



题型强化 · 多选

多选小卷

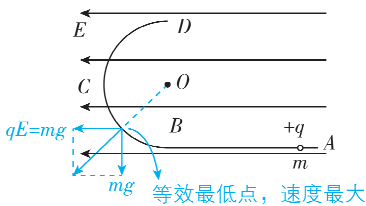
多选小卷 1

8. **AB** 【解析】本题考查波的干涉与振动加强、减弱点的判断。

由题意可知两列波的频率相同,故能发生稳定干涉, A 、 D 为振动加强点,且它们连线上的所有质点到两个波源的距离相等,波程差为 0,所以都是振动加强点,**A 正确**;两列波在同一个介质中传播,所以二者的传播速度相同,**B 正确**;由图可知质点 B 、 C 是振动减弱点,那么它们就一直是振动减弱点(关键:稳定的干涉,某一点的振动加强和减弱不会变化),**C 错误**;质点 D 是振动加强点,振幅变大为 $A=A_1+A_2=7\text{ cm}$,依然在振动,其位移可以为零(易错:振幅是振动过程中最大的位移,但实际位移不一定是最大值,可能为 0 到最大值之间任意值),**D 错误**。

9. **BC** 卡住就看「突破点 12」找思路、做练习

题图剖析



【解析】本题考查等效重力场中的圆周运动。

小环从释放到 D 点, 电场力先做正功后做负功, 电势能先减小后增大, **A 错误**; 小环从释放到 D 点, 根据动能定理有 $qEx_0 - 2mgR = 0 - 0$, 解得 $x_0 = 2R$, **B 正确**; 对小环受力分析, 可知其等效“重力”为 $F = \sqrt{(mg)^2 + (qE)^2}$, 解得 $F = \sqrt{2}mg$, 在等效最低点, 小环的速度最大, 故对杆的压力最大, 从释放点到等效最低点, 根据动能定理有 $qE(x_0 + R\sin\theta) - mgR(1 - \cos\theta) = \frac{1}{2}mv_m^2 - 0$, 小环在等效最低点, 根据牛顿第二定律有 $F_N - F = m\frac{v_m^2}{R}$, 其中 θ 满足 $\tan\theta = \frac{qE}{mg} = 1$, 联立解得 $F_N = (3\sqrt{2} + 2)mg$, 根据牛顿第三定律, 可知小环对杆的最大压力为 $(3\sqrt{2} + 2)mg$, **C 正确**, **D 错误**。

10. **BD** 卡住就看「突破点 10」找思路、做练习

思路导引

分析小球的运动过程: 下落阶段有初速度, 有重力, 只有重力做功, 滑块右侧有挡板, 滑块不动, 小球上升阶段, 水平方向不受外力, 小球与滑块动量守恒。

【解析】本题考查动量守恒与机械能守恒。

B 第一次到达最低点的过程中, 只有重力做功, 机械能守恒, 有 $\frac{1}{2}m_B v_0^2 + m_B gL = \frac{1}{2}m_B v_B^2$, 代入数据解得 $v_B = 8\text{ m/s}$, **A 错误**; B 第一次到达最低点时, 由拉力和重力的合力提供向

心力,有 $T - m_B g = \frac{m_B v_B^2}{L}$, 代入数据解得 $T = 0.2 \times 10 \text{ N} + \frac{0.2 \times 64}{1.2} \text{ N} \approx 12.7 \text{ N}$, **B 正确**; B 到达最大高度时, 竖直速度为 0, 水平速度与 A 相等, 由水平方向动量守恒, 得 $m_B v_B = m_B v + m_A v$, 解得共同速度 $v = 3.2 \text{ m/s}$, 设 B 在最高点与在最低点的高度差为 h , 由机械能守恒得 $\frac{1}{2} m_B v_B^2 = \frac{1}{2} m_A v^2 + \frac{1}{2} m_B v^2 + m_B g h$, 解得 $h = 1.92 \text{ m}$, B 在最高点时与光滑轨道的高度差为 $\Delta h = h - L = 0.72 \text{ m}$, **C 错误**; 设 B 在最高点时与 A 的水平距离为 d , 由几何关系得 $d^2 = L^2 - (\Delta h)^2$, 代入 $L = 1.2 \text{ m}$, $\Delta h = 0.72 \text{ m}$, 解得 $d = \sqrt{1.2^2 - 0.72^2} \text{ m} = 0.96 \text{ m}$, 即 B 在最高点时与 A 水平方向上的距离为 0.96 m , **D 正确**.



1 min 速解

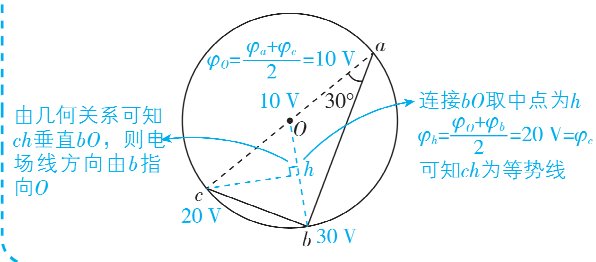
复旦大学——吴添一

B 第一次运动到最低点过程中, 根据动能定理有 $m_B g L = \frac{1}{2} m_B v_B^2 - \frac{1}{2} m_B v_0^2$, 解得 $v_B = 8 \text{ m/s}$, B 从最低点运动到最高点的过程看作发生完全非弹性碰撞, 牢记完全非弹性碰撞动能的损失量为 $\Delta E_k = \frac{1}{2} \cdot \frac{m_A m_B}{m_A + m_B} (v_B - v_A)^2$, 其中 $v_A = 0$, 解得 $\Delta E_k = 3.84 \text{ J}$, 损失的动能全部转化为重力势能, 有 $\Delta E_k = m_B g h$, 则 $\Delta h = h - L = 0.72 \text{ m}$, **A、C 错误**; $0.72 : 1.2 = 3 : 5$, 根据勾股数 $3 : 4 : 5$ 得水平方向上距离为 0.96 m , **D 正确**.

多选小卷 2

8. **AB**

题图剖析



【解析】本题考查匀强电场的电势与场强.

根据匀强电场的性质可知 $\varphi_o = \frac{\varphi_a + \varphi_c}{2} = 10 \text{ V}$, 取 bo 的中点为

h , 则 $\varphi_h = \frac{\varphi_o + \varphi_b}{2} = 20 \text{ V} = \varphi_c$, 所以 ch 连线为等势线, 根据几何关系可知 $\triangle Ocb$ 为等边三角形, 则 bo 与 ch 垂直, 由于等势线与电场线相垂直, 且顺着电场线的方向电势降低, 所以电场强度的方向沿着 bo 方向, 且由 b 指向 O , 根据几何关系可得

$$d_{bo} = \frac{10\sqrt{3}}{\cos 30^\circ} \times \frac{1}{2} \text{ cm} = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}, \text{ 根据匀强电场场强与电}$$



势差的关系可知, 电场强度的大小为 $E = \frac{U_{bo}}{d_{bo}} = \frac{\varphi_b - \varphi_o}{d_{bo}} = \frac{30-10}{0.1} \text{ V/m} = 200 \text{ V/m}$, **A、B 正确**; 根据 $E_p = q\varphi$ 可知, 电子在 b 点的电势能为 $E_{pb} = -e \times 30 \text{ V} = -30 \text{ eV}$, 电子在 c 点的电势能为 $E_{pc} = -e \times 20 \text{ V} = -20 \text{ eV}$, 所以电子在 b 点的电势能比在 c 点的小 10 eV , **C 错误**; 电子从 b 点运动到 O 点, 电场力做的功为 $W = -eU_{bo} = -e(\varphi_b - \varphi_o) = -20 \text{ eV}$, **D 错误**.

**1 min 速解**

复旦大学——吴添一

以 b 为原点, 将电场线沿 ba 和 bc 两条线进行正交分解, bc 方向上电场强度大小 $E_{bc} = \frac{\varphi_b - \varphi_c}{L_{bc}} = 100 \text{ V/m}$, 方向由 b 指向 c , 同理, ba 方向上的电场强度大小 $E_{ba} = \frac{\varphi_b - \varphi_a}{L_{ab}} = 100\sqrt{3} \text{ V/m}$, 方向由 b 指向 a , 矢量合成 $E = \sqrt{E_{ba}^2 + E_{bc}^2} = 200 \text{ V/m}$, 方向与 bc 夹角为 60° , 根据几何关系, bo 与 bc 夹角同为 60° , 故电场强度方向由 b 指向 O , **A、B 正确**; $\varphi_b > \varphi_c$, 故电子的电势能 $E_{pb} < E_{pc}$, **C 错误**; 沿电场线方向电势降低, $\varphi_o < \varphi_b$, 故电子从 b 点运动到 O 点, 电势能增大, 电场力做负功, **D 错误**.

9. AC 卡住就看「突破点 10」找思路、做练习**【解析】** 本题考查弹性碰撞.物块 A 在斜面上运动的过程中, 物块和斜面组成的系统机械能守恒, **A 正确**; 由机械能守恒定律有 $m_A g R = \frac{1}{2} m_A v_0^2 +$ $\frac{1}{2} m_B v_B^2$, 以向左为正方向, 由水平方向动量守恒有 $0 = m_A v_0 +$ $m_B v_B$, 联立解得 $v_B = -4 \text{ m/s}$, $v_0 = 4 \text{ m/s}$, 负号表示方向向右, **B****错误**; A 与 C 碰撞为弹性碰撞, 由动量守恒定律有 $m_A v_0 =$ $m_A v_A + m_C v_C$, 由机械能守恒定律有 $\frac{1}{2} m_A v_0^2 = \frac{1}{2} m_A v_A^2 +$ $\frac{1}{2} m_C v_C^2$, 联立解得 $v_A = -2 \text{ m/s}$, $v_C = 2 \text{ m/s}$, 负号表示方向向右, **C 正确**; 物块 A 与物块 C 碰后速度大小小于 B 的速度大小, 所以不能追上圆弧形斜面, **D 错误**.**10. AD 卡住就看「突破点 14」找思路、做练习****【解析】** 本题考查感生电动势与动生电动势的结合.

$t=0$ 时导体棒速度为 0 , 无动生电动势; 磁感应强度 B 随时间增大, 回路磁通量向上增加, 由楞次定律可知感应电流的磁场方向竖直向下, 由右手螺旋定则得回路电流为顺时针方向 (从上往下看), 导体棒中电流方向由 b 到 a , **A 正确**; 电磁感

应中通过导体的电荷量计算公式为 $q = \frac{\Delta\Phi}{R}$, t 时刻回路磁通量 $\Phi = BS$, 回路面积 $S = L \left(d + \frac{1}{2} at^2 \right) = 0.5 (1 + t^2) \text{ m}^2$, 代入

$B = 2t (\text{T})$ 有 $\Phi = t + t^3 (\text{Wb})$, $t=0$ 时, $\Phi_0 = 0$; $t=1 \text{ s}$ 时, $\Phi_1 = 2 \text{ Wb}$, 磁通量变化量大小 $\Delta\Phi = 2 \text{ Wb}$, 则 $q = 0.5 \text{ C}$, **B 错误**;

 $t=1 \text{ s}$ 时, 总电动势由感生电动势 E_1 和动生电动势 E_2 两部



分组成:对于感生电动势,回路面积 $S_1 = 1 \text{ m}^2$,磁感应强度变化率 $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 2 \text{ T/s}$,则 $E_1 = S_1 \frac{\Delta B}{\Delta t} = 1 \times 2 \text{ V} = 2 \text{ V}$,电流方向由 b 到 a ,对于动生电动势,此时导体棒速度 $v = at = 2 \times 1 \text{ m/s} = 2 \text{ m/s}$,磁感应强度大小为 $B = 2 \text{ T}$,则 $E_2 = BLv = 2 \times 0.5 \times 2 \text{ V} = 2 \text{ V}$,电流方向由 b 到 a ,因为两者方向相同,故回路总电动势为 $E = E_1 + E_2 = 4 \text{ V}$,电流 $I = \frac{E}{R} = 1 \text{ A}$,**C 错误**; $t = 1 \text{ s}$ 时, $B = 2 \text{ T}$, $I = 1 \text{ A}$,安培力 $F_{\text{安}} = BIL = 1 \text{ N}$,滑动摩擦力 $f = \mu mg = 0.6 \text{ N}$,由牛顿第二定律有 $F - f - F_{\text{安}} = ma$,代入数据得 $F = 2 \text{ N}$,**D 正确**.

多选小卷 3

8. BC 【解析】本题考查变压器与远距离输电.

变压器的工作原理是电磁感应,需要变化的磁通量才能产生感应电动势,因此变压器不能直接改变恒定电流的电压,**A 错误**;变压器只能对交流电起作用,升压变压器输入和输出的都是交流电,**B 正确**;根据输电功率公式 $P = UI$,当输电功率 P 一定时,提高输电电压 U ,可以减小输电线上的电流 I ,**C 正确**;变压器只对交流电起到变压的作用,“整流”设备应放在升压变压器后,而“逆变”设备放在降压变压器前,**D 错误**.

9. ACD 卡住就看「突破点 14」找思路、做练习

【解析】本题考查电磁感应.

