

(2) 从开始释放到第二次刚离开 D_2 区域, 带电粒子共被加速 3 次, 设在电场中加速的总时间为 t_1 , 由牛顿第二定律有 $q \frac{U}{d} = ma$, 由运动学公式有 $3d = \frac{1}{2}at_1^2$, $t_1 = d\sqrt{\frac{6m}{qU}}$,

设带电粒子在磁场中运动的总时间为 t_2 , 周期 $T = \frac{2\pi m}{qB}$, $t_2 = \frac{3}{2}T = 24d\sqrt{\frac{2m}{qU}}$,

粒子从开始释放到第二次刚离开 D_2 区域的总时间为 $t = t_1 + t_2 = d\sqrt{\frac{6m}{qU}} + 24d\sqrt{\frac{2m}{qU}}$.

(3) 设带电粒子在电场中加速 n 次时速度达到最大, 此过程用的总时间为 t_n , $nd = \frac{1}{2}at_n^2$,

当在电场中加速 n 次的总时间小于或等于 $\frac{T}{2}$ 时, 带电粒子通过狭缝时一直做加速运动,


$t_n = \frac{T}{2}$, 解得 $n = 64$,

此后带电粒子经过狭缝时将做减速运动, 有 $nqU = \frac{1}{2}mv_m^2$, $v_m = 8\sqrt{\frac{2qU}{m}}$.

5. C 【解析】根据左手定则可知 P 板聚集了等离子体中的负离子, Q 板聚集了等离子体中的正离子, 所以 Q 板为正极, P 板的电势比 Q 板低, 所以通过金属棒 ab 的电流方向为 $a \rightarrow b$, 由题意可知金属棒 ab 所受安培力方向一定沿导轨向上, 根据左手定则可知导轨处磁场的方向垂直导轨平面向下, 故 **A、B 错误**; 当 P 、 Q 板间电压稳定时, 等离子体所受电场力与洛伦兹力大小相等, 即

$q \frac{U}{d} = qvB_1$, 流过金属棒的电流为 $I = \frac{U}{R}$, 对金属棒 ab , 根据平衡条件有 $mgsin \theta = F_{安}$, 其中 $F_{安} = B_2IL$, 联立解得 $v = \frac{mgRsin \theta}{B_1B_2Ld}$, 故 **C 正确, D 错误**.

6. A 【解析】流量 $Q = Sv = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 v$, 当 a 、 c 间电压稳定时, 正、负离子所受电场力等于洛伦兹力, 受力平衡, 即 $qvB = qE$, $E = \frac{U}{D}$, 解得 $U = BDv$, U 的大小与离子浓度无关, 所以流量 $Q = \frac{\pi DU}{4B}$, 解得 $B = \frac{\pi DU}{4Q}$, **A 正确, C、D 错误**; 磁场方向竖直向下, 由左手定则可知, 污水中的正离子受到的洛伦兹力向后, 聚集到 a 端, 负离子聚集到 c 端, a 侧电势比 c 侧电势高, **B 错误**.

7. B 【解析】设霍尔片前后侧面的电压为 U , 霍尔片内沿前后侧面的电场强度大小为 E_1 , 根据洛伦兹力与电场力平衡可得 $qvB = qE_1$, 其中 $I = neSv = nebcv$, $E_1 = \frac{U}{b}$, 联立解得 $U = \frac{BI}{nec}$, 故 **A 错误**; $E_1 = \frac{U}{b} = \frac{BI}{nebc}$, 沿电流方向的恒定电场为 $E = \frac{v}{\mu} = \frac{I}{\mu nebc}$, 则霍尔片内的电场强度大小为 $E_{合} = \sqrt{E_1^2 + E^2} = \frac{I}{nebc} \sqrt{B^2 + \frac{1}{\mu^2}}$, 故 **B 正确**;
 **易错点:** 霍尔片内的电场强度为前、后和左、右方向的电场强度矢量和

由于光电管所加的电压为正向电压, 则调节滑动变阻器, 不可以使电流表的示数减为零, 故 **C 错误**; 若 I 已经为光电效应达到的饱和电流, 则滑动变阻器滑片右移后, 电流 I 保持不变, 则单位时间到达光电管阳极的光电子数等于 $\frac{I}{e}$, 故 **D 错误**.

专题 12 电磁感应

考向 41 楞次定律的应用

1. C 【解析】地磁场的磁感应强度与“眼眶”平面垂直的分量大小为 B_2 , 则穿过“眼眶”的磁通量大小为 $\frac{1}{4}B_2\pi D^2$, **A 错误**; B 、 B_1 、 B_2 三者大小关系满足 $B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}$, **B 错误**; 在地球自转 90° 、 180° 的过程中, “眼眶”相对地磁场静止, 穿过“眼眶”磁通量的变化量均为 0, **C 正确, D 错误**.

2. D 【解析】按下按钮过程中, 穿过螺线管的磁通量向左增加, 根据楞次定律和安培定则可知, 感应电流的方向从 P 端经螺线管流向 Q 端, 则螺线管 Q 端电势较高, **A 错误**; 松开按钮过程中, 穿

 **易错点:** 螺线管中产生感应电流, 相当于电源

过线圈的磁通量向左减小, 根据楞次定律和安培定则可知, 感应电流的方向从 Q 端经螺线管流向 P 端, 此时螺线管 P 端电势较高, **B 错误**; 由上述分析可知, 按下和松开按钮的过程, 螺线管产生的感应电流方向相反, 故 **C 错误**; 按下和松开按钮的过程, 螺线管产生的感应电流方向相反, 螺线管所受的安培力方向相反,

D 正确.

