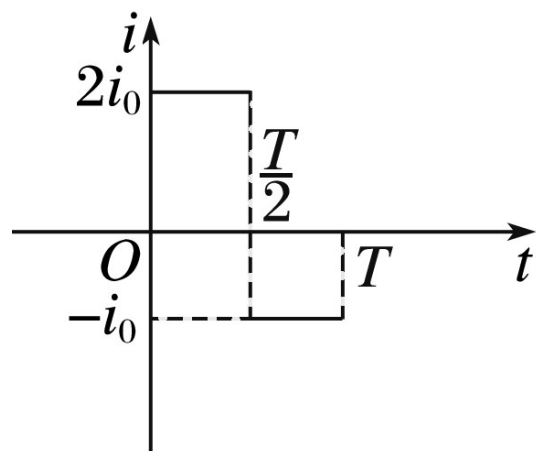
图 7



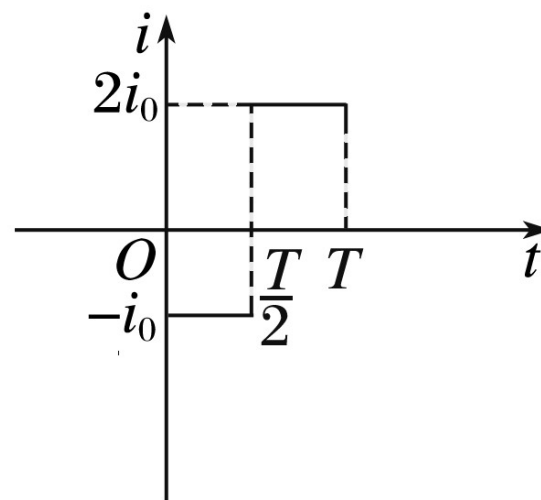
✓ A



B



C



D

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 $\frac{\sqrt{3}}{2}a$ ，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 (?)

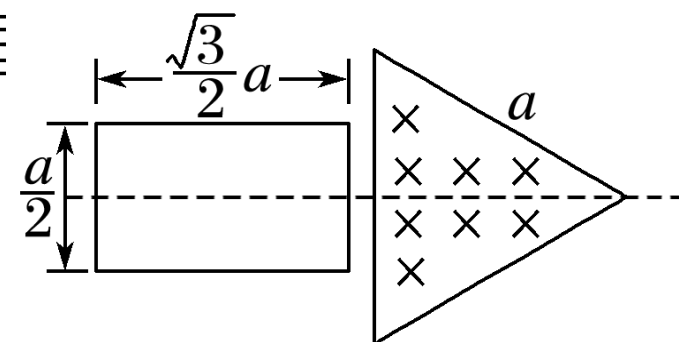
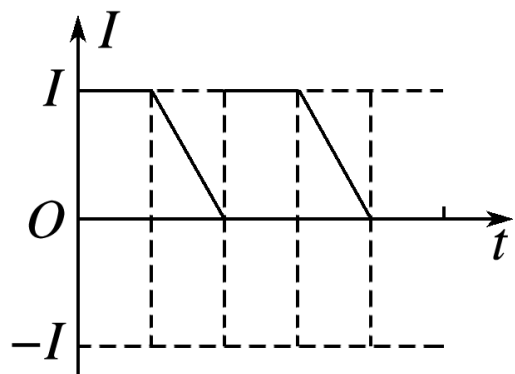
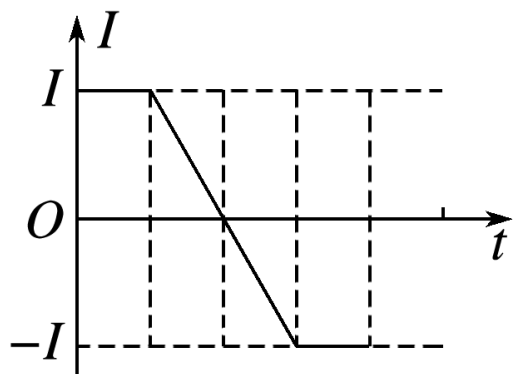