设 t 时刻金属棒与圆心确定的水平面转过的圆心角为 θ ,则 $\theta =$

$\frac{v_0 t}{r}$,产生的感应电动势 $e = BLv_0 \sin \theta$,根据闭合电路欧姆定律可

得,金属棒中的电流大小 $i = \frac{e}{\frac{2R_0 R_0}{2R_0 + R_0} + R_0} = \frac{3BLv_0}{5R_0} \sin \left(\frac{v_0 t}{r} \right)$,故当

$t = \frac{\pi r}{6v_0}$ 时,金属棒中的电流大小为 $i = \frac{3BLv_0}{10R_0}$,**A 正确**;根据 $\bar{E} =$

$\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$, $\bar{I} = \frac{\bar{E}}{R}$, $q = \bar{I} \Delta t = \frac{3 \Delta \Phi}{5R_0}$,从 0 时刻起到 $t = \frac{\pi r}{2v_0}$ 时, $\theta = \frac{\pi}{2}$,则

$\Delta \Phi = BLr$ (点拨:匀强磁场中,磁通量计算式 $\Phi = BS$ 中 S 应为垂直于磁场方向的面积),故通过回路的总电荷量为 $q =$

$\frac{3BLr}{5R_0}$,通过电阻 R_1 的电荷量为 $q_1 = \frac{1}{3} q = \frac{BLr}{5R_0}$,**B 错误**;通过上

面的分析可知,回路内的电流为正弦式电流,电流的最大值

关键点

为 $I_m = \frac{3BLv_0}{5R_0}$,从 0 时刻起到 $t = \frac{\pi r}{2v_0}$ 时,电阻 R_1 上产生的焦

耳热为 $Q_1 = \left(\frac{I_m}{\sqrt{2}} \right)^2 2R_0 t$ (关键:计算热量用电流有效值),解

得 $Q_1 = \frac{\pi r B^2 L^2 v_0}{50R_0}$,**C 正确**;从 0 时刻起到 $t = \frac{\pi r}{v_0}$ 时,回路内产生

的总焦耳热 $Q = \left(\frac{I_m}{\sqrt{2}} \right)^2 \cdot \frac{5}{3} R_0 t = \frac{3\pi r B^2 L^2 v_0}{10R_0}$,根据功能关系有



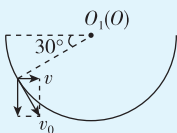
$$W_F = Q = \frac{3\pi r B^2 L^2 v_0}{10R_0}, \text{D 正确.}$$



1 min 速解

复旦大学——吴添一

写出电流大小关于 t 的表达式过于麻烦, 只需发现, $t = \frac{\pi r}{6v_0}$ 时, 棒在圆弧轨道上走过轨迹对应的圆心角为 30° , 然后进行速度的分解, 如图所示,



切割磁感线的速度为 $v = v_0 \cos 60^\circ = \frac{v_0}{2}$, 回路总电阻为

$\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_0 = \frac{5}{3} R_0$, 根据 $E = BLv = IR$, 解得金属棒中的电流

为 $I = \frac{3BLv_0}{10R_0}$, **A 正确**; 回路中产生正弦式交流电, 电流最大

时对应有效切割速度最大, 即 $E_{\max} = BLv_0$, 从 0 时刻起

到 $t = \frac{\pi r}{2v_0}$, 回路中产生的焦耳热 $Q' = \left(\frac{E_{\max}}{\sqrt{2}R} \right)^2 R t =$

$\frac{3\pi r B^2 L^2 v_0}{20R_0}$, 分析回路可得 R_1 上产生的焦耳热 $Q_1 = \frac{2}{5} \times$

$\frac{1}{3} Q' = \frac{\pi r B^2 L^2 v_0}{50R_0}$, **C 正确**; 整个过程速度大小不变, 从 0 时

刻起到 $t = \frac{\pi r}{v_0}$, 金属棒在同一高度处, 根据功能关系可知

外力 F 做的功等于回路中产生的总焦耳热, $W = 2Q' =$

$\frac{3\pi r B^2 L^2 v_0}{10R_0}$, **D 正确**.

10. ABD 卡住就看「突破点 10」找思路、做练习

思路导引

A 、 B 碰后一起下降, 重力势能随下落距离变化图像(图线 I)的斜率的绝对值为二者重力大小之和; 下降 $3l$ 后速度为 0, 末动能为 0, 根据图线, 初始弹簧弹性势能为 $0.5kl^2$, 末态弹性势能为 $8kl^2$, 弹性势能增加 $7.5kl^2$, 重力势能减少 $6kl^2$, 重力势能和动能的减少量之和等于增加的弹性势能, 可求出初始动能, 再结合碰撞可求出撞前 B 的速度, 进而求出 h 的值.

【解析】 本题考查含弹簧的碰撞问题.

设 A 、 B 的质量为 m , 由图像的物理意义可知, 图线 I 斜率的绝对值 $k' = 2mg = \frac{6.0kl^2}{3l} = 2kl$, 解得 $m = \frac{kl}{g}$, **A 正确**; 设 B 与 A

碰撞前的速度为 v_0 , 根据动能定理可知 $mgh = \frac{1}{2}mv_0^2$, 解得

$v_0 = \sqrt{2gh}$, 由于 A 、 B 碰撞过程动量守恒, 则有 $mv_0 = 2mv$, 解得

$v = \frac{1}{2}v_0 = \frac{1}{2}\sqrt{2gh}$, 碰后 A 、 B 整体的动能 $E_{k1} = \frac{1}{2} \times 2mv^2 =$



mv^2 , 对两薄板从碰后到最低点, 由能量守恒定律可得 $E_{k1} + E_{p1} + E_{pG1} = E_{p2} + E_{pG2}$, 结合图像可知 $E_{p1} = 0.5kl^2$, $E_{pG1} = 6.0kl^2$, $E_{p2} = 8.0kl^2$, $E_{pG2} = 0$, 解得 $E_{k1} = 1.5kl^2$, 又因为 $m = \frac{kl}{g}$, 联立解得 $h = 3l$, **B 正确**; 碰后的最大速度处加速度为 0, 即 $2mg = kx'$, 可得碰后最大速度处对应的弹簧形变量为 $x' = \frac{2mg}{k} = 2l$, 碰前弹簧形变量为 $x_0 = \frac{mg}{k} = l$, 所以最大速度在 A、B 碰撞后下落 l 处, 由图像可知此时 A、B 整体的重力势能为 $4.0kl^2$, 弹簧的弹性势能为 $2.0kl^2$, 由能量守恒定律可得 $E_{k1} + E_{p1} + E_{pG1} = 4.0kl^2 + 2.0kl^2 + E_{km}$, 其中 $E_{km} = \frac{1}{2} \times 2mv_m^2$, 解得 $v_m = \sqrt{2gl}$, **C 错误**; 由题意可知, 在最低点时弹簧的形变量为 $4l$, 碰后假设最高点处弹簧刚好恢复原长, 从最低点到最高点由能量守恒定律可得 $E_{p2} = E_{pG3}$, 即 $8.0kl^2 = 2mgh'$, 解得 $h' = 4l$, 弹簧恰好恢复原长, 假设成立, 则碰撞后 A、B 上升的最大高度在 O 上方 $4l - 3l = l$ 处, **D 正确**.

多选小卷 4

8. **BD** 【解析】本题考查天体运动与开普勒定律.

由图乙可知, 卫星的周期为 $T = t_1$ (点拨: 相邻两次到达远地点的时间差即为周期), **A 错误**; 卫星绕地球运行时, 只受地球引力作用, 则机械能守恒, **B 正确**; 卫星在近地点时 $8F = G \frac{Mm}{r_{\min}^2}$, 在远地点时 $2F = G \frac{Mm}{r_{\max}^2}$, 可知 $\frac{r_{\min}}{r_{\max}} = \frac{1}{2}$, 根据开普勒第二定律, 卫星在近地点与远地点时 $\frac{1}{2} v_1 r_{\min} \Delta t = \frac{1}{2} v_2 r_{\max} \Delta t$, 可知卫星在近地点与远地点的速度大小之比为 $\frac{v_1}{v_2} = \frac{2}{1}$, **C 错误**; 根据 $G \frac{Mm}{r^2} = ma$, 可得 $a = \frac{GM}{r^2}$, 可知卫星在近地点与远地点的加速度大小之比为 $4:1$, **D 正确**.

9. **BD** 卡住就看「突破点 11」找思路、做练习

【解析】本题考查简谐运动.

设点 C 为平衡位置, 则在 C 点有 $kx_c = mgsin \theta$, 在 OB 段偏离平衡位置位移为 x 时, 小球所受合力 $F_{\text{合}} = -mgsin \theta + k(x_c - x)$, 合力指向 C 点, 与位移方向相反, 且 $F_{\text{合}} = -kx$, 因此可证明小球在 OB 段做简谐运动, 小球从 A 运动到 B 的过程, 系统的机械能是守恒的, 所以有 $mg\left(L + \frac{3mgsin \theta}{k}\right) sin \theta = \frac{1}{2} k \left(\frac{3mgsin \theta}{k}\right)^2$, 解得 $L = \frac{3mgsin \theta}{2k}$, **B 正确**; 小球在 OA 段运动, 由牛顿第二定律有 $mgsin \theta = ma$, 且

$L = \frac{1}{2} at_1^2$, 解得 $t_1 = \sqrt{\frac{3m}{k}}$, 小球在 OB 段的运动为简谐运动的一部分, 其振动方程形如 $x = A sin \omega t$, 简谐运动的周期为 $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$, 平衡位置为 C 点, 此时弹簧的压缩量为 $x_c = \frac{mgsin \theta}{k}$, 所以此简谐运动的振幅 $A = \frac{3mgsin \theta}{k} - x_c =$



$\frac{2mg\sin\theta}{k}$, OC 间距离为 $x_c = \frac{1}{2}A$, 已知 $\sin 30^\circ = \frac{1}{2}$, 所以小

球从 O 点运动到 C 点所用的时间为 $t_2 = \frac{30^\circ}{360^\circ}T = \frac{T}{12}$, 从 C 点

运动到 B 点的时间为 $t_3 = \frac{T}{4}$, 所以第一次从 A 运动到 B 的总

时间为 $t_{\text{总}} = t_1 + t_2 + t_3 = \sqrt{\frac{m}{k}} \left(\sqrt{3} + \frac{2\pi}{3} \right)$, **A、C 错误**; 从 A 到 O , 根据

机械能守恒定律可得 $mgL\sin\theta = \frac{1}{2}mv_o^2$, 解得 $v_o = g\sqrt{\frac{3m}{k}}\sin\theta$, 小

球第一次从 O 点运动到 B 点的过程中, 沿管道方向上, 根据动量定理可知

$mg\sin\theta(t_2 + t_3) - I = 0 - mv_o$, 解得 $I = \left(\sqrt{3} + \frac{2\pi}{3} \right) mg\sin\theta \sqrt{\frac{m}{k}}$, **D 正确**.

10. **ABC** 卡住就看「突破点 14」找思路、做练习

【解析】 本题考查线框切割磁感线.

线框 bc 边刚进入磁场 I 时, 产生的感应电动势为 $E =$

BLv , 此时电路中的感应电流为 $I = \frac{E}{R} = \frac{BLv}{R}$, 所以此时 bc 两

端的电压为 $U_{bc} = I \cdot \frac{3}{4}R = \frac{3BLv}{4}$ (**关键: bc 作为电源, 两端电**

压为路端电压), **A 正确**; 线框 bc 边刚进入磁场 I 时, 对线

框和列车整体进行受力分析, 根据牛顿第二定律有 $BIL +$

$F_f = ma$, 解得此时线框的加速度大小为 $a = \frac{B^2 L^2 v}{mR} + \frac{F_f}{m}$, **B 正**

确; 对线框 bc 边刚进入磁场 I 到速度减为零的过程, 根据

动量定理有 $-F_f t - \bar{B}ILt = 0 - mv$, 其中 $\bar{I}t = \frac{\bar{E}}{R}t = \frac{BL\bar{v}t}{R} =$

$\frac{B \cdot 4L^2}{R}$, 联立解得该过程所用的时间为 $t = \frac{mv}{F_f} - \frac{4B^2 L^3}{F_f R}$, **C 正**

确; 对线框 bc 边刚进入磁场 I 到速度减为零的过程, 根据

动能定理有 $-F_f \cdot 4L - W_{\text{安}} = 0 - \frac{1}{2}mv^2$, 解得该过程克服安培

力做的功为 $W_{\text{安}} = \frac{1}{2}mv^2 - 4F_f L$, 则根据功能关系可知, 该过

程线框产生的焦耳热为 $Q = W_{\text{安}} = \frac{1}{2}mv^2 - 4F_f L$, **D 错误**.

多选小卷 5

8. **BC** **【解析】** 本题考查圆周运动.

小球受重力、绳子拉力, 这两个力的合力提供向心力, 向心力效果是改变速度方向, 不是小球实际受到的力, **A 错误**; 小球做圆周运动的半径 $R = r_0 + L\sin\theta$, 根据合外力提供向心力, 有

$mg\tan\theta = m\omega^2(r_0 + L\sin\theta)$, 解得 $\omega = \sqrt{\frac{g\tan\theta}{r_0 + L\sin\theta}}$, **B 正确**; 在竖

直方向上, 小球受力平衡, 有 $T\cos\theta = mg$, 解得绳子张力大小

$T = \frac{mg}{\cos\theta}$, **C 正确**; 由 $mg\tan\theta = m\omega^2(r_0 + L\sin\theta)$ 可知, 等式两边

质量 m 可消去, 夹角 θ 与小球的质量 m 无关, 若仅增大小球的质量, 夹角 θ 不变, **D 错误**.

9. **AD** 卡住就看「突破点 10」找思路、做练习



【解析】本题考查人船模型.