3. D 【解析】在 $0 \sim t_1$ 时间内, 线圈 A 中的电流沿顺时针减小, 电流产生的磁场在减弱, 根据右手螺旋定则可知, 穿过线圈 B 的磁通量方向向里且在减小, 则线圈 B 的感应电流的方向为顺时针, 两线圈的电流同向, 相互吸引, 所以线圈 B 有收缩趋势, **A、B 错误**; t_1 时刻, 线圈 A 中的电流为零, 没有磁场, 因此线圈 B 既没有扩张的趋势, 也没有收缩的趋势, **C 错误**; $t_1 \sim t_2$ 时间内, 线圈 A 中的电流逆时针增大, 电流产生的磁场在增强, 根据右手螺旋定则可知, 穿过线圈 B 的磁通量方向向外且在增大, 则线圈 B 的感应电流方向为顺时针, 所以 $0 \sim t_2$ 时间内, 线圈 B 中的感应电流方向不变, 又由于线圈 A 中的电流变化率不变, 则穿过线圈 B 的磁通量变化率不变, 因此线圈 B 中的感应电流大小也不变, **D 正确**.

4. D 【解析】根据楞次定律可知磁铁一直减速, 直到和小车共速, **A 错误**; 当磁铁向小车运动时, 由楞次定律和安培定则可知, 电阻 R 中的电流方向由 A 流向 B , 系统不受外力, 故磁铁和小车的

总动量守恒,保持不变,C 错误;根据能量守恒定律可知,磁铁的动能转化为小车的动能与电阻 R 产生的热量,若磁铁到达螺线管右端时还未与螺线管共速,则磁铁将穿过螺线管并逐渐远离螺线管,根据楞次定律和安培定则可可知此时电阻 R 中的电流方向由 B 向 A ,磁铁和小车的总动能减少,故当磁铁处于螺线管正中位置时,磁铁和小车的总动能不是最小,B 错误,D 正确。

考向 42 法拉第电磁感应定律的直接应用

1. B 【解析】金属棒在运动过程中始终保持水平,结合右手定则可可知 a 端电势高于 b 端电势,由于金属棒没有形成闭合回路,故没有感应电流,金属棒不受安培力,只受重力,所以金属棒做平抛运动,水平速度不变,竖直分速度逐渐变大,所以 U_{ab} 逐渐增大,故 B 正确。

2. ACD 【解析】线框刚进入左侧磁场时,穿过线框的磁通量向里增大,根据楞次定律和安培定则可可知,线框中感应电流方向为逆时针,线框从位置 I 运动到位置 II 的过程中,穿过线框的磁通量先增大后减小,A、D 正确;线框在位置 II 时,根据右手定则可可知线框左右两边同时切割磁感线在线框中产生同向的电流,所以

关键点: 注意判断线框两边产生感应电流方向是否一致

总电流为 $I = \frac{2NBLv}{R}$,线框左右两边所受安培力的方向均向左,根据

受力平衡可得外力 $F = 2NBIL = \frac{4N^2 B^2 L^2 v}{R}$,此时线框中的电功

率为 $P = I^2 R = \frac{4N^2 B^2 L^2 v^2}{R}$,B 错误,C 正确。

3. C 【解析】由题意知,三根金属辐条始终有一根在磁场中切割磁感线,切割磁感线的金属辐条相当于内阻为 r 的电源,另外两根金属辐条和定值电阻 R_0 并联,结合右手定则可可知,辐条进出磁场前后电流的大小、方向均改变,故 A 错误;电路的总电阻 $R = r + \frac{r}{3} = \frac{4r}{3}$,圆环匀速转动时产生的感应电动势 $E = BL \frac{\omega L}{2} = \frac{BL^2 \omega}{2}$,所以定值电阻 R_0 两端的电压 $U = \frac{E}{R} \cdot \frac{r}{3} = \frac{BL^2 \omega}{8}$,通过定值电阻 R_0 的电流 $I = \frac{U}{R_0} = \frac{BL^2 \omega}{8r}$,故 B 错误,C 正确;圆环转动一周,定值电阻 R_0 产生的热量 $Q = I^2 r T$,其中 $T = \frac{2\pi}{\omega}$,解得 $Q = \frac{\pi B^2 L^4 \omega}{32r}$,故 D 错误。

4. BD 【解析】根据右手定则可可知,导体棒 AB 逆时针切割磁感线时,产生的感应电流从 B 流向 A ,A 错误;根据 $E = BLv$ 以及 $v = r\omega$ 可得导体棒切割磁感线时产生的电动势 $E = BLv = Br \left(\frac{r\omega + 2r\omega}{2} \right) = \frac{3}{2} Br^2 \omega$,切割磁感线的导体棒相当于电源,则 AB 两端的电压相当于电源的路端电压,根据闭合电路欧姆定律可知, $U_{AB} = \frac{E}{2R} \cdot R = \frac{3}{4} B\omega r^2$,B 正确; AB 相当于电源,在 AB 内部电流方向由 B 向 A ,故导体棒 A 端相当于电源正极,故与 A 相连的电容器 M 板带正电,C 错误;由 B 项分析知, AB 两端的电压为 $\frac{3}{4} B\omega r^2$,则电容