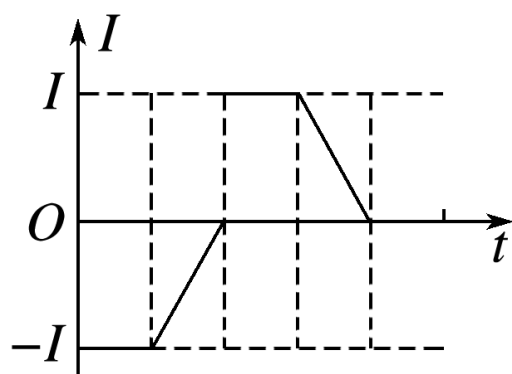
图 8



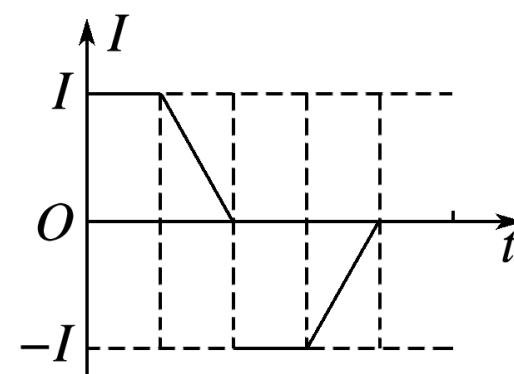
A



B



C



✓ D

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 