半圆形槽和小球组成的系统水平方向动量守恒(点拨:系统水平方向不受外力,可视为人船模型),设小球水平方向分速度大小为 v_1 ,槽的速度大小为 v_2 ,则 $mv_1 = 3mv_2$,当小球运动到 B 点时,小球和槽的水平位移最大,设小球的水平位移大小为 x_1 ,槽的位移大小为 x_2 ,半圆形槽和小球运动时间相同,则 $m\bar{v}_1 t = 3m\bar{v}_2 t$,即 $mx_1 = 3mx_2$,半圆形槽和小球在水平方向上位移大小之和即相对位移大小,为 $x_1 + x_2 = 2R$,解得 $x_2 = 0.5R$, **A 正确**;小球运动到最低点时速度最大,根据动量守恒定律有 $mv_{1m} = 3mv_{2m}$,根据机械能守恒定律(关键:不计一切摩擦)有 $mg \times 2R = \frac{1}{2}mv_{1m}^2 + \frac{1}{2} \times 3mv_{2m}^2$,解得 $v_{1m} = \sqrt{3gR}$, **B 错误**;小球运动到 B 点时,小球和槽在水平方向上速度相同,达到共速状态,根据水平方向动量守恒,可知此时小球和槽在水平方向上的速度都为零(易错:只是水平方向动量守恒),根据小球和槽组成的系统机械能守恒,可知小球上升的最大高度等于 R , **C 错误**;若槽固定,根据 $P_c = mgv_y$ 可知,当小球在竖直方向分速度最大时,重力的功率最大,设此时小球和 O 点连线与竖直方向的夹角为 θ ,此时速度大小为 v ,根据动能定理有 $mgR(1 + \cos \theta) = \frac{1}{2}mv^2$,解得 $v = \sqrt{2gR(1 + \cos \theta)}$,则竖直方向分速度为 $v_y = \sqrt{2gR(1 + \cos \theta)} \times \sin \theta = \sqrt{2gR(1 + \cos \theta)(1 - \cos^2 \theta)}$,根据数学求极值的方法可知,当 $\cos \theta = \frac{1}{3}$ 时,竖直方向分速度最大,最大值为 $v_{y\max} = \frac{8}{9}\sqrt{3gR}$,则重力做功的最大功率为 $P_m = mgv_{y\max} = \frac{8}{9}mg\sqrt{3gR}$, **D 正确**.

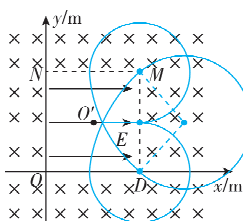
10. AC 卡住就看「突破点 13」找思路、做练习

【解析】本题考查带电粒子在电磁组合场中的运动.

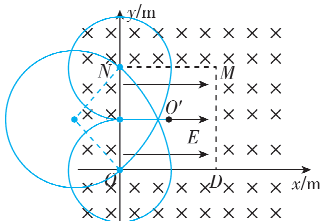
粒子甲从 O' 静止释放,第一次在电场中沿 x 轴正方向匀加速,由动能定理得 $qE \cdot \frac{d}{2} = \frac{1}{2}mv^2$,解得 $v = \sqrt{\frac{qEd}{m}}$,粒子离开电场时位置为 $\left(d, \frac{d}{2}\right)$,速度沿 x 轴正方向,进入磁场后偏转,最终垂直 MN 进入电场,可得偏转半径 $r = \frac{d}{2}$,圆心在 (d, d) ,偏转 $\frac{3}{4}$ 圆周,在磁场中洛伦兹力提供向心力,有 $qvB = \frac{mv^2}{r}$,代入 $v = \sqrt{\frac{qEd}{m}}$, $r = \frac{d}{2}$,得 $B = \frac{mv}{qr} = 2\sqrt{\frac{mE}{qd}}$, **A 正确**;粒子第二次进入电场时位置为 $\left(\frac{d}{2}, d\right)$,速度沿 y 轴负方向,在电场中做类平抛运动,假设粒子第二次在电场中运动至 OD 边,则沿 y 轴方向有 $d = vt$,解得 $t = \frac{d}{v} = \sqrt{\frac{md}{qE}}$,沿 x 轴方向有 $x = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{qE}{m} \cdot \frac{md}{qE} = \frac{d}{2}$,即粒子刚好从 D 点离开电场,位移大小为 $\sqrt{x^2 + d^2} = \frac{\sqrt{5}d}{2}$, **B 错误**;设粒子第一次在电场



中运动的时间为 t_1 , 由 $v = at_1$, $qE = ma$, 解得 $t_1 = \sqrt{\frac{md}{qE}}$, 由之前分析, 粒子第一次在磁场中的轨迹为 $\frac{3}{4}$ 圆, 所以运动时间为圆周运动的 $\frac{3}{4}$ 个周期, 即 $t_2 = \frac{3}{4}T$, 由 $qvB = \frac{mv^2}{r}$, $T = \frac{2\pi r}{v}$, 可得 $t_2 = \frac{3\pi}{4}\sqrt{\frac{md}{qE}}$, 粒子第二次在电场中射出时沿 x 轴正方向的速度为 $v_x = at = v$, 其合速度为 $v_{\text{合}} = \sqrt{v_x^2 + v^2}$, $\tan \theta = \frac{v_x}{v} = 1$, 即粒子第二次进入磁场速度方向与水平方向的夹角是 45° , 粒子第二次在磁场中运动有 $qv_{\text{合}}B = \frac{mv_{\text{合}}^2}{r_2}$, 解得 $r_2 = \frac{\sqrt{2}}{2}d$, 粒子运动 $\frac{3}{4}$ 圆之后从 M 点进入电场做类斜抛运动, 由对称性可知在 M 点速度方向朝左下方与水平方向夹角为 45° , 且之后到 OD 中点速度沿 y 轴负方向, 再运动 $\frac{3}{4}$ 圆之后从 DM 中点减速回到 O' 速度为 0. 粒子接下来的运动与上述过程相同, 综上所述, 粒子在 xOy 平面做周期性运动, 轨迹如图甲所示, 一个周期内在电场中 4 次运动时间相等, 在磁场中 3 个 $\frac{3}{4}$ 圆周运动时间相等, 则其周期为 $T' = 4t_1 + 3t_2 = \left(4 + \frac{9\pi}{4}\right)\sqrt{\frac{md}{Eq}}$, **C 正确**; 粒子乙从 O' 静止释放, 乙受到的电场力沿 x 轴负方向, 向左匀加速到 $\left(0, \frac{d}{2}\right)$, 速度大小也为 $v = \sqrt{\frac{qEd}{m}}$, 第一次进入磁场后, 粒子乙的偏转半径也为 $r = \frac{mv}{qB} = \frac{d}{2}$, 圆心在 $(0, d)$, 转 $\frac{3}{4}$ 圆周后到达 $\left(\frac{d}{2}, d\right)$, 速度方向向下, 垂直 MN 边进入电场, 再从 O 点离开电场进入磁场, 而后从 N 点重新进入电场, 做类斜抛运动到 OD 中点速度竖直向下, 再运动 $\frac{3}{4}$ 圆之后从 ON 中点减速回到 O' 速度为 0, 如此做周期性运动, 轨迹如图乙所示, 则粒子乙不能垂直 OD 进入电场, **D 错误**.



甲

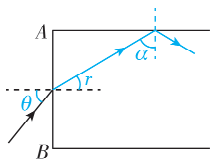


乙

多选小卷 6

8. **AD** 【解析】本题考查光的折射与全反射.

由题意作出光路图, 如图所示, 设光在端面入射角为 θ , 折射角为 r , 光线到达上界面的入射角为 α , 由折射定律得 $n =$





$\frac{\sin \theta}{\sin r}$, 由几何关系得 $\alpha + r = 90^\circ$, 由题意知, 入射角增大到 $\theta = 90^\circ$

时, 有 $r = C$, 且 $\alpha = C$ 时, 折射率最小, 可得折射率最小时 $C =$

45° , 最小折射率 $n_{\min} = \frac{1}{\sin 45^\circ} = \sqrt{2}$, **A 正确, B 错误**; 光在玻璃纤

维中的传播速度 $v = \frac{c}{n}$, 光在玻璃纤维中传播的时间 $t =$

$\frac{L}{\sin \alpha \cdot v} = \frac{nL}{\sin \alpha \cdot c}$, 要使时间最长 (关键: 传播时间仅与 α

大小有关), α 应最小, 则 r 最大, r 最大仅能为 C , 所以 α 最

小为 $\alpha_{\min} = 90^\circ - C$, 则 $t_{\max} = \frac{Ln}{\cos C \cdot c} = \frac{Ln^2}{c \sqrt{n^2 - 1}}$, 若玻璃纤维

对该光的折射率为 $\sqrt{3}$, 则光从一端传播到另一端的最长时

间为 $\frac{3\sqrt{2}L}{2c}$, 若玻璃纤维对该光的折射率为 $\sqrt{2}$, 则光从一端

传播到另一端的最长时间为 $\frac{2L}{c}$, **C 错误, D 正确**.

9. CD 卡住就看「突破点 13」找思路、做练习

【解析】本题考查带电粒子在复合场中运动.

加上电场后, 所有粒子在水平方向仍做匀速圆周运动, 竖直方向做匀加速直线运动, 所以粒子从 S 到 P 点过程中合速度一直增大, **A 错误**; 由几何关系得粒子在磁场中运动半径 $r = 0.2 \text{ m}$, 粒子

在磁场中做匀速圆周运动, 则 $qvB = m \frac{v^2}{r}$, 解得 $B = 0.5 \text{ T}$, **B 错**

误; 在电场强度为某一可能值的情况下, 竖直方向上所有粒子均做初速度为零的匀加速直线运动, 所以其在立方体内运动

时间均相同, **C 正确**; 粒子做圆周运动的周期 $T = \frac{2\pi m}{qB} = 8\pi \times$

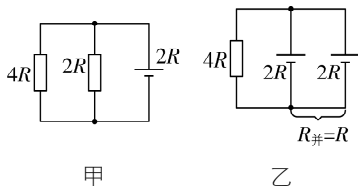
10^{-8} s , 要使所有粒子刚好都能从上表面中心 P 离开, 所用时间一定为周期的整数倍, 电场强度 E 有最大值时, 粒子的运动

时间最短, 有 $L = \frac{1}{2} \cdot \frac{qE_m}{m} \cdot T^2$, 可得 $E_m = \frac{5 \times 10^6}{\pi^2} \text{ V/m}$, **D 正确**.

10. AC 卡住就看「突破点 14」找思路、做练习

题图剖析

CF 切割时, 等效电路如图甲; CF 和 PQ 一起切割时, 等效电路如图乙.



【解析】本题考查双棒切割磁感线.

金属棒 CF 刚进入磁场时, CF 棒切割磁感线产生的感应电动势为 $E = BLv_0$, CF 棒 (作为电源, 内阻 $2R$) 与 PQ 棒 (电阻 $2R$)、定值电阻 ($4R$) 组成的并联电路构成闭合电路, 闭合电

路的总电阻为 $R_1 = 2R + \frac{4R \cdot 2R}{4R + 2R} = \frac{10}{3}R$, 根据闭合电路欧姆定

律, 通过 CF 的电流为 $I = \frac{E}{R_1} = \frac{BLv_0}{\frac{10}{3}R} = \frac{3BLv_0}{10R}$, 此时整个金属框



受到的安培力(即 CF 棒受到的安培力)为 $F = BIL = \frac{3B^2L^2v_0}{10R}$, **A 正确**; 设金属棒 PQ 刚进入磁场时的速度为 v , 从金属棒 CF 刚进入磁场到金属棒 PQ 刚进入磁场过程中金属框的感应电动势的平均值为 $\overline{E_1} = \frac{BL^2}{\Delta t_1}$, 流过金属棒 CF 的感应电流的平均值为 $\overline{I_1} = \frac{\overline{E_1}}{R_1} = \frac{3BL^2}{10R\Delta t_1}$, 在这个过程中, 金属棒 CF 受到的安培力的平均值为 $\overline{F_1} = B\overline{I_1}L$, 运用动量定理得 $-\overline{F_1}\Delta t_1 = mv - mv_0$, 从金属棒 PQ 刚进入磁场到金属棒 CF 恰好没有从磁场中穿出(此时速度恰好为零)的过程, 金属棒 CF 和 PQ 都切割磁感线(点拨: 两电源并联, $R_{并} = R$), 闭合电路的总电阻为 $R_2 = 5R$, 金属框的感应电动势的平均值为 $\overline{E_2} = \frac{BL^2}{\Delta t_2}$, 此过程流过金属棒 PQ 和 CF 的感应电流之和的平均值为 $\overline{I_2} = \frac{\overline{E_2}}{R_2} = \frac{BL^2}{5R\Delta t_2}$, 金属框受到的安培力的平均值为 $\overline{F_2} = B\overline{I_2}L$, 根据动量定理得 $-\overline{F_2}\Delta t_2 = 0 - mv$, 通过 DE 间定值电阻的电荷量为 $q_2 = \overline{I_2}\Delta t_2$, 联立以上各式可解得金属棒 PQ 刚进入磁场时的速度为 $v = \frac{2}{5}v_0$, 金属棒 PQ 棒进入磁场后, 通过 DE 间定值电阻的电荷量为 $q_2 = \frac{BL^2}{5R}$, **B 错误, C 正确**; 根据能量守恒定律, 金属棒 PQ 进入磁场后, 在整个电路中产生的焦耳热为 $Q_{总} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{2}{25}mv_0^2$, DE 间定值电阻产生的焦耳热为 $Q_{DE} = \frac{4}{5}Q_{总} = \frac{8}{125}mv_0^2$, **D 错误**.

多选重难点突破

突破点 10 碰撞、类碰撞、爆炸与反冲(双守恒法)

1. **AB** 【解析】取水平向右为正方向, A 与 B 碰撞过程, 由动量守恒和机械能守恒可得 $mv = mv_A + 2mv_B$, $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_A^2 + \frac{1}{2} \times 2mv_B^2$, 联立解得碰后 A 、 B 的速度分别为 $v_A = -\frac{1}{3}v$, $v_B = \frac{2}{3}v$, B 与 C 碰撞过程, 由动量守恒和机械能守恒可得 $2mv_B = 2mv'_B + kmv_C$, $\frac{1}{2} \times 2mv_B^2 = \frac{1}{2} \times 2mv'^2_B + \frac{1}{2} \times kmv_C^2$, 联立解得与 C 碰撞后 B 的速度为 $v'_B = \frac{2(2-k)}{3(2+k)}v$, 为了保证 A 与 B 只发生一次碰撞, 需要满足 $v'_B \geq -\frac{1}{3}v$, 解得 $0 < k \leq 6$, **A、B 正确**.