器两端的电压也为 $\frac{3}{4} B\omega r^2$,所以电容器所带电荷量 $Q = CU =$

$\frac{3}{4} C B\omega r^2$,D 正确。

5. D 【解析】根据法拉第电磁感应定律 $E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = n \frac{\Delta B}{\Delta t} S$,可知 t_2

时刻,磁通量变化率最大,圆环中感应电流最大,A 错误;在 t_3 时刻,磁感应强度最大,但是磁通量的变化率为零,则感应电流为零,圆环上各点受到的安培力为零,B 错误;由上述分析可知,当感应电流最大时,磁感应强度为零,根据 $F = BIL$ 可知此时圆环上某一小段 Δl 所受安培力为零,C 错误; $t_2 \sim t_3$ 时间内,磁感应强度垂直圆环向外,逐渐增大,根据楞次定律和安培定则可可知圆环中感应电流沿顺时针方向,D 正确。

6. AC 【解析】由磁感应强度 B 的大小随时间 t 的变化关系可知,穿过金属框的磁通量变大,由楞次定律和安培定则可可知,金属框中的感应电流方向为逆时针,根据法拉第电磁感应定律 $E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$

可得,金属框中的感应电动势为 $E = \frac{\Delta B}{\Delta t} \times \frac{L^2}{2} = 0.1 \text{ V}$,整个金属框

的电阻为 $R = \lambda \times 4L = 4 \times 10^{-2} \Omega$,则感应电流为 $I = \frac{E}{R} = 2.5 \text{ A}$,根据

题意,由磁感应强度 B 的大小随时间 t 的变化关系可得, $t = 3 \text{ s}$ 时,磁感应强度大小为 $B_3 = (0.8 + 0.4 \times 3) \text{ T} = 2.0 \text{ T}$,由左手定则可可知,金属框受到竖直向上的安培力,由题图可知,有效长度为 $L_1 = \sqrt{2}L = 1 \text{ m}$,则金属框受到的安培力大小为 $F = B_3 I L_1 = 5 \text{ N}$,又有 $G = mg = 5 \text{ N} = F$,则细绳对金属框的拉力为 0,即力传感器的示数为 0,故 B 错误,A 正确;根据题意,由公式 $q = It$ 可得, $0 \sim 3 \text{ s}$ 内,通过金属框横截面的电荷量为 $q = 2.5 \times 3 \text{ C} = 7.5 \text{ C}$,故 D 错误,C 正确。

7. D 【解析】在 $0 \sim 1 \text{ s}$ 内,磁感应强度 B 向里不断增大,根据楞次定律可知,在两环之间区域产生的感应磁场垂直纸面向外,由安培定则可可知感应电流方向由 a 到 b , b 点相当于电源正极, a 点相当于电源负极,则 $\varphi_a < \varphi_b$,故 A 错误;若将 a 、 b 间小缺口闭合,由右手螺旋定则可可知,在 $0 \sim 1 \text{ s}$ 内小圆环上的电流方向与题图甲中箭头所示方向相反,故 B 错误;若将 a 、 b 间小缺口闭合,在 $1 \sim 3 \text{ s}$ 内,磁感应强度的变化率不变,可知在 $t = 2 \text{ s}$ 前后瞬间回路中感应电动势不变,则电流也不变,故 C 错误;由法拉第电磁感应定律可知, $1 \sim 3 \text{ s}$ 内,圆环产生的感应电动势 $E = n \frac{|\Delta \Phi|}{\Delta t} = \frac{|\Delta B \cdot S|}{\Delta t} = \frac{1(-10-10)\pi(2^2-1^2)}{3-1} \text{ V} = 30\pi \text{ V}$,即理想电压表读数为 $30\pi \text{ V}$,故 D 正确。

8. AD 【解析】线圈中磁场先向左减弱后向右增强,由楞次定律可知,感应磁场的方向一直向左,由安培定则可可知感应电流方向由 b 到 a ,则 a 端的电势比 b 端的电势高,故 A 正确;在 $0 \sim t_1$ 时间内,通过线圈的磁通量的变化量为 $\Delta \Phi = SB_2 - S(-B_1) = S(B_2 + B_1)$,故 B 错误;由法拉第电磁感应定律有 $E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} =$

$$\frac{nS(B_2+B_1)}{t_1} = \frac{nSB_2}{t_1-t_0} = U_{ab}, \text{故 C 错误; 若用导线将线圈的 } a、b \text{ 两端}$$