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 (?)

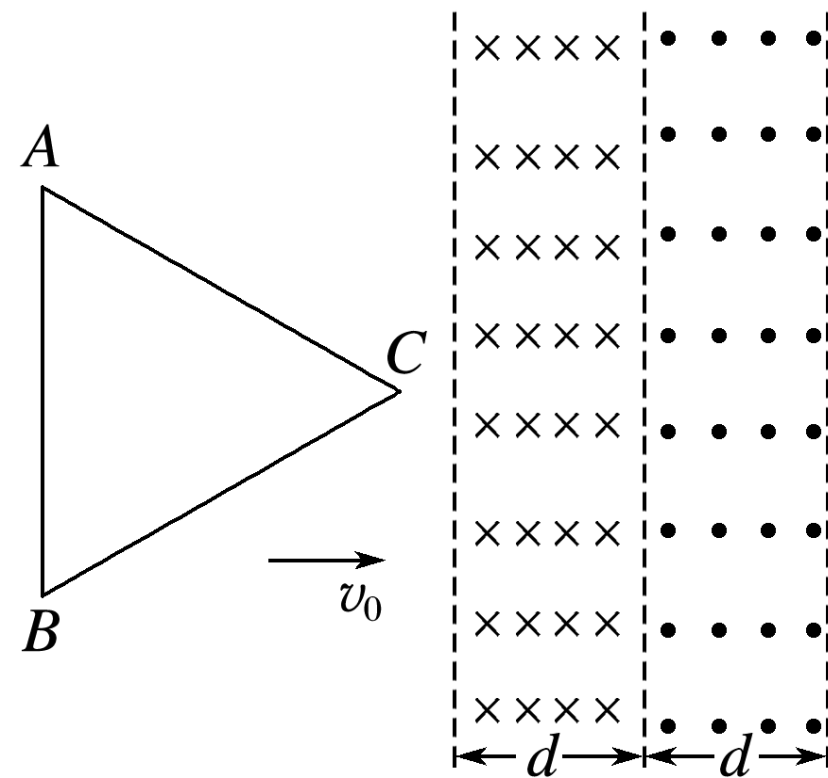
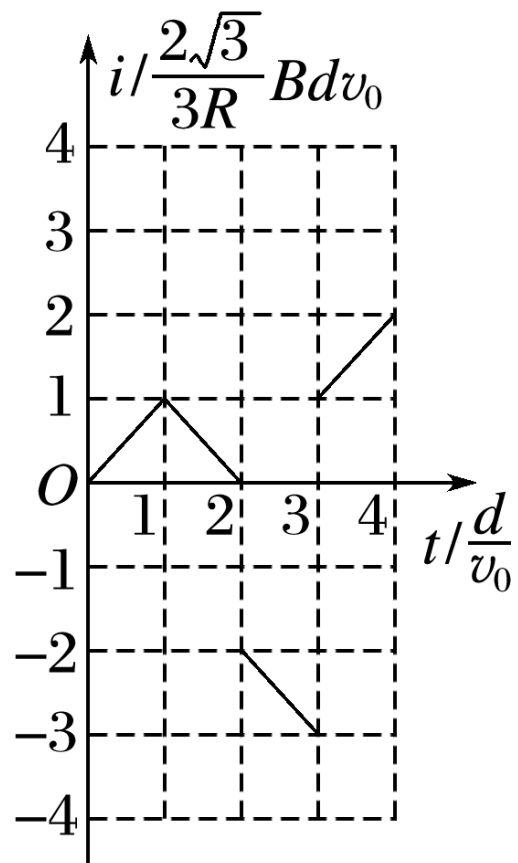
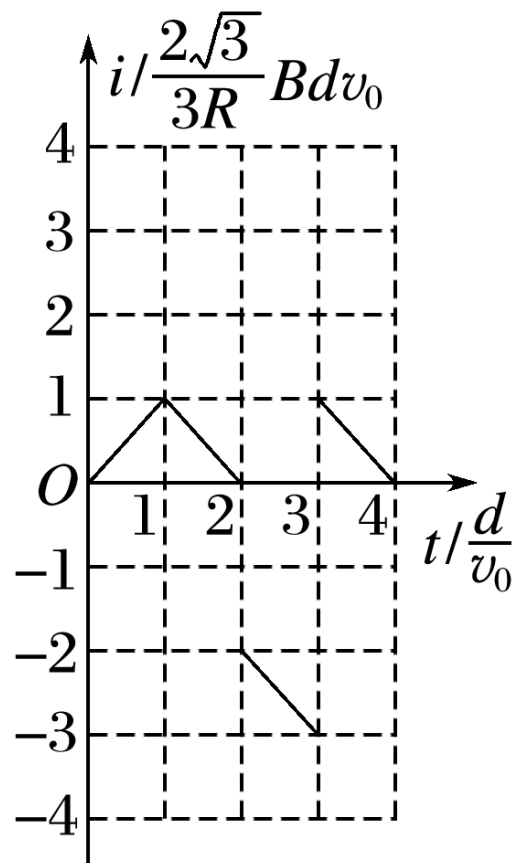