2. **AB** 【解析】小球 A 摆到最低点的过程, 由动能定理得 $2mgl = \frac{1}{2} \cdot 2mv_1^2$, 又 $l = \frac{2v_0^2}{g}$, 联立得 $v_1 = 2v_0$, **A 正确**; 小球 A 与弹簧接触的过程, 对于小球 A 、 B 组成的系统, 根据动量守恒



和初、末状态机械能相等,有 $2mv_1 = 2mv'_1 + m_B v'_2$, $\frac{1}{2} \cdot 2mv_1^2 = \frac{1}{2} \cdot 2mv_1'^2 + \frac{1}{2} m_B v_2'^2$, 由图乙可知, $v'_1 = -0.4v_0$, 联立解得 $m_B = 3m$, $v'_2 = 1.6v_0$, **B 正确, C 错误**; 小球 A 摆到最低点时, 根据牛顿第二定律有 $F_T - 2mg = 2m \frac{v_1^2}{r}$, 即 $F_T = 2mg + 2m \frac{v_1^2}{r}$, 由于钉子的存在, r 会突然变小, 由上式可知, 轻绳的张力大小 F_T 会突然变大, 轻绳恰好断裂, 如果没有钉子, F_T 就不会突然变大, 轻绳就不会断裂, **D 错误**.

- 3. ACD** 【解析】设 a 的质量为 m_a , 以水平向右的方向为正方向, 由动量守恒定律可得 $m_a v_0 = (m_a + m) \frac{2}{3} v_0$, 解得 $m_a = 2m$, **A 正确**; 根据图乙可知, t_1 时刻之前 a 的速度大于 b 的速度, t_1 时刻 a 的速度等于 b 的速度, 则 t_1 时刻弹簧被压缩至最短, 此时 a 、 b 间的距离最小, 接着弹簧逐渐恢复原长, 在 t_2 时刻 a 的速度最小、 b 的速度最大, 此时弹簧恢复原长, 故 t_2 时刻 a 、 b 间的距离并非最大, 接着弹簧继续伸长, a 的速度增大、 b 的速度减小, 在 t_3 时刻两者共速, 此时两物块相距最远, 因此 t_3 时刻 a 、 b 间的距离最大, **B 错误**; $0 \sim t_3$ 时间内, 以水平向右的方向为正方向, 对 b 由动量定理可得 $I = m \cdot \frac{2}{3} v_0 = \frac{2}{3} m v_0$, **C 正确**; 图乙中阴影部分的面积为弹簧的最大压缩量 $x_{\max}$, 根据能量守恒定律可得 $\frac{1}{2} \cdot 2m v_0^2 = \frac{1}{2} (m + 2m) \cdot \left(\frac{2}{3} v_0 \right)^2 + \frac{1}{2} k x_{\max}^2$, 解得 $x_{\max} = \sqrt{\frac{2m v_0^2}{3k}}$, 即图乙中阴影部分的面积为 $\sqrt{\frac{2m v_0^2}{3k}}$, **D 正确**.

- 4. BC** 【解析】在小球上升到最高点的过程中, 小球与小车组成的系统机械能守恒, 但小球的机械能不守恒, **A 错误**; 在小球上升到最高点的过程中, 小球与小车组成的系统水平方向不受外力, 水平方向动量守恒, **B 正确**; 小球与小车组成的系统水平方向动量守恒, 设小球沿圆弧轨道上升的最大高度为 h , 两者共同速度大小为 v , 以水平向左的方向为正方向, 则 $m v_0 = (M + m) v$, 解得 $v = \frac{5}{3} \text{ m/s}$, 小球与小车组成的系统机械能守恒, 有 $\frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1}{2} (M + m) v^2 + mgh$, 解得 $h = \frac{5}{6} \text{ m}$, **C 正确, D 错误**.

- 5. ABD** 【解析】小猫从 A 到 B 过程中, 系统动量守恒, 设小猫相对地面位移大小为 x_1 , 木板相对地面位移大小为 x_2 , 则有 $m v_1 = M v_2$, 等式两边同乘时间 Δt 积累得 $m x_1 = M x_2$, 又 $x_1 + x_2 = L$, 解得 $x_1 = 1.6 \text{ m}$, $x_2 = 0.4 \text{ m}$, 小猫跃起至最高点的运动可反向看作平抛运动, 则在竖直方向有 $H - d = \frac{1}{2} g t^2$, 解得 $t = 0.4 \text{ s}$, 小猫跃起时的竖直速度为 $v_y = g t = 4 \text{ m/s}$, 在水平方向上有 $x_2 = v_x t$, 解得 $v_x = 1 \text{ m/s}$, 则小猫跃起的初速度大小为 $v_0 = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{17} \text{ m/s}$, **A、B 正确**; 小猫跃起过程中, 系统水平方向动量守恒, 则有 $m v_x = M v$, 解得 $v = \frac{1}{4} \text{ m/s}$, 则系统机械



能增加了 $\Delta E = \frac{1}{2}mv_0^2 + \frac{1}{2}Mv^2 = 8.625 \text{ J}$, **C 错误**; 小猫跃起到最高点过程中, 木板的位移大小 $x_3 = vt = 0.1 \text{ m}$, 则从初始时刻到小猫抓住 P 的瞬间, 木板的总位移为 $x = x_2 + x_3 = 0.5 \text{ m}$, **D 正确**.

- 6. BC** 【解析】对 A 、 B 组成的系统, 在竖直方向上 A 球有加速度, 系统所受的合外力不为零, 因此系统的动量不守恒, **A 错误**; 系统在水平方向动量守恒, 有 $2mv_B - mv_A = 0$, $2mv_B \cdot \Delta t - mv_A \cdot \Delta t = 0$, 即 $2mx_B - mx_A = 0$, 又 $x_B + x_A = L$, 解得 $x_B = \frac{L}{3}$, B 球向右运动的距离为 $\frac{L}{3}$, **B 正确**; 设 A 第一次运动到最低点时, A 、 B 的速度大小分别为 v'_A 、 v'_B , 从释放到 A 第一次运动到最低点, 对 A 、 B 组成的系统, 水平方向动量守恒有 $mv'_A - 2mv'_B = 0$, 系统机械能守恒有 $mgL = \frac{1}{2}mv'^2_A + \frac{1}{2}(2m)v'^2_B$, 联立解得 $v'^2_A = \frac{4gL}{3}$, A 球重力势能减少了 mgL , A 球动能增加了 $\frac{1}{2}mv'^2_A$, A 球机械能的变化量 $\Delta E_A = \frac{1}{2}mv'^2_A - mgL = -\frac{1}{3}mgL$, **C 正确**; B 球在运动过程中受到重力、细杆的支持力和细绳的拉力, B 球动量的变化量等于这三个力冲量的矢量和, 而不等于细绳的拉力的冲量, **D 错误**.

- 7. AC** 【解析】由乙图可知, 子弹初速度 $v_0 = 60 \text{ m/s}$, 木块与子弹的速度关系满足 $v_2 = -\frac{2}{3}v_1 + 40 \text{ (m/s)}$, 设子弹与木块相对静止时的速度为 v , 则有 $v = -\frac{2}{3}v + 40 \text{ (m/s)}$, 解得二者共速后的速度 $v = 24 \text{ m/s}$, 即木块所能达到的最大速度为 24 m/s (点拨: 子弹进入木块的过程, 木块会加速, 子弹会减速, 二者共速时木块速度达到最大), 子弹射入木块的过程, 系统动量守恒, 则有 $mv_0 = (M+m)v$, 代入数据解得 $M:m = 3:2$, **A、C 正确, D 错误**; 设子弹相对于木块的位移为 L , 木块相对于地面的位移为 x , 对整体根据能量守恒定律则有 $fL = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}(M+m)v^2$ (关键: 水平面光滑, 故内能只在子弹与木块之间产生), 对木块, 根据动能定理有 $fx = \frac{1}{2}Mv^2$ (易错: 阻力对木块做的功为阻力与木块对地位移的乘积, 而非相对位移), 系统在运动过程中动量守恒, 则有 $mv_0 = (M+m)v$, 联立解得 $L = \frac{Mmv_0^2}{2(M+m)f}$, $x = \frac{Mmv_0^2}{2(M+m)f} \cdot \frac{m}{M+m}$, 可知 $L > x$, 即子弹相对木块的位移比木块相对地面的位移大, **B 错误**.

一题多解

子弹进入木块的过程满足动量守恒, 有 $mv_0 = mv_1 + Mv_2$, 可得 $v_2 = -\frac{m}{M}v_1 + \frac{m}{M}v_0$, 可得图线的斜率为 $-\frac{m}{M} = -\frac{2}{3}$, **A 正确**.

- 8. BD** 【解析】小球下降过程做自由落体运动, 由匀变速直线运动的速度—位移公式 $v^2 = 2gh$, 解得甲球触地时两球速



度大小相等,为 $v = \sqrt{2gh}$, 甲球碰地之后,速度瞬间反向,大小不变,选两球碰撞过程为研究过程,碰撞前后动量守恒,设碰后甲球、乙球速度大小分别为 v_1 、 v_2 ,选向上为正方向,由动量守恒定律得 $m_1v - m_2v = m_1v_1 + m_2v_2$, 由能量守恒定律得 $\frac{1}{2}(m_1 + m_2) \cdot v^2 = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2$, 乙球回弹的最大高度 $H = \frac{v_2^2}{2g}$, 若 $m_1 = 2m_2$, 则 $H = \frac{25}{9}h$, 若 $m_1 \gg m_2$, 则 v_2 趋近于 $3v$, 则近似有 $H = 9h$, 则乙球回弹的最大高度为 $9h$, **A 错误, B 正确**;

若在乙球上方以同样方式放置一个质量为 m_3 的小球, 同样甲球落地时三个小球的速度大小 $v = \sqrt{2gh}$, 对甲、乙两个小球碰撞过程根据动量守恒定律有 $m_1v - m_2v = m_1v_1 + m_2v_2$, 由能量守恒定律得 $\frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2 = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2$, 对乙、丙两个小球碰撞过程根据动量守恒定律有 $m_2v_2 - m_3v = m_2v_3 + m_3v_4$, 由能量守恒定律得 $\frac{1}{2}m_2v_2^2 + \frac{1}{2}m_3v^2 = \frac{1}{2}m_2v_3^2 + \frac{1}{2}m_3v_4^2$, 反弹后上升的最大高度 $H' = \frac{v_3^2}{2g}$, 若满足 $m_1 \gg m_2 \gg m_3$, 则丙球回弹的速度大小为 $7v$, 最大高度为 $49h$, **C 错误**;

根据数学归纳的方法可知, 若以相同方式共放置 n 个小球且满足 $m_1 \gg m_2 \gg \dots \gg m_n$, 则第 n 个球回弹时的速度 $v_n = (2^n - 1)\sqrt{2gh}$, **D 正确**.

突破点 11 简谐运动 (特征判断法)

1. **BD** 【解析】由题意可知, 在距地心 x 处, 物体受到地球的

引力大小为 $F = G \frac{x^3}{R^3} \frac{Mm}{x^2} = G \frac{Mm}{R^3} \cdot x = kx$ (点拨: 由于均匀球壳对放入其内部的质点的引力为 0, 则地球的等效质量要用 x 与 R 的关系重新计算), 根据牛顿第二定律得 $kx = ma$, 可知从 A 到 O 加速度随位移均匀减小, 物体在 A 、 C 两点的加速度大小之比为 $R : x$, **A 错误, D 正确**; 根据前面分析可知引力随 x 线性变化, 故根据动能定理, 从 A 到 O 有 $\frac{GMm}{R^3} \cdot R \cdot \frac{R}{2} = E_k - 0 = \frac{GMm}{2R}$ (点拨: 利用 $F-x$ 图像计算引力做功, 即三角形的面积), **B 正确**;

设物体到 O 点距离为 x' , 物体受到的引力大小满足 $F = kx'$, 方向始终指向 O , 所受引力与相对 O 的位移方向相反, 故物体将在 A 、 B 之间做简谐运动 (点拨: 简谐运动回复力的大小与偏离平衡位置的距离成正比), **C 错误**.

2. **ABD** 【解析】设小球运动到任意点 P 时, BP 与水平方向的夹角为 θ , 则橡皮筋的弹力沿竖直向上的分力 $F_y = k \cdot BP \cdot \sin \theta = kL = \frac{3}{2}mg$, 故小球受到的摩擦力大小为 $F_f = \mu(F_y - mg) = 0.2mg$, 与 θ 无关, 保持恒定, **A 正确**; 设 CP 的长度为 x , 则橡皮筋的弹力沿水平方向的分力 $F_x = k \cdot BP \cdot \cos \theta = kx$, 由 C 到 E 过程中, 小球在水平方向受到的合外力 $F_{\text{合}} = F - F_f - F_x = 0.8mg - \frac{3mgx}{2L}$, 水平方向的合外力与位移 x 呈线性关系, 类似简谐运动, 根据对称性, 且 D 为 CE 的中点, 故由 C 到 E 过程中, 小球在 D 点时速度最大, **B 正确**; 当 $F_{\text{合}} = 0$



时,解得 $x = \frac{8}{15}L$, 则 CE 的长度为 $2x = \frac{16}{15}L$, 小球在 E 点, 橡皮筋的拉力沿水平方向的分力 $F_{xE} = k \cdot \frac{16}{15}L = \frac{8}{5}mg$, 因 $F_{xE} > F + F_f$, 小球将向左运动, 同理可知, 设该过程的平衡位置与 C 点的距离为 x_0 , 则有 $kx_0 = F + F_f$, 解得 $x_0 = 0.8L$, 此时 $A = \frac{16}{15}L - 0.8L = \frac{4}{15}L$, 根据对称性小球向左运动的最大距离为 $2A = \frac{8}{15}L$, 此时橡皮筋拉力的水平分力 $F_{x1} = k\left(\frac{16}{15}L - 2A\right) = \frac{4}{5}mg$, 因 $F = F_f + F_{x1}$, 故小球恰好停在 D 点, **C 错误**; 根据上述分析可知, 从小球开始运动到小球停止, 小球与杆之间因摩擦产生的热量为 $Q = F_f\left(\frac{16}{15}L + \frac{8}{15}L\right) = \frac{8}{25}mgL$, **D 正确**.