→ **突破点:** 利用题图乙图像斜率推导求解

$$\text{连接起来, 通过导线横截面的电荷量 } q = \bar{I} \Delta t = \frac{\bar{E}}{R} \Delta t = \frac{n \Delta \Phi}{R \Delta t} \Delta t =$$

$$n \frac{\Delta \Phi}{R} = \frac{nS(B_2+B_1)}{R}, \text{故 D 正确.}$$

考向 43 电磁感应中的图像问题

- 1. D** 【解析】由题图乙可知, $0 \sim 1$ s 内, 磁感应强度 B 沿正方向增大, 线框所包围区域中的 Φ 增大, 由楞次定律和安培定则可知, 感应电流沿逆时针方向, 为负值; $1 \sim 2$ s 内, 磁通量不变, 无感应电流; $2 \sim 3$ s 内, 磁感应强度 B 的方向垂直于纸面向里且逐渐减小, 则 Φ 减小, 由楞次定律和安培定则可知, 感应电流沿顺时针方向, 为正值; $3 \sim 4$ s 内, B 的方向垂直于纸面向外且逐渐增大, 则 Φ 增大, 由楞次定律和安培定则可知, 感应电流沿顺时针方向, 为正值, **A、B、C 错误**. 由左手定则可知, 在 $0 \sim 1$ s 内, bc 边受到的安培力方向水平向左, 是正值, 根据 $F = BIL$ 和 $I = nS \frac{\Delta B}{R \Delta t}$, 可知安培力均匀增加; $1 \sim 2$ s 内无感应电流, bc 边不受安培力; $2 \sim 3$ s 内, 安培力方向水平向右, 是负值且均匀减小; $3 \sim 4$ s 内, 安培力方向水平向左, 是正值且均匀变大, **D 正确**.

- 2. B** 【解析】设导线框匀速运动的速度为 v , 导线框电阻为 R . 在 $0 \leq x < L$ 过程中, 导线框进入左侧磁场, 穿过导线框的磁通量向外增大, 根据楞次定律和安培定则可知, 感应电流为顺时针方向 (负方向), 导线框切割磁感线的有效长度先增大后减小, 根据 $I_1 = \frac{E_1}{R} = \frac{BL_{\text{有}} v}{R}$ 可知导线框的电流先增大后减小, 其中最大电流为 $I_{1\text{max}} = \frac{BLv}{R}$, 在 $L \leq x < 2L$ 过程中, 导线框从左侧磁场进入右侧磁场, 穿过导线框的磁通量向外减小、向里增大, 根据楞次定律和安培定则可知, 感应电流为逆时针方向 (正方向), 导线框切割磁感线的有效长度先增大后减小, 根据 $I_2 = \frac{E_2}{R} = \frac{2BL_{\text{有}} v}{R}$ 可知导线框的电流先增大后减小, 其中最大电流为 $I_{2\text{max}} = \frac{2BLv}{R}$, 在 $2L \leq x < 3L$ 过程中, 导线框离开右侧磁场, 穿过导线框的磁通量向里减小, 根据楞次定律和安培定则可知, 感应电流为顺时针方向 (负方向), 导线框切割磁感线的有效长度先增大后减小, 根据 $I_3 = \frac{E_3}{R} = \frac{BL_{\text{有}} v}{R}$ 可知导线框的电流先增大后减小, 其中最大电流为 $I_{3\text{max}} = \frac{BLv}{R}$, **B 正确**.

- 3. BC** 【解析】设线框位移为 x 时的速度为 v , 则由动量定理有 $-BIL \Delta t = mv - m \cdot 4v_0$, 其中 $q = \bar{I} \Delta t = \frac{E}{R} \times \Delta t = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t R} \Delta t = \frac{BLx}{R}$, 可得 $v = 4v_0 - \frac{B^2 L^2 x}{mR}$, 设线框完全进入磁场时的速度为 v_1 , 则进入磁场的过
- **突破点:** 根据动量定理结合电荷量表达式求出速度的表达式

程有 $-B \bar{I}_1 L \Delta t_1 = mv_1 - m \cdot 4v_0$, 其中 $q_1 = \bar{I}_1 \Delta t_1 = \frac{BL^2}{R}$, 线框完全进入磁场到完全离开磁场的过程有 $-B \bar{I}_2 L \Delta t_2 = -mv_1$, 其中 $q_2 = \bar{I}_2 \Delta t_2 = \frac{BL^2}{R} = q_1$, 联立解得 $v_1 = 2v_0$, 线框 ab 边开始进入磁场时 $U_{ab} = \frac{3}{4} E = \frac{3}{4} BL \times 4v_0 = 3BLv_0$, 线框完全进入磁场的瞬间 $U_{ab} = \frac{3}{4} E' = \frac{3}{4} BL \times 2v_0 = 1.5BLv_0$, 完全进入磁场后在磁场中匀速运动 L , 此时 $U_{ab} = BL \times 2v_0 = 2BLv_0$, 线框的 ab 边刚离开磁场时 $U_{ab} = \frac{1}{4} E' = \frac{1}{4} BL \times 2v_0 = \frac{1}{2} BLv_0$, 线框完全离开磁场后速度减为零, 此时 $U_{ab} = 0$, 可知 **A 错误, B 正确**; 线框 ab 边开始进入磁场时安培力 $F_{\text{安}0} = B \frac{BL \times 4v_0}{R} L = \frac{4B^2 L^2 v_0}{R}$, 在进入过程中有 $F_{\text{安}} = BIL = \frac{B^2 L^2}{R} v = \frac{4B^2 L^2 v_0}{R} - \frac{B^4 L^4}{mR^2} x$, 即安培力 F 与 x 成线性关系, 随 x 增大而均匀减小. 完全进入磁场的瞬间, 线框所受安培力 $F_{\text{安}1} = B \frac{BL \times 2v_0}{R} L = \frac{2B^2 L^2 v_0}{R}$, 线框完全进入磁场后电流为零, 故安培力为零, 线框的 ab 边刚要离开磁场时, 线框所受安培力 $F_{\text{安}2} = \frac{2B^2 L^2 v_0}{R}$, 线框完全离开磁场时安培力减为零, **C 正确, D 错误**.