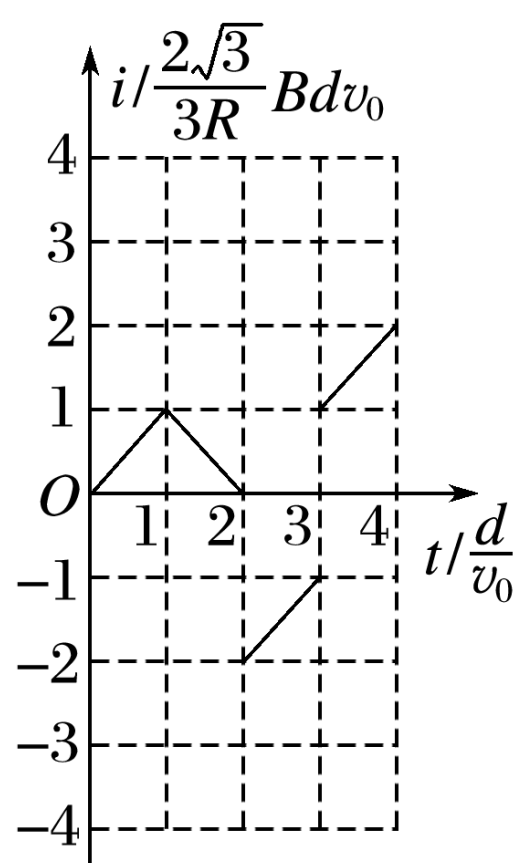
图 9



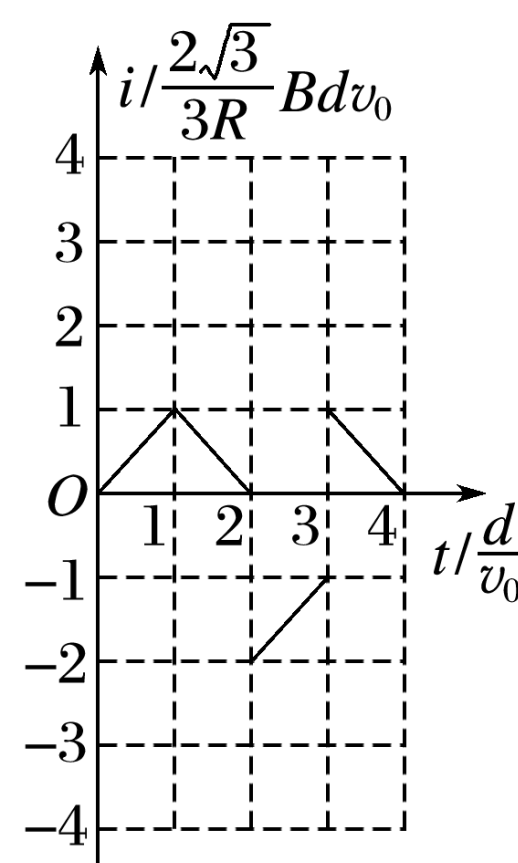
✓**A**



B



C



D

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 . 重力为 g . 求:

(1) 金属杆在磁场中运动时产生的电动势的大小;

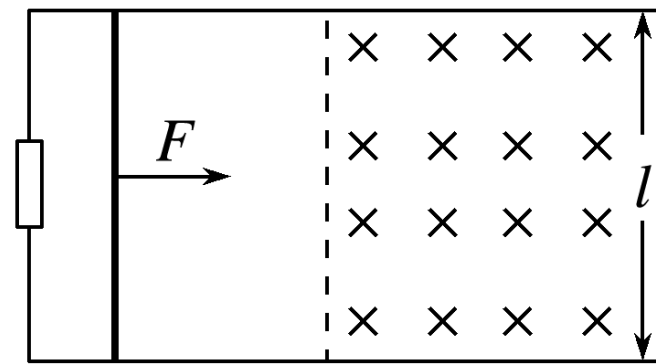


图 10

(2) 电阻的阻值 .

解析 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

$$I = \frac{E}{R} \quad \text{⑤}$$

式中 R 为电阻的阻值 . 金属杆所受的安培力为

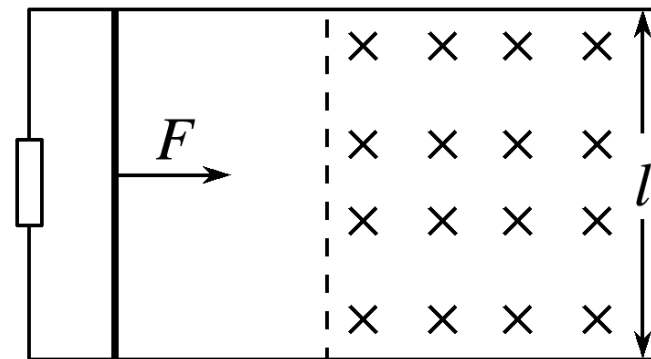
$$F_{\text{安}} = BIl \quad \text{⑥}$$

因金属杆做匀速运动 , 有

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

联立④⑤⑥⑦式得 $R = \frac{B^2 l^2 t_0}{m}$

答案 $\frac{B^2 l^2 t_0}{m}$



[变式训练]

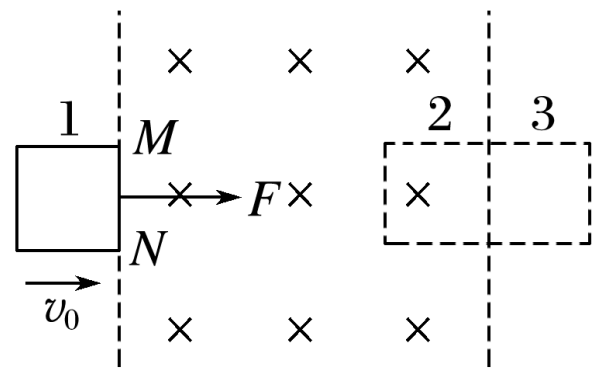
8. 如图 11(a) 所示，在光滑水平面上用恒力 F 拉质量为 1 kg 的单匝均匀正方形铜线框，在 1 位置以速度 $v_0 = 3 \text{ m/s}$ 进入匀强磁场时开始计时 $t = 0$ ，