突破点 12 电场中的运动问题 (模型转化法)

1. **BC** 【解析】电子从 O 到 B 板, 根据动能定理有 $eU = \frac{1}{2}mv^2$, A 、 B 间电压始终为 U , 因此到达 B 板的速度始终为 $v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$, **A 错误**; 对电子从 O 到 C 板全过程, 由动能定理有 $eU - eU = \frac{1}{2}mv_c^2 - 0$ (关键: 两极板始终与电源相连, 电压不变, 电场力做功不变), 总功始终为 0, 因此电子到达 C 板时速度仍为 0, 恰好到达 C 板, 不能穿过 C 板上的小孔, **B 正确**; 电子在 A 、 B 板间匀加速, 加速度 $a_1 = \frac{eE_1}{m} = \frac{eU}{md_{AB}}$, 位移 $d_{AB} = \frac{1}{2}a_1t_1^2$, 解得 $t_1 = d_{AB} \cdot \sqrt{\frac{2m}{eU}}$, 即 t_1 与 d_{AB} 成正比, 在 B 、 C 板间匀减速, 加速度大小 $a_2 = \frac{eE_2}{m} = \frac{eU}{md_{BC}}$, 同理可得减速到 0 的时间 $t_2 = d_{BC} \cdot \sqrt{\frac{2m}{eU}}$, 即 t_2 与 d_{BC} 成正比, 总时间 $t = t_1 + t_2 = D \cdot \sqrt{\frac{2m}{eU}}$, A 、 C 板间距离 D 不变, 因此总时间不变, **C 正确, D 错误**.

2. **BC** 【解析】将粒子的运动分解为沿 PQ 方向和垂直 PQ 方向, 以 PQ 方向为 x 轴正方向, MN 方向为 y 轴正方向, P 为坐标原点建立坐标系, M 点切线与 PQ 平行, 说明粒子在 M 点垂直于 PQ 方向的分速度为零. 粒子在 y 轴方向受恒力作用做匀变速直线运动, P 、 Q 两点的纵坐标均为零 (关键: 垂直 PQ 方向上的匀变速运动不受 PQ 方向运动的影响), 根据匀变速直线运动的对称性可知, 粒子从 P 运动至 M 的时间等于从 M 运动至 Q 的时间, 即 $t_{PM} = t_{MQ}$ (关键: 垂直 PQ 方向的运动可看作 P 到 M 的末速度为零的匀减速直线运动和 M 到 Q 的初速度为零的匀加速直线运动), **A 错误, B 正确**; 粒子带正电, 电场方向与加速度方向一致, 设 $P \rightarrow M$ 沿 x 轴方向位移为 x_1 , $M \rightarrow Q$ 沿 x 轴方向位移为 x_2 , 由图知 $x_2 > x_1$, 设 $t_{PM} = t_{MQ} = t$, 则 $x_2 - x_1 = a_x t^2 > 0$, 说明加速度存在沿 x 轴正方向的分量 a_x , 因此电场方向不可能沿垂直 PQ 的 MN 方向, PQ 中点 O 的坐标为 $\left(\frac{x_2 + x_1}{2}, 0\right)$, 线段 MO 沿 x 轴方向的长度 $x' =$



$\frac{x_2+x_1}{2}-x_1=\frac{x_2-x_1}{2}=\frac{a_x}{2}t^2$, 沿 y 方向的长度 $h=\frac{a_y}{2}t^2$, 可见 MO 与加速度方向同向, 因此电场强度沿 MO 方向, **C 正确, D 错误**.

3. AB 【解析】由题意有 $\tan 45^\circ = \frac{y}{x} = 1$, 即小球水平位移 x

和竖直位移 y 大小相等, $x=y$, 水平位移 $x=v_0t-\frac{1}{2}a_xt^2$, 将

$a_x=\frac{v_0}{t}$ 代入, 得 $x=v_0t-\frac{1}{2}\cdot\frac{v_0}{t}\cdot t^2=\frac{1}{2}v_0t$, 竖直位移 $y=$

$\frac{1}{2}gt^2$, 由 $x=y$ 可得 $\frac{1}{2}v_0t=\frac{1}{2}gt^2$, 解得运动时间 $t=\frac{v_0}{g}$, **A 正**

确; 小球水平加速度大小 $a_x=\frac{v_0}{t}=g$, 小球在任意时刻 t' 的速

度分量为 $v_x=v_0-a_xt'=v_0-gt'$, $v_y=gt'$, 动能 $E_k=\frac{1}{2}m(v_x^2+v_y^2)=$

$\frac{1}{2}m[(v_0-gt')^2+(gt')^2]=\frac{1}{2}m[v_0^2-2v_0gt'+2(gt')^2]$, 这是一

个关于 t' 的二次函数, 当 $t'=-\frac{-2v_0g}{2\cdot 2g^2}=\frac{v_0}{2g}$ 时, 动能有最小

值, 将 $t'=\frac{v_0}{2g}$ 代入动能表达式, 解得 $E_{k(\min)}=\frac{1}{4}mv_0^2$, **B 正确**;

电场力大小 $F_E=ma_x=mg$, 电场力的冲量大小 $I_E=F_E\cdot t$, 联

立得 $I_E=mg\cdot\frac{v_0}{g}=mv_0$, **C 错误**; 机械能的变化量等于电场力

做的功 W_E , 电场力方向与水平位移方向相反, 做负功, $W_E=$

$-F_E\cdot x=-mg\cdot\frac{1}{2}v_0t=-mg\cdot\frac{1}{2}v_0\cdot\frac{v_0}{g}=-\frac{1}{2}mv_0^2$, 则小球的

机械能减少了 $\frac{1}{2}mv_0^2$, **D 错误**.



1 min 速解

北京大学——杨晨博

小球在水平方向做匀减速直线运动, 从 O 点到 P 点水平

方向平均速度 $v_x=\frac{v_0+0}{2}$, 则水平位移 $x=\frac{v_0}{2}t$, 竖直位移 $y=$

$\frac{1}{2}gt^2$, 根据几何关系有 $x=y$, 解得时间 $t=\frac{v_0}{g}$, **A 正确**; 根据

轨迹对称性可知, 重力、电场力大小都是 mg , 合力方向沿左

下 45° (与重力和电场力夹角均为 45°), 把初速度 v_0 分解, 垂

直合力方向速度不变, 沿合力方向速度减为 0 时, 速度最

小, 动能最小, $E_{k\min}=\frac{1}{2}m(v_0\cos 45^\circ)^2=\frac{1}{4}mv_0^2$, **B 正确**; 根据

冲量公式计算可知, **C 错误**; 机械能包含重力势能和动

能, 由 A 可知 $v_P=v_0$, 小球从 O 点到 P 点动能不变, 重力势

能减少, 机械能减少, **D 错误**.

4. BD 【解析】在金属筒内, 由于静电屏蔽, 内部场强为 0, 此时

粒子做匀速直线运动, **A 错误**; 若在每个筒内飞行时间均为

$\frac{T}{2}$, 则可以满足粒子每次在狭缝中一直加速, 又在筒中存在 $E_k=$

$nqU_0=\frac{1}{2}mv_n^2$, 可知 $v_n=\sqrt{\frac{2nqU_0}{m}}$, 即速度比为 $1:\sqrt{2}:\sqrt{3}:2:$

$\sqrt{5}$, 则各筒的长度比为 $1:\sqrt{2}:\sqrt{3}:2:\sqrt{5}$ (**关键: 粒子经狭**



缝加速后,以每次加速后的末速度在下一个筒中做匀速直线运动),**B 正确**;从 5 号筒飞出后动能为 $E_{k5} = 5qU_0$,速度为 $v =$

$\sqrt{\frac{10qU_0}{m}}$,势能为 $E_p = -k\frac{Qq}{a}$,设飞至接收屏时离点电荷的距离为 b ,存在 $5qU_0 - k\frac{Qq}{a} = \frac{1}{2}mv'^2 - k\frac{Qq}{b}$,类比天体运动特

点,还应存在 $\frac{1}{2}av\Delta t = \frac{1}{2}bv'\Delta t$,联立可得 $b = \frac{5U_0a^2}{kQ - 5U_0a}$,则接

收粒子位置应为出口上方 $\frac{5U_0a^2}{kQ - 5U_0a} + a$ 处,**C 错误**;类比天体

运动,粒子在右侧区域飞行周期应与半径为 $R = \frac{a+b}{2}$ 的圆周

运动周期一致,则有 $k\frac{Qq}{R^2} = m\frac{4\pi^2}{T'^2}R$,可得 $T' =$

$\sqrt{\frac{m\pi^2}{2kQq}\left(\frac{kQa}{kQ - 5U_0a}\right)^3}$,则粒子在右侧区域飞行时间为 $\frac{T'}{2} =$

$\sqrt{\frac{m\pi^2}{8kQq}\left(\frac{kQa}{kQ - 5U_0a}\right)^3}$,**D 正确**.

5. **AD** 【解析】由分析可知,粒子在水平方向不受力,做匀速直线运动.设极板的长度为 l ,则粒子在两极板间的运动时间为 $t = \frac{l}{v_0}$,由此可知,粒子在两极板间的运动时间只与 l 和 v_0

有关,与两极板的距离无关,所以增大或减小两极板的距离,粒子在极板间的运动时间不变,**A 正确,B 错误**;粒子第一次与极板发生碰撞前,在竖直方向做从静止开始的匀加速直线运动,设其加速度为 a ,两极板间的距离为 d ,则根据牛顿第二定律有 $q\frac{U}{d} = ma$,设粒子第一次与极板发生碰撞前的运动

时间为 t_1 ,则根据运动学公式有 $d = \frac{1}{2}at_1^2$,解得 $t_1 = \sqrt{\frac{2d}{a}}$,粒

子第一次与极板发生碰撞瞬间竖直方向的速度大小为 $v_1 = at_1 = \sqrt{2ad}$,由于粒子与上下两极板的碰撞都为弹性碰撞,且每次碰撞后,粒子带电荷量大小不变,电性与碰撞的极板相同,故粒子第一次与极板发生碰撞后,粒子在竖直方向上将

以 v_1 的初速度向上做匀加速直线运动,加速度大小仍为 a ,设粒子第 1、2 次与极板碰撞的时间间隔为 t_2 ,则根据运动学公式有

$d = v_1t_2 + \frac{1}{2}at_2^2$,解得 $t_2 = (\sqrt{2} - 1) \cdot \sqrt{\frac{2d}{a}} = (\sqrt{2} - 1)t_1$,同理可求得粒子第 2、3 次与极板碰撞的时间间隔为 $t_3 = (\sqrt{3} - \sqrt{2})t_1$,所以粒子第 1、2 次碰撞的时间间隔与第 2、3 次碰撞的时间间隔

之比为 $(\sqrt{2} - 1) : (\sqrt{3} - \sqrt{2})$,**C 错误,D 正确**.



1 min 速解

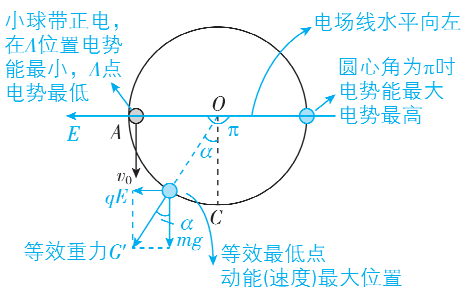
哈尔滨工业大学——何翔宇

粒子在极板间运动的时间取决于水平方向的运动,不受极板间距离影响,**A 正确,B 错误**;粒子每次碰撞后电性变为与碰撞的极板相同,速度大小不变,则粒子每次碰后在垂直极板方向都是匀加速直线运动,粒子在垂直极板方向的初速度为 0,根据匀加速直线运动相邻相等位移所用时间之比可得粒子第 1、2 次碰撞的时间间隔与第 2、3 次碰撞的时间间隔之比为 $(\sqrt{2} - 1) : (\sqrt{3} - \sqrt{2})$,**C 错误,D 正确**.