考向 44 电磁感应与多模块知识的综合应用

- 1. AD** 【解析】导体棒以某一初速度从 ab 位置向右运动距离 x 到达 cd 位置时, 速度为 v , 产生的感应电动势为 E , 则 $E = BLv$, **B 错误, A 正确**; 导体棒以某一初速度从 ab 位置运动到 cd 位置的过程中, 产生的平均感应电动势 $\bar{E} = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{BLx}{\Delta t}$, 因为导体棒有电阻, 电阻 R_1 两端的电压是路端电压, 则 $q_1 = \bar{I}_1 \Delta t = \frac{\bar{U}}{R_1} \Delta t \neq \frac{\bar{E}}{R_1} \Delta t = \frac{BLx}{R_1}$, **C 错误**; 因为电阻 R_1 、 R_2 并联, 两端的电压相等, 根据 $q = \bar{I} \Delta t = \frac{\bar{U}}{R} \Delta t$, 则通过电阻 R_1 、 R_2 的电荷量之比为 $\frac{q_1}{q_2} = \frac{R_2}{R_1}$, **D 正确**.
- 2. D** 【解析】根据右手定则可知, 线圈进入磁场过程中 bc 边的电流方向由 c 指向 b , 故 **A 错误**; 根据右手定则可知, 线圈离开磁场过程中 ad 边充当电源, 电流方向为 $d \rightarrow a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$, 外电路中电流由高电势处流向低电势处, 故 b 点电势高于 c 点电势, 故 **B 错误**; 整个过程中, 产生的感应电动势 $E = BLv = 0.5 \times 0.2 \times 8 \text{ V} = 0.8 \text{ V}$, 根据闭合电路的欧姆定律可得感应电流为 $I = \frac{E}{R} = 8 \text{ A}$, 线圈以 8 m/s 的速度向右匀速穿过磁场区域, 拉力的大小等于安培力大小, 即 $F = F_{\text{安}} = BIL = 0.8 \text{ N}$, 根据功能关系可知, 线圈穿过磁场区域过程中产生的焦耳热等于克服安培力做的功, 即等于拉力 F 做的功, 所以线圈穿过磁场区域过程中克服安培力做功为 $W = F \times 2L = 0.32 \text{ J}$, 故 **C 错误**; 线框穿过磁场的整个过程中产生的焦耳热 $Q = W = 0.32 \text{ J}$, 线圈穿过磁场区域过程中感应电流

在 bc 边产生的焦耳热为 $\frac{1}{4}Q = 0.08 \text{ J}$, 故 **D 正确**.

- 3. C** 【解析】由右手定则及左手定则可知, ab 棒所受安培力的方向与运动方向相反, 由牛顿第二定律可得, 加速度大小 $a = \frac{F_{\text{安}}}{m} = \frac{BIL}{m}$, 又 $I = \frac{E}{2R} = \frac{BLv}{2R}$, 联立解得 $a = \frac{B^2 L^2 v}{2mR}$, 可知 ab 棒做加速度减小的减速直线运动, **A 错误**; ab 棒做加速度减小的减速直线运动, 速度从 $\frac{v_0}{2}$ 减速至 $\frac{v_0}{4}$ 的过程中, 其平均速度 $\bar{v} < \frac{\frac{v_0}{2} + \frac{v_0}{4}}{2} = \frac{3}{8}v_0$, 则有 $s = \bar{v}t < \frac{3}{8}v_0 t$, **B 错误**; 根据动能定理可得 $-W_{\text{安}} = \frac{1}{2}m\left(\frac{v_0}{4}\right)^2 - \frac{1}{2}m\left(\frac{v_0}{2}\right)^2$, 解得 ab 棒克服安培力做功大小为 $W_{\text{安}} = \frac{3}{32}mv_0^2$, **C 正确**; 左侧电阻 R 产生的焦耳热为 $Q_R = \frac{R}{R+R}Q = \frac{1}{2}W_{\text{安}} = \frac{3}{64}mv_0^2$, **D 错误**.

- 4. C** 【解析】线框在进入磁场的过程中, 受到向左的安培力而做减速运动, 线框受到的安培力大小为 $F = BIL = \frac{B^2 L^2 v}{R}$, 可知随着速度减小, 线框受到的安培力减小, 加速度减小, 所以线框在进入磁场的过程中, 做加速度逐渐减小的减速直线运动, **A 错误**; 线框在进入磁场的过程中, 取向右为正方向, 根据动量定理得 $-B\bar{I}L\Delta t = m\Delta v$, 其中 $\bar{I}\Delta t = \frac{E}{R}\Delta t = \frac{BL\Delta x}{R}$, 解得 $\frac{\Delta v}{\Delta x} = -\frac{B^2 L^2}{mR}$, 所以另类加速度 A 不变, **B 错误**; 线框在进入磁场的过程中, 取向右为正方向, 根据动量定理有 $-B\bar{I}L\Delta t = -\frac{B^2 L^3}{R} = mv - mv_1$, 线框穿出磁场的过程中, 有 $-B\bar{I}'L\Delta t' = -\frac{B^2 L^3}{R} = mv_2 - mv$, 联立解得 $v = \frac{v_1 + v_2}{2}$, **C 正确**, **D 错误**.