此时线框中感应电动势为 1 V ，在 t 到达 2 位置开始离开匀强磁场。此过

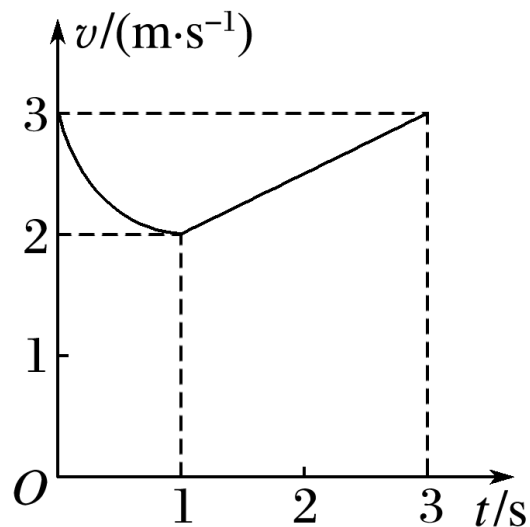
中 $v - t$ 图象如图 (b) 所示，那么(?)

A. 线框右侧边两端 MN 间的电压为

0.25 V



(a)



(b)

图 11

✓ 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

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，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 (?)

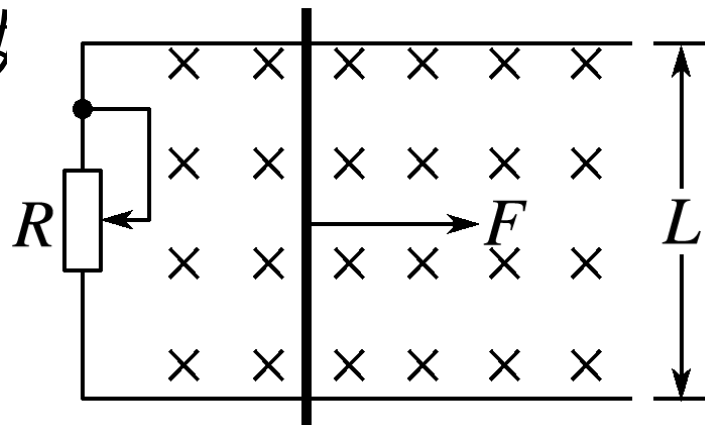


图 12

- 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 与恒力 F 成正比

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



(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

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。

$g = 10 \text{ m/s}^2$ ，求：

(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 ；

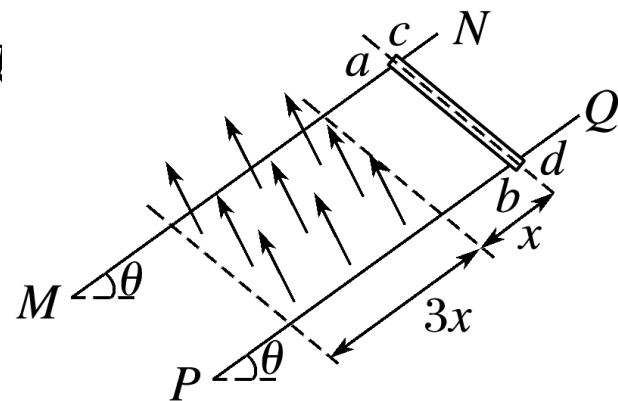


图 13

[思维规范流程]

(1) ab 进入磁场前

$$mgx\sin\theta = \frac{1}{2}mv_1^2 - 0 \quad \text{①}$$

步骤 1 : 列动能定理
方程

$$\text{得 } v_1 = \underline{4 \text{ m/s}} \quad \text{②}$$

ab 匀速进入, 列平衡
方程

$$\frac{mg\sin\theta}{} = F_{\text{安}} \quad \text{③}$$

$$F_{\text{安}} = \frac{BIL}{\underline{2R}} \quad \text{④}$$

分步列式, 得部分分

$$I = \frac{BLv_1}{} \quad \text{⑤}$$

$$E = \frac{}{1 \text{ A}} \quad \text{⑥}$$

$$\text{得: } I = \underline{\phantom{4 \text{ A}}} \quad \text{⑦}$$

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

设经时间 t , cd 进入磁场

$$x_{cd} = x = \frac{v_1}{2}t \quad \textcircled{8}$$

$$x_{ab} = v_1 t = 2x \quad \textcircled{9}$$

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

$$x_{cd}' = \frac{2x}{2} = \frac{B \cdot 2xL}{2R} \quad \textcircled{10}$$

$$q = \frac{\Delta\Phi}{2R} = \frac{0.8 \text{ C}}{2R} = \frac{0.8 \text{ C}}{2R} \quad \textcircled{11}$$