6. CD

题图剖析



【解析】由电势能变化图像可知,起始位置 A 点对应电势能取最小值,为 $-E_{p0} = -6 \text{ J}$,当 $\theta = \pi$ 时,电势能增加量 $\Delta E_p = E_{p0} - (-E_{p0}) = 2E_{p0}$,小球的水平位移为 $2R$,由 $W_{\text{电}} = -qE \cdot 2R = -\Delta E_p = -2E_{p0}$,代入数据解得 $E = 6 \text{ N/C}$, $\theta = \pi$ 时,电势能最大,小球带正电,由 $\varphi = \frac{E_p}{q}$ 可知右侧电势更高,电场方向水平

向左, **A 错误**;小球所受电场力方向水平向左,满足 $F_{\text{电}} = qE = 3 \text{ N}$,重力竖直向下,满足 $G = mg = 4 \text{ N}$,合力(等效重力)方向斜向左下,大小 $G' = mg' = \sqrt{(qE)^2 + (mg)^2} = 5 \text{ N}$,设合力方向与竖直方向夹角为 α ,则有 $\tan \alpha = \frac{F_{\text{电}}}{G} = \frac{3}{4}$,小球恰好做完整

圆周运动的条件为,小球在等效最高点时,轨道弹力为 0,等效重力提供向心力,即 $mg' = m \frac{v_2^2}{R}$,得小球在等效最高点的动

能 $E_{k0} = \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}mg'R = 5 \text{ J}$,小球在运动过程中速度的最大

关键点

值出现在等效最低点,从等效最高点到等效最低点,由动能

定理有 $mg' \cdot 2R = \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_2^2$,代入数据,解得小球在运动

过程中速度的最大值为 $v_1 = 5\sqrt{5} \text{ m/s}$, **B 错误**;由 B 选项分析可知,等效最低点的位置在圆弧上 A、C 两点之间,且 $\tan \alpha = \frac{3}{4}$,因此小球从 A 到 C 的过程中,先经过等效最低点再通过

C 点,因此小球的速度先增大后减小, **C 正确**;在等效最低

点,轨道对小球的支持力最大,满足 $F_N - mg' = m \frac{v_1^2}{R}$,代入数

据解得 $F_N = 30 \text{ N}$,由牛顿第三定律可知,小球在运动过程中对轨道压力的最大值为 30 N , **D 正确**.

突破点 13 复合场问题(分段拆解法)

1. **CD** 【解析】小球要做完整的圆周运动,在 C 点进行受力分析,可判断所受洛伦兹力向上(点拨:小球重力向下,在 C 点洛伦兹力只能向上,小球才能做圆周运动),可知在 C 点速度方向向右,故在 A 点速度方向向左, **A 错误**;对 A 点的小球

受力分析, $qv_A B + mg - F_{N1} = m \frac{v_A^2}{R}$,可得 $F_{N1} = 8\sqrt{5} \text{ N}$, **B 错误**;由

动能定理有 $mg \times 2R = \frac{1}{2}m(v_C^2 - v_A^2)$ (关键:洛伦兹力和圆环给

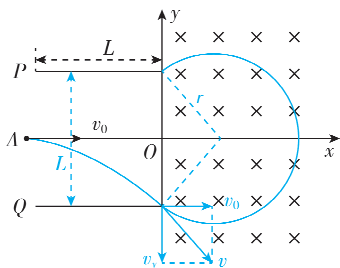
小球的支持力均不做功),解得小球在 C 点速度大小为 $v_C =$

5 m/s , **C 正确**;在 C 点根据牛顿第二定律得 $qv_C B - mg - F_{N2} =$



$m \frac{v_C^2}{R}$, 又根据牛顿第三定律, 得 $F_{\text{压}} = F_{N2} = 10 \text{ N}$, **D 正确**.

2. **BC** 【解析】根据题意结合左手定则可知粒子只能从下极板的右侧边缘进入磁场, 运动轨迹如图所示,



带正电粒子在平行极板间向下偏转, 故极板 P 带正电, **A 错误**; 粒子在电场中做类平抛运动, 根据类平抛运动的推论, 粒子进入磁场时速度方向与 x 轴正方向夹角的正切值满足

$$\tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = 2 \frac{y}{x} = \frac{2 \times \frac{L}{2}}{L} = 1, \text{ 可得 } \theta = 45^\circ, \text{ 则进入磁场时速度}$$

方向与 y 轴负方向夹角为 $90^\circ - \theta = 45^\circ$, **B 正确**; 带正电粒子

进入磁场时的合速度大小 $v = \frac{v_0}{\cos 45^\circ} = \sqrt{2} v_0$, 粒子在磁场中做

匀速圆周运动, 根据几何关系可得粒子转动半径 $r = \frac{\frac{L}{2}}{\sin 45^\circ} =$

$\frac{\sqrt{2}}{2} L$, 则在磁场中的运动时间 $t = \frac{3}{4} \cdot \frac{2\pi r}{v}$ (关键: 运动转过的

圆心角为 270°), 解得 $t = \frac{3\pi L}{4v_0}$, **C 正确**; 粒子再次进入电场

后, 水平方向的分速度大小不变, 在竖直方向上做初速度为 v_y 的匀加速运动, 则粒子不可能回到出发点 A , **D 错误**.

3. **BC** 【解析】 a 粒子在电场中加速的过程, 由动能定理得

$$q_a U = \frac{1}{2} m_a v_a^2, a \text{ 粒子在磁场中做匀速圆周运动时, 由洛伦兹}$$

力提供向心力有 $q_a v_a B = m_a \frac{v_a^2}{r_a}$, 联立解得 $\frac{q_a}{m_a} = \frac{2U}{B^2 r_a^2}$, 同理对 b

粒子进行分析可得 $\frac{q_b}{m_b} = \frac{2U}{B^2 r_b^2}$, 由题意可知 $r_b = 2r_a$, 解得 a 、 b 的

比荷之比为 $\frac{q_a}{m_a} : \frac{q_b}{m_b} = \frac{2U}{B^2 r_a^2} : \frac{2U}{B^2 r_b^2} = 4 : 1$, **A 错误, B 正确**; 设 a

粒子在磁场中做匀速圆周运动的周期为 T_a , 则有 $q_a v_a B =$

$$m_a \left(\frac{2\pi}{T_a} \right)^2 r_a, \text{ 又因为 } T_a = \frac{2\pi r_a}{v_a}, \text{ 联立解得 } T_a = \frac{2\pi m_a}{B q_a}, \text{ 同理对 } b$$

粒子进行分析可得 $T_b = \frac{2\pi m_b}{B q_b}$, 由题意可知, a 、 b 两粒子在磁

场中都转过了 180° , 所以 a 、 b 两粒子在磁场中运动的时间之

$$\text{比为 } \frac{t_a}{t_b} = \frac{\frac{1}{2} T_a}{\frac{1}{2} T_b} = \frac{\frac{1}{2} \times \frac{2\pi m_a}{B q_a}}{\frac{1}{2} \times \frac{2\pi m_b}{B q_b}} = \frac{1}{4}, \text{ C 正确, D 错误.}$$

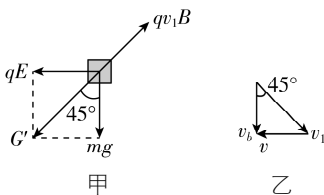
4. **ACD** 【解析】由题意可知从粒子源中点 P 发射的粒子在

磁场中运动轨迹为四分之一圆周, 设轨迹半径为 r , 由几何关系易知 $r = R$, 如图甲所示, 根据几何关系可知所有进入圆形磁场区域的粒子经过磁场偏转都要经过 Q 点离开 (关键: 平

场中做曲线运动的轨迹,分析方法为配速法,即配出洛伦兹力 qv_1B 去平衡电场力和重力的合力如图甲所示,有 $G' = \sqrt{2}mg = qv_1B$,对应的速度为 $v_1 = \sqrt{2gh}$,即一个分运动是与竖直方向夹角为 45° 斜向右下方以速度 v_1 做匀速直线运动,则滑块在 b 点的速度 v_b 为 v_1 和 v 的合速度,如图乙所示,由几何关系可知 $v = \sqrt{gh}$,则另一个分运动是以速率 v 做匀速圆周运动,当匀速圆周运动线速度方向和 v_1 同向时小滑块速度最大,为 $v + v_1 =$



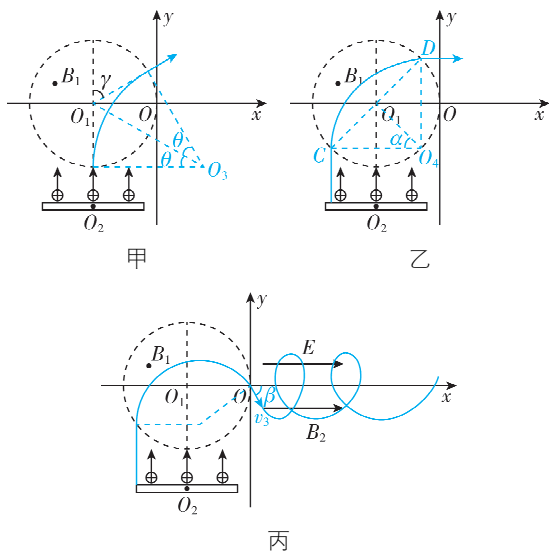
$(\sqrt{2}+1)\sqrt{gh}$ (关键:两速度大小不变,同向时小滑块实际速度最大,反向时实际速度最小), C 错误;小滑块以速率 v 做匀速圆周运动有 $qvB = m \frac{v^2}{R}$, $T = \frac{2\pi R}{v}$, 联立得周期为 $T = \frac{2\pi m}{qB}$, 小滑块从 b 点到第一次达到最大速度, 圆周运动速度偏转角为 $\theta = \frac{3\pi}{4}$, 所以经历时间为 $t = \frac{\theta}{2\pi} T = \frac{3\pi}{4} \sqrt{\frac{h}{g}}$, D 正确.



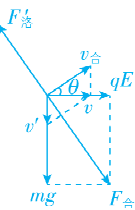
甲

乙

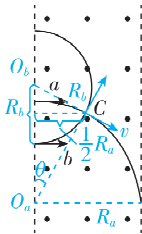
6. AC 【解析】当 $v_1 = \frac{\sqrt{3}qB_1R}{m}$ 时, 根据洛伦兹力提供向心力, 有 $qv_1B_1 = m \frac{v_1^2}{r_1}$, 解得 $r_1 = \sqrt{3}R$, 粒子运动轨迹如图甲所示, 由几何关系得 $\tan \theta = \frac{R}{r_1} = \frac{\sqrt{3}}{3}$, 解得 $\theta = 30^\circ$, 飞出圆形磁场时速度偏转了 $\gamma = 60^\circ$ (关键: 入射点或出射点与两圆心, 三点的连线构成直角三角形), A 正确; 当 $v_2 = \frac{\sqrt{2}qB_1R}{m}$ 时, 根据洛伦兹力提供向心力, 有 $qv_2B_1 = m \frac{v_2^2}{r_2}$, 解得 $r_2 = \sqrt{2}R$, 设从 C 点进、 D 点出的粒子在磁场 B_1 中运动时间最长, 则 CD 为圆形磁场的直径 (关键: 速度大小相同, 弧长越长, 运动时间越长, 且 $r_2 > R$, 则最大弧长对应最长的弦, 即 CD 为直径), 粒子运动轨迹如图乙所示, 由几何关系得 $r_2 \sin \alpha = R$, 解得 $\sin \alpha = \frac{\sqrt{2}}{2}$, 由几何关系得该粒子的入射位置到 O_1O_2 的距离 $d = R \sin \alpha = \frac{\sqrt{2}}{2}R$, B 错误; 同理, $v_3 = \frac{qB_1R}{m}$ 时粒子在圆形磁场中的运动半径 $r_3 = R$, 发射器最左端发射的粒子运动轨迹如图丙所示, 设该粒子运动到 O 点时其速度方向与 x 轴正方向夹角为 β , 由几何关系有 $r_3 + r_3 \sin \beta = 1.8R$, 可得 $\sin \beta = 0.8$, 根据速度的分解有 $v_x = v_3 \cos \beta$, $v_y = v_3 \sin \beta$, 由题意得该粒子的运动可视为沿 x 轴正方向的匀加速直线运动和垂直于 x 轴平面内的匀速圆周运动的合运动 (关键: 旋进运动), 沿 x 轴正方向有 $a = \frac{qE}{m}$, 垂直于 x 轴平面内根据洛伦兹力提供向心力, 有 $qv_yB_2 = m \frac{v_y^2}{r_4}$, 解得 $r_4 = \frac{4B_1R}{5B_2}$, 粒子匀速圆周分运动周期为 $T = \frac{2\pi r_4}{v_y} = \frac{2\pi m}{qB_2}$, 粒子轨迹上的点与 x 轴的最远距离为 $L = 2r_4 = \frac{8B_1R}{5B_2}$, 对应的 x 轴方向的位移为 $x = v_x t + \frac{1}{2}at^2$ (关键: 两分运动时间相同), 其中 $t = (2n+1) \frac{T}{2} = \frac{(2n+1)\pi m}{qB_2}$ ($n = 0, 1, 2, 3, \dots$), 解得 $x = \frac{3\pi B_1R}{5B_2} \cdot (2n+1) + \frac{\pi^2 m E (2n+1)^2}{2qB_2^2}$ ($n = 0, 1, 2, 3, \dots$), C 正确, D 错误.



7. **AD** 【解析】对物体从 A 运动到 B 的过程进行受力分析, 可知物体受重力、电场力、洛伦兹力、支持力、摩擦力, 水平方向有 $qE - \mu N = ma$, 竖直方向有 $N + qv_1 B_0 = mg$, 随着速度增大, 加速度逐渐增大, **A 正确**; 从 B 点离开地面时有 $qvB_0 = mg$, 解得 $v = 5 \text{ m/s}$, **B 错误**; 物体从 A 运动到 B 的过程中, 根据动量定理有 $qEt - \mu(mg - qvB_0)t = mv$, 其中 $x = \bar{v}t$, 解得 $x = 2.25 \text{ m}$, **C 错误**; 物体离开地面时, 恰好受重力、电场力、洛伦兹力作用, 根据配速法, 如图, 其中 $qv_{\text{合}} B_0 = \sqrt{(mg)^2 + (qE)^2}$, 解得 $v_{\text{合}} = 6.25 \text{ m/s}$, $v_{\text{合}}$ 与水平方向的夹角满足 $\tan \theta = \frac{qE}{mg} = \frac{3}{4}$, 又 $\frac{v}{v_{\text{合}}} = \frac{4}{5} = \cos \theta$, 故物体离开地面后的运动可分解为 $v_{\text{合}}$ 方向的匀速直线运动及初速度为竖直向下的 v' 的匀速圆周运动, 其中匀速圆周运动的周期为 $T = \frac{2\pi m}{qB_0} = \pi \text{ s}$, 经过 $\frac{\pi}{2} \text{ s}$ 后, 物体做圆周运动的分运动在竖直方向无位移, 则物体距离地面的高度为 $h = v_{\text{合}} t' \sin \theta = \frac{15\pi}{8} \text{ m}$, **D 正确**.