- 5. BD** 【解析】根据动能定理可得 $mgh - W_f = \frac{1}{2}mv^2 - 0$, 故克服摩擦力所做的功为 $W_f = mgh - \frac{1}{2}mv^2$, **A 错误**; 根据法拉第电磁感应定律可得 $\bar{E} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{BLd}{\Delta t}$, 回路中的平均感应电流 $\bar{I} = \frac{\bar{E}}{2R} = \frac{BLd}{2R\Delta t}$, 故通过电阻 R 的电荷量 $q = \bar{I} \cdot \Delta t = \frac{BLd}{2R\Delta t} \cdot \Delta t = \frac{BLd}{2R}$, **B 正确**; 由能量守恒定律可知导体棒的动能一部分转化为整个电路中产生的焦耳热, 另一部分转化为摩擦产生的热量, 所以整个电路中产生的焦耳热为 $Q = \frac{1}{2}mv^2 - \mu mgd$, **C 错误**; 由动量定理可知 $-B\bar{I}L \cdot \Delta t - \mu mg \cdot \Delta t = 0 - mv$, $q = \bar{I} \cdot \Delta t = \frac{BLd}{2R}$, 解得 $\Delta t = \frac{v}{\mu g} - \frac{B^2 L^2 d}{2\mu mgR}$, **D 正确**.

- 6. (1)** $\frac{mv_0}{BL}$ **(2)** $\frac{3v_0}{4\mu g} - \frac{v_1 + 2v_2}{2\mu g}$ **(3)** $\frac{mv_2 R}{B^2 L^2} - \frac{1}{4}mv_2^2$

【解析】(1) 开关闭合的瞬间, 处于磁场中的导体棒 P_1 受到安培力的冲量 $I_{\text{安}} = m_1 v_0$, 即 $\sum BI_1 L \cdot \Delta t = m_1 v_0$, $BqL = m_1 v_0$, 可得 $q =$

$$\frac{m_1 v_0}{BL} = \frac{mv_0}{BL}.$$

- (2) 在开关闭合后又断开的瞬间, 导体棒 P_2 受到安培力的冲量 $I'_{\text{安}} = m_2 v_{20}$, 即 $\sum BI_2 L \cdot \Delta t = m_2 v_{20}$, 由于 P_1 、 P_2 并联, 电流 $I_1 : I_2 = 2R : R = 2 : 1$, 可得 $v_{20} = \frac{v_0}{4}$, 导体棒 P_1 从开始运动到通过边界 $O_1 O_2$ 过程中, 对导体棒 P_1 , 有 $I_{\text{安}1} = m_1 v_0 - m_1 v_1$, 对导体棒 P_2 , 有 $I_{\text{安}2} - \mu m_2 g t = m_2 v_2 - m_2 v_{20}$, 可得导体棒 P_2 的运动时间 $t =$

$$\frac{m_1(v_0 - v_1) - m_2(v_2 - v_{20})}{\mu m_2 g}, \text{ 联立解得 } t = \frac{3v_0}{4\mu g} - \frac{v_1 + 2v_2}{2\mu g}.$$

- (3) 导体棒 P_2 以速度 v_2 冲上平行导轨 EF 、 GH 后, 导体棒 P_2 、 P_3 动量守恒, 有 $2m \cdot v_2 = 4mv$, 设导体棒 P_2 、 P_3 的速度差为 Δv , 对导体棒 P_2 , 由动量定理有 $\sum \frac{B^2 \cdot 2L\Delta v}{4R} \cdot 2L \cdot \Delta t = 2mv_2 - 2mv$, 即 $\frac{B^2 \cdot 4L^2}{4R} \cdot \Delta x = 2mv_2 - 2mv$, 可得导体棒 P_3 至 EG 初始时的距离至少为 $\Delta x = \frac{mv_2 R}{B^2 L^2}$, 此时 P_2 、 P_3 恰好没有碰撞, 对导体棒 P_2 与 P_3 , 由能量守恒定律得 $2Q = \frac{1}{2} \times 2m \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} \times 4m \cdot v^2$, 可得 $Q = \frac{1}{4}mv_2^2$.

重难专项 12 电磁感应的五种模型

- 1. ABD** 【解析】根据左手定则和平衡条件可知, 金属棒 ab 所受的安培力方向沿倾斜轨道向上, 则金属棒 ab 中的电流方向为从 b 到 a , 根据楞次定律可知, B_1 均匀减小, 故 **A 正确**; 螺线管中产生的感应电动势为 $E = n \frac{\Delta B_1}{\Delta t} S$, 回路中总电阻为 $R_{\text{总}} = R + \frac{2R \times 2R}{2R + 2R} = 2R$, 回路中的总电流为 $I = \frac{E}{R_{\text{总}}} = \frac{E}{2R}$, ab 产生的感应电动势 $E = n \frac{\Delta B_1}{\Delta t} S$, 金属棒受到的安培力大小为 $F = B_2 \cdot \frac{I}{2} \cdot L$, 由平衡条件得 $F = mg \sin \alpha$, 联立解得 $\frac{\Delta B_1}{\Delta t} = \frac{4mgR \sin \alpha}{nB_2 SL}$, 故 **B 正确**; 断开开关 K 之后, 回路总电阻为 $4R$, 根据牛顿第二定律有 $mg \sin \alpha - \frac{B_2^2 L^2 v}{4R} = ma$, 则金属棒 ab 将做变加速直线运动, 故 **C 错误**; 断开开关 K 之后, 金属棒 ab 的速度最大时受力平衡, 有 $B_2 I' L = mg \sin \alpha$, $I' = \frac{B_2 L v}{4R}$, 联立解得 $v = \frac{4Rmg \sin \alpha}{B_2^2 L^2}$, 故 **D 正确**.