步骤 3 :

ab 匀速进入，列能量

$$Q_1 = \underline{mg \cdot 2x \cdot \sin \theta} \quad \textcircled{12}$$

守恒方程

$$Q_2 = \underline{mg \cdot 3x \cdot \sin \theta} \quad \textcircled{13}$$

cd 进出磁场速度相等，

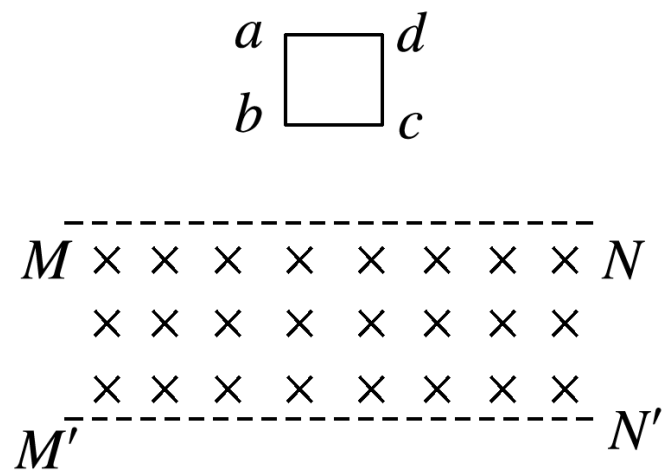
$$Q = Q_1 + Q_2 \text{ \& J } \underline{\hspace{1cm}} \quad \textcircled{14}$$

列能量守恒方程

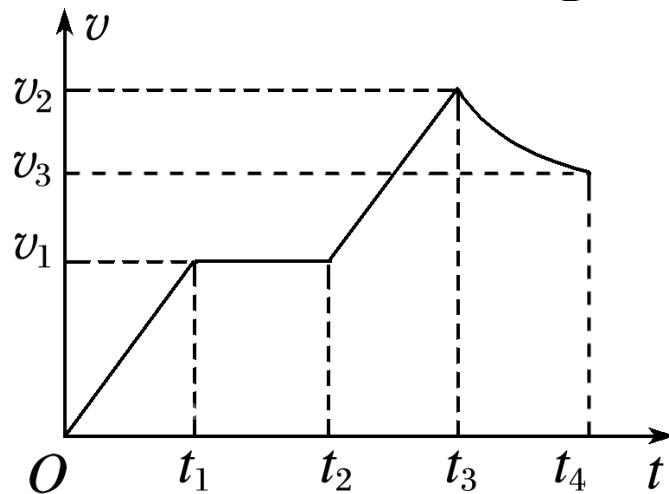
①③⑪⑫⑬⑭ 每式各 2 分，其余各式 1 分。

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

下列说法正确的:



甲



乙

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 $\frac{1}{v_1(t_1 - t_2)} \sqrt{\frac{mgR}{v_1}}$
- ✓ D. 金属线框在 $0 \sim t_4$ 的时间内所产生的热量为 $2mgv_1(t_2 - t_1) + \frac{1}{2}m(v_2^2 - v_3^2)$