8. **BD** 【解析】因为 a 、 b 粒子有相同的初速度, 且均垂直竖直边界进入右侧磁场, 在电场中, 粒子水平方向不受力, 做匀速直线运动, 由 $L = vt$, 可得 a 、 b 在电场中运动的时间一定相同, 又因为两粒子穿过极板后水平向右垂直竖直边界进入匀强磁场, 则两粒子在离开电场时, 竖直方向速度为零, 根据题图乙可知, a 、 b 穿过极板的时间为 T_0 的偶数倍, **A 错误, B 正确**; 如图所示, 根据几何关系



可得 $\sin \theta = \frac{\frac{R_a}{2}}{R_a} = \frac{1}{2}$, 可得 $\theta = 30^\circ$, 由几何关系可知 $\tan \theta = \frac{R_b}{R_a} = \frac{\sqrt{3}}{3}$, 在磁场中, 由洛伦兹力提供向心力有 $qvB_0 = m \frac{v^2}{R}$, 可得粒子的比荷为 $\frac{q}{m} = \frac{v}{B_0 R}$, 两粒子进入磁场时的速度大小相等, 则 $\frac{q}{m} \propto \frac{1}{R}$, 所以 a 、 b 粒子的比荷之比为 $\frac{\frac{q_a}{m_a}}{\frac{q_b}{m_b}} = \frac{R_b}{R_a} = \frac{1}{\sqrt{3}}$, **C**

等, 则 $\frac{q}{m} \propto \frac{1}{R}$, 所以 a 、 b 粒子的比荷之比为 $\frac{\frac{q_a}{m_a}}{\frac{q_b}{m_b}} = \frac{R_b}{R_a} = \frac{1}{\sqrt{3}}$, **C**



错误;电场中,在竖直方向, a 、 b 粒子在一个周期内先加速再减速,由运动学公式得 $y = 2n \times \frac{1}{2} a T_0^2 = n \cdot \frac{qE_0}{m} T_0^2$ ($n = 1, 2, 3, \dots$), 因为 a 、 b 粒子在电场中运动时间相等,场强大小 E_0 相等,则 $y \propto \frac{q}{m}$, 即 a 、 b 穿过极板时竖直方向上的位移大小与

两粒子的比荷成正比,则 $\frac{y_a}{y_b} = \frac{\frac{q_a}{m_a}}{\frac{q_b}{m_b}} = \frac{1}{\sqrt{3}}$, **D** 正确.

突破点 14 电磁感应切割问题 (先找电源再看回路)

1. **BC** 【解析】由 $\bar{E} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, $\bar{I} = \frac{\bar{E}}{R}$, $q = \bar{I}\Delta t$, 综合可得 $q = \frac{\Delta\Phi}{R}$, 结合 $\Delta\Phi = BLx$, 可得 $q = \frac{BLx}{R}$, **A** 错误; 金属棒达到最大速度 v_0 时

由 $E = BLv_0$, $I = \frac{E}{R}$, $F_{\text{安}} = BIL$, 综合可得 $F_{\text{安}} = \frac{B^2 L^2 v_0}{R}$, 由平衡条件可得 $mg \sin 30^\circ = kx + F_{\text{安}}$ (关键: 当速度最大时, 加速度为零, 即金属棒受力平衡), 综合解得 $m = \frac{2kx}{g} + \frac{2B^2 L^2 v_0}{gR}$, **B** 正确;

由能量守恒定律可得重力势能的减小量为 $\Delta E_p = \frac{1}{2} kx^2 + \frac{1}{2} mv_0^2 + Q$, 若 $\frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{2} mv_0^2 = Q$, 则有 $\Delta E_p = \frac{3}{2} kx^2$, **C** 正确; 安培力的冲量大小为 $I_{\text{安}} = \bar{B} \bar{I} L \Delta t = BqL = \frac{B^2 L^2 x}{R}$, **D** 错误.

2. **BD** 【解析】旋转切割的导体棒产生的电动势为 $\frac{BL^2 \omega}{2}$, 由于不考虑其他电阻, 故通过电阻 R 的电流为 $\frac{BL^2 \omega}{2R}$ (关键: 导体棒充当电源, 与电阻 R 构成回路, 电容器与电阻 R 并联), **B** 正确; 充电过程中电容器两端电压从 0 开始逐渐增大, 充电完成后电容器两端的电压为路端电压, 为 $\frac{BL^2 \omega}{2}$, **C** 错误; 电容器充电过程中由右手定则可知通过电流表的电流从右向左, 且充满电后通过电流表的电流为 0, 不会始终有电流通过电流表, **A** 错误; 根据 $Q = CU$, 可知 $Q = \frac{CBL^2 \omega}{2}$, **D** 正确.

3. **ABD** 【解析】圆环以角速度 ω 绕 O 点沿顺时针方向匀速转动, 根据右手定则, 通过金属棒 PQ 的电流方向始终为 $Q \rightarrow P$, **A** 正确; 感应电动势 $E = \frac{1}{2} B\omega l^2$, 总电阻 $R_{\text{总}} = \frac{R}{4} + R = \frac{5R}{4}$, 总电流 $I = \frac{E}{R_{\text{总}}} = \frac{2B\omega l^2}{5R}$, 通过金属棒 PQ 的电流大小为 $I' = \frac{I}{4} = \frac{B\omega l^2}{10R}$ (关键: 正确分析电路, 判断 PQ 属于支路), **B** 正确; 金属棒 PQ 静止, 所受到的摩擦力大小为 $f = F_{\text{安}} = BI'l = \frac{B^2 \omega l^3}{10R}$, **C** 错误; 圆环转动一周的过程 (关键: 匀速转动, 外力做功等于克服安培力做功, 转化为电能变成回路焦耳热), 外力做的功为



$$W = I^2 R_{\text{总}} \quad T = I^2 R_{\text{总}} \times \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi \omega B^2 l^4}{5R}, \text{D 正确.}$$

4. **AC** 【解析】由导体棒在右侧磁场中能做匀速直线运动

关键点

知, $B_0 l l = \mu mg$, 可知电流 $I = \frac{\mu mg}{B_0 l}$, 结合左手定则可知电流方向由 a 到 b , **A 正确, B 错误**; 左侧磁场的磁感应强度均匀增加, 根据楞次定律结合安培定则可知感应电流方向由 a 到 b , 导体棒在右侧磁场中切割磁感线, 根据右手定则可知感应电流方向由 b 到 a , 则 $E = \frac{S \Delta B}{\Delta t} - B_0 l v_0 = kS - B_0 l v_0$, 又 $I = \frac{E}{R+r}$, 则 $k = \frac{\mu mg(R+r)}{S B_0 l} + \frac{B_0 l v_0}{S}$, **C 正确**; 若左侧磁场磁感应强度在某一时刻停止变化, 导体棒在右侧磁场中切割磁感线产生感应电动势, 导体棒在摩擦力和安培力的共同作用下做加速度越来越小的减速运动(关键: 单棒切割模型, 速度减小, 电动势减小, 安培力减小), **D 错误**.

5. **BC** 【解析】 a 棒做加速度减小的加速运动, a 、 b 所受的安培力逐渐增大, 假设 a 棒稳定时做匀速直线运动, 则有 $F - \mu mg -$

$BIL = 0$, 解得 $I = 1 \text{ A}$, 对 b 棒, 由于 $B \frac{I}{2} L' = 0.5 \text{ N} < \mu mg$, 假设成立, b 棒一直处于静止状态, **A 错误**; 设稳定时 a 棒做匀速直线运

动的速度大小为 v , 则有 $I = \frac{BLv}{R_{\text{总}}} = 1 \text{ A}$, 又 $R_{\text{总}} = R_a + \frac{R_b R}{R_b + R} = 2 \Omega$, 解

得 $v = 1 \text{ m/s}$, **B 正确**; 从开始到稳定状态, 对 a 棒由动能定理得

$$Fx - \mu mgx - W_{\text{安}} = \frac{1}{2}mv^2 - 0, \text{ 又 } W_{\text{安}} = Q_{\text{总}} = I_{\text{有}}^2 R_{\text{总}} t, Q =$$

$$\left(\frac{I_{\text{有}}}{2}\right)^2 R_b t, \text{ 联立解得 } x = (2c + 0.25) \text{ m}, \text{C 正确}; \text{ 从开始到稳定}$$

状态, 对 a 棒由动量定理得 $Ft - \mu mgt - \bar{B} \bar{I} L t = mv - 0$, 又 $q = \bar{I} t =$

$$\frac{BL\bar{v}}{R_{\text{总}}} t = \frac{BLx}{R_{\text{总}}}, \text{ 联立解得 } t = (2c + 0.75) \text{ s}, \text{D 错误.}$$

6. **AD** 【解析】根据 $Q_0 = CE$, 代入数值得 $Q_0 = 1.2 \times 1.0 \text{ C} = 1.2 \text{ C}$, **A 正确**; ab 杆到达倾斜轨道底端 CD 处时加速度恰好

为 0, 则 $BI_{CD}d = mg \tan \theta$, 即 $\frac{B^2 d^2 \cos \theta}{L} x_{CD} = mg \tan \theta$, 解得 $x_{CD} =$

0.8 m , **B 错误**; 经过 PQ 后 $BI d = ma$, $\Delta v = a \Delta t$, 整理得 $v - v_0 =$

$$\sum \frac{B d i \Delta t}{m} = \frac{B d q}{m}, q = C(E - Bdv), \text{ 所以 } ab \text{ 杆从 } EF \text{ 处飞出时的速度}$$

$v = 1.5 \text{ m/s}$, **C 错误**; 下滑过程根据动能定理有 $mgh - W_A =$

$$\frac{1}{2}mv_1^2 - 0, \text{ 其中 } h = x_{CD} \sin \theta = 0.4 \text{ m}, \text{ 克服安培力做功 } W_A =$$

$$\sum F_A \cos \theta \Delta x, F_A = BId = \frac{B^2 d^2 \cos \theta}{L} x, F_A \text{ 随 } x \text{ 均匀增大, 故可用}$$

平均力法求克服安培力所做的功, 即 $W_A = \frac{1}{2} F_{A\text{m}} x_{CD} \cos \theta =$

$$\frac{B^2 d^2 \cos^2 \theta}{2L} x_{CD}^2, \text{ 解得 } W_A = 0.6 \text{ J}, v_1 = 2 \text{ m/s}, \text{ 经过粗糙段根据动}$$

$$\text{能定理有 } -\mu mgl = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv_1^2, \text{ 解得 } \mu = 0.25, \text{D 正确.}$$

7. **AD** 【解析】由于金属棒 a 、 b 同时由静止开始运动, 且恰好在两导轨连接处发生弹性碰撞, 则说明 a 、 b 到达连接处所用的时间是相同的, 对金属棒 a 和电容器组成的回路有 $\Delta q =$



$CBL\Delta v$ (易错:通过回路的电荷量由电容器电容、电压变化量决定),对 a 根据牛顿第二定律有 $F-BIL=m_1a_1$, 其中 $a_1=\frac{\Delta v}{\Delta t}$, $I=\frac{\Delta q}{\Delta t}$, 联立有 $a_1=\frac{F}{m_1+CB^2L^2}=6\text{ m/s}^2$, 则说明金属棒 a 做匀加速

关键点

直线运动, 则有 $x_1=\frac{1}{2}a_1t^2$, $v_1=a_1t$, 联立解得 $t=1.2\text{ s}$, $v_1=7.2\text{ m/s}$, **A 正确**; 金属棒 b 下滑过程中根据动量定理有

$m_2g\sin 30^\circ \cdot t - \bar{B}\bar{I}'L \cdot t = m_2v_2$, 其中 $\bar{I}'t = \frac{\bar{E}}{R}t = \frac{BL\bar{v}}{R}t = \frac{BLx_2}{R}$, 可

求得碰前瞬间金属棒 b 的速度大小为 $v_2=4.2\text{ m/s}$, 则根据能量

守恒定律有 $m_2gx_2\sin 30^\circ = Q + \frac{1}{2}m_2v_2^2$, 联立解得 $Q=7.344\text{ J}$, **B 错误**; 由于两棒发生弹性碰撞, 取金属棒 a 碰前瞬间运动方向为

正方向, 有 $m_1v_1 - m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2'$, $\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_1v_1'^2 +$

$\frac{1}{2}m_2v_2'^2$, 联立解得 $v_1'=-8.0\text{ m/s}$, $v_2'=3.4\text{ m/s}$ (另解 $v_1'=7.2\text{ m/s}$, $v_2'=-4.2\text{ m/s}$ 舍去), **C 错误, D 正确**.