- 2. D** 【解析】对导体棒从开始运动至到达虚线 PQ 的过程, 由动能定理可得 $F \frac{L}{2} - \mu mg \frac{L}{2} = \frac{1}{2}mv_0^2 - 0$, 解得动摩擦因数 $\mu = 0.44$, **A 错误**; 对导体棒经过磁场区域的过程, 由动量定理得 $-B\bar{I}L\Delta t = mv - mv_0$, 通过导体棒横截面的电荷量 $q = \bar{I}\Delta t$, 解得 $q = \frac{4m}{5B} \sqrt{\frac{g}{L}}$, **B 错误**; 导体棒通过磁场过程, 根据能量守恒定律可知, 整个回路中产生的焦耳热 $Q = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv^2$, 可得 $Q = \frac{24mgL}{25}$, 则导体棒上

产生的焦耳热 $Q_{\text{棒}} = Q \times \frac{\frac{R}{2}}{\frac{R}{2} + R} = \frac{8mgL}{25}$, C 错误; 设虚线 PQ 和 MN 之间的距离为 Δx , 可得 $q = \frac{BL\Delta x}{R + \frac{R}{2}}$, 解得 $\Delta x = \frac{6mR}{5B^2L^2} \sqrt{gL}$, D 正确.

3. C 【解析】金属棒 cd 在恒力 F 的作用下由静止开始加速, 此时金属棒 ab 、 cd 的加速度分别为 $a_{ab} = 0$, $a_{cd} = \frac{F}{m}$, 之后回路中出现感应电流, 金属棒 cd 受到的安培力与恒力 F 反向, 金属棒 cd 的加速度减小, 金属棒 ab 在安培力的作用下开始加速, 金属棒 cd 与金属棒 ab 的速度差逐渐增大, 两棒所受安培力 $F_{\text{安}} = \frac{B^2L^2}{R_{\text{总}}}(v_{cd} - v_{ab})$ 逐渐增大, 金属棒 cd 的加速度减小, 金属棒 ab 的加速度增大, 当 $a_{cd} = a_{ab}$ 时, $v_{cd} - v_{ab}$ 不再变化, 回路中的感应电流不再变化, 安培力不变, 两棒加速度不变, 但是两金属棒的速度仍在增大, 故 C 正确.

4. ACD 【解析】导体棒 cd 锁定前瞬间运动状态达到稳定, 两导体棒组成的系统动量守恒, 稳定时达到共速, 根据动量守恒定律有 $2mv_0 = (2m+m)v_1$, 解得 $v_1 = \frac{2}{3}v_0$, A 正确; 锁定导体棒 cd 前, 根据能量守恒定律有 $Q = \frac{1}{2} \cdot 2mv_0^2 - \frac{1}{2} \cdot 3mv_1^2$, 解得 $Q = \frac{1}{3}mv_0^2$, 两导体棒电阻相等, 则导体棒 cd 产生的焦耳热为 $Q' = \frac{1}{2}Q = \frac{1}{6}mv_0^2$, B 错误; 锁定导体棒 cd 前, 对导体棒 cd , 由动量定理得 $\bar{B}IL \cdot \Delta t = mv_1$, 又 $q_1 = \bar{I} \cdot \Delta t$, 联立得 $BLq_1 = mv_1$, $q_1 = \frac{2mv_0}{3BL}$, 导体棒 cd 锁定后, 对导体棒 ab , 由动量定理得 $-\bar{B}I'L \cdot \Delta t' = 0 - 2mv_1$, 又 $q_2 = \bar{I}'\Delta t'$, 联立解得 $BLq_2 = 2mv_1$, $q_2 = \frac{4mv_0}{3BL}$, 整个过程中, 通过导体棒 cd 的电荷量即为通过整个回路的电荷量, 有 $q = q_1 + q_2 = \frac{2mv_0}{BL}$, C 正确; 锁定导体棒 cd 前, 由题意得 $q_1 = \bar{I} \cdot \Delta t = \frac{E}{2r} \cdot \Delta t = \frac{BL(x_1 - x_0)}{2r \cdot \Delta t} \cdot \Delta t = \frac{BL(x_1 - x_0)}{2r} = \frac{2mv_0}{3BL}$, 解得 $x_1 = \frac{4mv_0r}{3B^2L^2} + x_0$, 导体棒 cd 锁定后, 同理得 $q_2 = \bar{I}'\Delta t' = \frac{\bar{E}'}{2r} \cdot \Delta t' = \frac{BLx_2}{2r \cdot \Delta t'} \cdot \Delta t' = \frac{BLx_2}{2r} = \frac{4mv_0}{3BL}$, 解得 $x_2 = \frac{8mv_0r}{3B^2L^2}$, 整个过程中, 导体棒 ab 运动的位移大小为 $x = x_1 + x_2 = \frac{4mv_0r}{B^2L^2} + x_0$, D 正确.