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）。

(1) CD 棒进入磁场时速度 v 的大小；

解析 由牛顿第二定律得

$$a = \frac{F - mg \sin \theta}{m} = 12 \text{ m/s}^2$$

进入磁场时的速度

$$v = \sqrt{2as} = 2.4 \text{ m/s}$$

答案 2.4 m/s

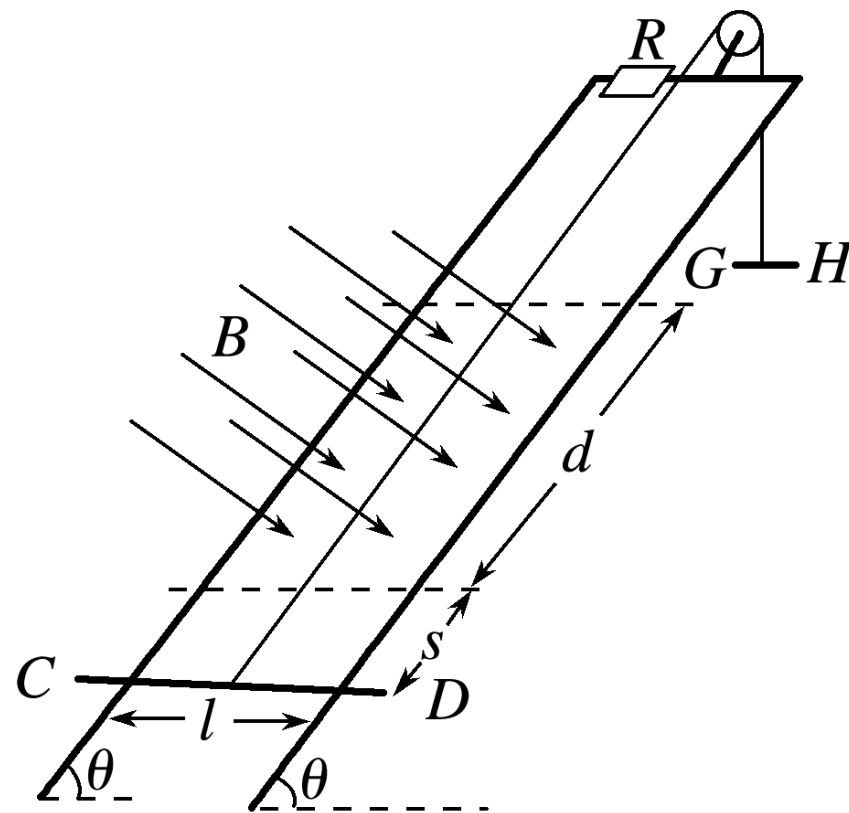


图 15

(2) CD 棒进入磁场时所受的安培力 $F_{\text{安}}$ 的大小；

解析 感应电动势 $E = Blv$

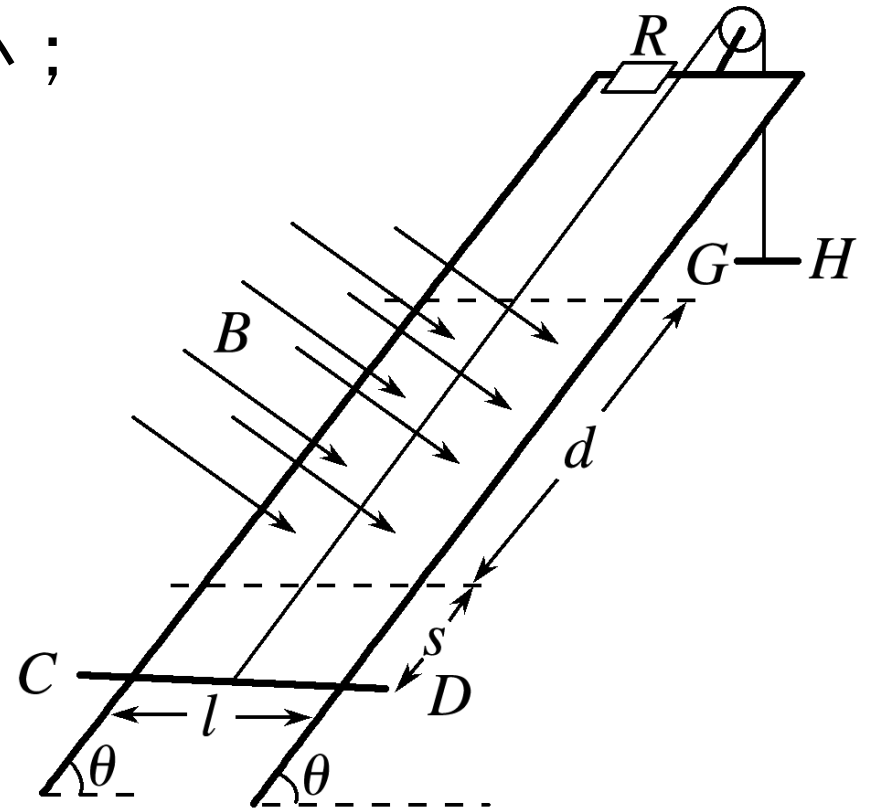
$$\text{感应电流 } I = \frac{Blv}{R}$$

安培力 $F_{\text{安}} =$

$$\text{代入得 } F_{\text{安}} = \frac{(Bl)^2 v}{R} = 48 \text{ N}$$

答案 48

N



(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 。

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

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

CD 棒在磁场区做匀速运动
在磁场中运动时间 $t = \frac{d}{v}$

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

答案 64 J 26.88 J