5. CD 【解析】两棒串联组成闭合回路, 流过两棒的电流大小相等, 但导体棒 ab 和 cd 的长度不一样, 根据 $F_{\text{安}} = BIL$ 可知两棒受到的安培力大小不相等, 系统所受合力不为零, 所以导体棒 ab 和 cd 组成的系统动量不守恒, 故 A 错误; 根据题意可知, 当导体棒 ab 和 cd 产生的感应电动势大小相等时, 两棒都做匀速直线运动, 此时有 $BLv_{ab} = B \times 2Lv_{cd}$, 对导体棒 ab , 规定水平向右为正方向,

由动量定理可得 $\bar{B}I \cdot L\Delta t = mv_{ab}$, 对导体棒 cd , 规定水平向右为正方向, 由动量定理可得 $-\bar{B}I \times 2L\Delta t = 2mv_{cd} - 2mv_0$, 联立解得 $v_{ab} = \frac{2v_0}{3}$, $v_{cd} = \frac{v_0}{3}$, 故 B 错误, C 正确; 由能量守恒定律得, 整个回路产生的焦耳热 $Q = \frac{1}{2} \cdot 2mv_0^2 - \frac{1}{2} \cdot 2mv_{cd}^2 - \frac{1}{2}mv_{ab}^2$, 解得 $Q = \frac{2mv_0^2}{3}$, 故 D 正确.

6. BCD 【解析】由 $E = BLv$, $I = \frac{E}{R}$, $F = BIL$, 可得 $F = \frac{B^2L^2v}{R}$, 由于乙距磁场的高度更大, 则乙进入磁场时的速度更大, 则安培力更大, 克服安培力做的功更多, 即产生的焦耳热较多, 故 A 错误; 由 $q = I\Delta t = \frac{E}{R} \cdot \Delta t = \frac{B\Delta S}{R}$, 可知两线圈穿过磁场过程中, 通过线圈横截面的电荷量相等, 故 B 正确; 由于甲、乙从释放到落地减少的重力势能相同, 甲穿过磁场的过程中产生的热量较少, 由能量守恒定律可知, 甲落地时动能较大, 速度较大, 故 C 正确; 线圈穿过

突破点: 无法计算落地速度时, 可从能量守恒角度判断落地时动能大小

磁场区域时受到的安培力为变力, 设受到的平均安培力为 \bar{F} , 穿过磁场时间为 Δt , 下落全过程时间为 t , 落地时的速度为 v , 则全过程由动量定理得 $mgt - \bar{F}\Delta t = mv$, 而 $\bar{F}\Delta t = BIL\Delta t$, $I = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t \cdot R}$, 所以 $\bar{F}\Delta t = \frac{BL\Delta\Phi}{R}$, 可见, 下落过程中两线圈所受安培力的冲量相等, 因为 $v_{\text{乙}} < v_{\text{甲}}$, 所以 $t_{\text{乙}} < t_{\text{甲}}$, 即乙运动时间较短, 先落地, 故 D 正确.

7. BCD 【解析】由右手定则可知, 跳楼机的座椅下落过程中, 线圈中感应电流方向为逆时针与顺时针交替变化, A 错误; 座椅由静止下落受安培力与重力, 有 $mg - F_{\text{安}} = ma$, 座椅受到的安培力大小为 $F_{\text{安}} = 2nBiL$, 由法拉第电磁感应定律得 $E = 2nBLv$ 且 $i = \frac{E}{R}$, 可得 $mg - \frac{4n^2B^2L^2v}{R} = ma$, 随着速度的增大, 加速度减小, 当加速度为 0 时, 速度达到最大值, 之后座椅做匀速运动, 当座椅速度最大时, 安培力与重力平衡, 有 $mg = \frac{4n^2B^2L^2v_m}{R}$, 解得 $v_m = 2 \text{ m/s}$, B 正确; 由法拉第电磁感应定律得 $E = 2nBLv$, 由闭合电路欧姆定律可知, 当座椅的速度大小为 1 m/s 时, 线圈中感应电流为 $I = \frac{E}{R} = 20 \text{ A}$, C 正确; 当座椅速度最大时, 有 $F_{\text{安}} = mg$, 克服安培力做功的功率为 $P_{\text{安}} = mgv_m = 640 \times 10 \times 2 \text{ W} = 12\,800 \text{ W}$, D 正确.

8. (1) $\frac{\sqrt{PR}}{BL}$ (2) 导体框做加速度减小的减速运动, 最后可能做匀速运动 (3) $\frac{B^2L^2W}{kR}$

【解析】(1) 导体框的 MN 边在磁场中运动时, 回路中的电流 $I_0 = \frac{E_0 - BLv_0}{R} = \frac{BLv_0}{R}$, 导体框进入磁场内做匀速运动, 由平衡条件得 $F = F_{\text{安}} = BI_0L$, 外力 F 的功率 $P = Fv_0$, 联立解得 $v_0 = \frac{\sqrt{PR}}{BL}$.