8. CD 【解析】在水平轨道上, 最终稳定时两导体棒电动势

相等 (点拨: 整体无外力, 则稳定状态两导体棒匀速, 最终两导体棒电动势抵消), 可得 $BLv_1 = B \cdot 2Lv_2$, 设 ab 棒质量为

m , 由于两棒密度、横截面积相同, 长度分别为 L 和 $2L$, 则 cd

棒质量为 $2m$, 对 ab 棒由动量定理有 $-\bar{B}\bar{I}L\Delta t = m(v_1 - v_0)$, 对

cd 棒由动量定理有 $\bar{B}\bar{I} \cdot 2L\Delta t = 2m(v_2 - 0)$, 可以解得 $v_1 =$

$\frac{2}{3}v_0$, $v_2 = \frac{1}{3}v_0$ (点拨: 系统合力不为零, 动量不守恒时, 应用动

量定理解决问题), **A 错误**; cd 棒进入圆弧轨道后, 电路中只有

ab 棒切割磁感线, 此时电路中重新有电流通过, 安培力对 ab 棒做负功, 两棒构成的系统机械能不守恒, **B 错误**; 由机械

能守恒定律可知 cd 棒在圆弧轨道运动一段时间后以大小为

$\frac{1}{3}v_0$ 的速度向右进入水平轨道, 这段时间内 ab 棒做减速运

动, 若其恰好在 cd 棒进入水平轨道的瞬间减速至 $\frac{1}{3}v_0$, 则 cd

棒进入磁场后, 对 cd 棒有 $-2\bar{B}\bar{I}'L\Delta t' = 2m\Delta v_2$, 对 ab 棒有

$-\bar{B}\bar{I}'L\Delta t' = m\Delta v_1$, 可得 $\Delta v_1 = \Delta v_2$, 则当 v_{cd} 减为 0 时 v_{ab} 恰好减

为 0, 所以两导体棒可能同时静止在轨道上, **C 正确**; 由于在

任意时刻, 两导体棒构成串联电路, cd 棒的电阻是 ab 棒的两

倍 (关键: 横截面积相同, 电阻率相同, 电阻比等于长度比), cd 棒的热功率也始终是 ab 棒的两倍, 相同时间间隔内

产生的焦耳热也满足这一关系, **D 正确**.

9. AD 【解析】导体棒向右运动切割磁感线, 磁场垂直导轨

平面向外, 根据右手定则, 回路中感应电流方向为逆时针 (俯

视), 通过电阻的电流从 Q 流向 N , **A 正确**; 由题图可知, MP

处导轨宽度为 L , 且导轨 OM 、 OP 为直线, 根据三角形相似关

系, MP 左侧导轨宽度 l 与距离 O 点水平距离 x 满足 $\frac{2L-x}{2L} =$

$\frac{L-l}{L}$, 解得 $l = \frac{x}{2}$, 导体棒从初始位置运动到 MP 过程中, 扫过

$\frac{L-l}{2}$



的面积 $S = \frac{\left(\frac{L}{2} + L\right)L}{2} = \frac{3}{4}L^2$, 通过电阻的电荷量 $q = It = \frac{E}{R}t =$

$\frac{\Delta\Phi}{tR} = \frac{\Delta\Phi}{R} = \frac{BS}{R} = \frac{3BL^2}{4R}$, **B 错误**; 感应电流大小恒定, 初始时刻

$I = \frac{BLv_0}{2R}$, 根据 $q = It$, 可知运动时间 $t = \frac{q}{I} = \frac{3L}{2v_0}$, **C 错误**;

根据功能关系, 外力做功 W_F 等于回路产生的焦耳热 Q 加上

关键点

导体棒动能的变化量 ΔE_k , 焦耳热 $Q = I^2 Rt = \frac{3B^2 L^3 v_0}{8R}$, 电流恒

定, 所以 $\frac{BLv_0}{2R} = \frac{BLv_2}{R}$, 末速度 $v_2 = \frac{v_0}{2}$, 动能变化量 $\Delta E_k = \frac{1}{2}mv_2^2 -$

$\frac{1}{2}mv_0^2 = -\frac{3}{8}mv_0^2$, 所以 $W_F = Q + \Delta E_k = \frac{3B^2 L^3 v_0}{8R} - \frac{3}{8}mv_0^2$, **D 正确**.

10. ABC 【解析】在 $0 \sim \frac{d}{v_0}$ 的时间内, 磁感应强度均匀增

大, 回路中的感应电动势为 $E = S \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t} = d^2 \cdot \frac{0.5B_0 v_0}{d} = \frac{B_0 v_0 d}{2}$

(易错: 感应电动势对应磁场有效面积而非回路面积), **A 正**

确; 在 $0 \sim \frac{d}{v_0}$ 的时间内, 该过程中回路的电流为 $I = \frac{B_0 v_0 d}{2R}$, 因

此该过程中回路产生的热量为 $Q = I^2 Rt = \frac{B_0^2 v_0^2 d^2}{4R^2} \cdot R \cdot \frac{d}{v_0} =$

$\frac{B_0^2 d^3 v_0}{4R}$, **B 正确**; 在 $\frac{d}{v_0} \sim \frac{2d}{v_0}$ 的时间内, 导体棒切割磁感线, 回

路中的感应电动势为 $E' = B_0 dv_0$ (关键: 导体棒有效切割长度为有界磁场宽度), R_1 和 R_2 并联, 流过两个电阻的电流均为

$I' = \frac{B_0 dv_0}{R}$, 因此在此过程中电阻 R_1 产生的热量为 $Q' = I'^2 Rt =$

$\frac{B_0^2 d^2 v_0^2}{R^2} \cdot R \cdot \frac{d}{v_0} = \frac{B_0^2 d^3 v_0}{R}$, **C 正确**; 在 $\frac{d}{v_0} \sim \frac{2d}{v_0}$ 的时间内, 电阻

R_1 和 R_2 产生的总热量为 $\frac{2B_0^2 d^3 v_0}{R}$, 可知整个运动过程中, 回

路产生的总的热量 $Q_{\text{总}} = \frac{B_0^2 d^3 v_0}{4R} + \frac{2B_0^2 d^3 v_0}{R} = \frac{9B_0^2 d^3 v_0}{4R}$, **D 错误**.

11. BD 【解析】洛伦兹力始终与电荷的运动方向垂直, 所以

洛伦兹力永不做功, **A 错误**; 第 1 根导体棒刚进入磁场时, 切割磁感线产生的感应电动势 $E = BLv_0$, 此时外电路仅有定值电阻 R , 且导体棒的电阻也为 R , 根据闭合电路欧姆

定律, 定值电阻 R 两端的电压 $U = \frac{R}{R+R}E = \frac{BLv_0}{2}$ (关键: 导体

棒是电源, 定值电阻 R 两端的电压是路端电压), **B 正确**; 第

n 根导体棒进入磁场到速度减为零的过程中, 根据动量定理

有 $-BIL\Delta t = 0 - mv_0$, 解得此过程中流过第 n 根导体棒的总电

荷量 $q_n = \bar{I}\Delta t = \frac{mv_0}{BL}$, 可知, 每根导体棒进入磁场到速度减为

零的过程中, 流经此导体棒的电荷量均为 $\frac{mv_0}{BL}$, 当第 n 根导

体棒运动时, 已有 $n-1$ 根相同的导体棒锁定在导轨上, 此时外电路相当于 n 个阻值为 R 的支路并联, 由于并联电路的

分流作用, 流过定值电阻 R 的电荷量 $q_{Rn} = \frac{1}{n}q_n = \frac{mv_0}{nBL}$ (关

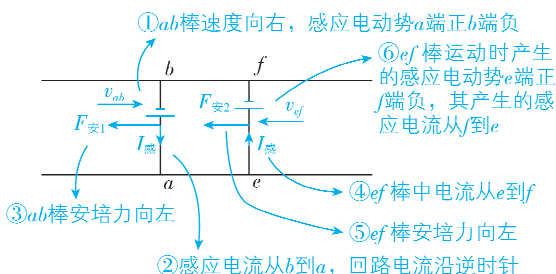


键:并联电路各支路电阻相等,电流均分,则电荷量均分),因此,从第1根导体棒进入磁场到第4根导体棒速度减为零的过程中,定值电阻 R 上通过的总电荷量 $q_R = q_{R1} + q_{R2} + q_{R3} + q_{R4} = \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4}\right) \frac{mv_0}{BL} = \frac{25mv_0}{12BL}$, C 错误;第 n 根导体棒运动的过程中,系统动能减少,转化为焦耳热,总热量 $Q_n = \frac{1}{2}mv_0^2$,此时外电路的总电阻 $R_{\text{总}} = \frac{R}{n}$,外电路产生的热量 $Q_{\text{总}} = \frac{R_{\text{总}}}{R_{\text{总}} + R} Q_n = \frac{1}{n+1} Q_n$,由于外电路是由 n 个阻值为 R 的支路并联构成,各个支路产生的热量相等,所以定值电阻 R 上产生的热量 $Q_{Rn} = \frac{1}{n} Q_{\text{总}} = \frac{1}{n(n+1)} Q_n = \frac{1}{2}mv_0^2 \left(\frac{1}{n} - \frac{1}{n+1}\right)$,从第1根导体棒进入磁场到第2026根导体棒速度减为零的过程中,定值电阻 R 上产生的总热量 $Q_R = \sum_{n=1}^{2026} Q_{Rn} = \frac{1}{2}mv_0^2 \left(1 - \frac{1}{2} + \frac{1}{2} - \frac{1}{3} + \cdots + \frac{1}{2026} - \frac{1}{2027}\right) = \frac{1}{2}mv_0^2 \left(1 - \frac{1}{2027}\right) = \frac{1013mv_0^2}{2027}$, D 正确。

12. **BD** 【解析】金属线框穿过磁场区域的过程中, bd 边在 y 轴左侧磁场时, bd 边切割磁感线,有效长度在增大,感应电流在增大;随后 bd 边进入 y 轴右侧磁场切割磁感线, ac 边在 y 轴左侧磁场切割磁感线(关键:根据右手定则,可知 bd 边切割磁感线产生逆时针电流, ac 边切割磁感线产生顺时针电流),刚开始 bd 边的有效长度大于 ac 边的有效长度,随后再等于 ac 边的有效长度、再小于 ac 边的有效长度,则电流先沿逆时针减小到零,当 bd 边的有效长度小于 ac 边的有效长度时,电流反向增大,当 ac 边刚好到达 y 轴时, bd 边出磁场,此时电流达到反向最大值;之后 ac 边切割磁感线,其有效长度不断减小,最后为零,故感应电流先逐渐增大后减小为零,再反向增大后减小到零, A 错误;当金属线框的位移为 $\frac{R}{2}$ 时,根据几何关系,可得 bd 边的有效切割长度为 $L = \sqrt{R^2 - \left(\frac{R}{2}\right)^2} = \frac{\sqrt{3}R}{2}$,电动势为 $E = BLv = \frac{\sqrt{3}}{2}BRv$,根据右手定则,可知电流由 b 到 a ,故电势 $\varphi_a < \varphi_b$ (点拨: bd 边的上部分可以看成电源,线框的其他部分为电源的外部,外部电流由高电势到低电势),设线框单边阻值为 r ,则 a 、 b 间的电势差为 $U_{ab} = -\frac{E}{4r} \times r = -\frac{\sqrt{3}}{8}BRv$, B 正确;当金属线框的位移为 $\frac{3R}{2}$ 时, ac 边和 bd 边的有效切割长度相等,根据右手定则,可知两边产生的电流方向相反,故回路中的电流为零,但 a 、 c 和 b 、 d 间的电势差均为 $E = BLv = \frac{\sqrt{3}}{2}BRv$, C 错误, D 正确。

13. **BD**

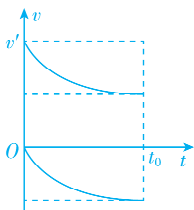
题图剖析



【解析】根据右手定则可知,金属棒 ab 刚进入磁场 I 时, ef 中的电流方向为 $e \rightarrow f$, **A 错误**; 金属棒 ab 在弯曲光滑导轨上运动的过程中,机械能守恒,设其刚进入磁场 I 时的速度为 v_0 , 闭合回路产生的感应电动势为 E , 感应电流为 I , 由机械能守恒定律可得 $mgh_1 = \frac{1}{2}mv_0^2$, 解得 $v_0 = \sqrt{2gh_1}$, 感应电动势 $E = BLv_0$, 由闭合电路欧姆定律可得 $I = \frac{E}{3R}$, 联立解得 $I = \frac{BL\sqrt{2gh_1}}{3R}$, 对金属棒 ef 由牛顿第二定律有 $F = BIL = ma'$, 解得 $a' = \frac{B^2L^2\sqrt{2gh_1}}{3mR}$, **B 正确**; 由左手定则可知,金属棒 ab 刚进入磁场后的一段时间内,金属棒 ab 所受安培力水平向左,金属棒 ef 所受安培力水平向右,则金属棒 ab 在磁场 I 中做减速运动,产生的感应电动势逐渐减小,金属棒 ef 在磁场 II 中做加速运动,产生的感应电动势逐渐增加,当两棒产生的感应电动势相等时,回路中感应电流为零,此后金属棒 ab 、 ef 都做匀速运动直至金属棒 ab 离开磁场 I, 设金属棒 ab 、 ef 匀速运动的速度大小分别为 v_1 、 v_2 , 整个过程中安培力对金属棒 ab 、 ef 的冲量大小分别为 I_a 、 I_b , 由 $BLv_1 = BLv_2$, 解得 $v_1 = v_2$, 设水平向右为正方向,对金属棒 ab , 由动量定理有 $-I_a = mv_1 - mv_0$ (**关键: 注意矢量性**), 对金属棒 ef , 由动量定理有 $-I_b = -mv_2 - 0$, 由于在金属棒 ab 、 ef 运动过程中, 流过两金属棒的电流始终相等, 所处磁场的磁感应强度大小也相等, 因此两金属棒受到的安培力大小相等 (**关键: 串联回路, 且两导轨等间距**), 则两金属棒受到的冲量的大小 $I_b = I_a$, 联立可得 $v_1 = v_2 = \frac{1}{2}v_0 = \frac{1}{2}\sqrt{2gh_1}$, 金属棒 ab 在磁场 I 内运动的过程中, 回路中产生的焦耳热 $Q_{\text{总}} = mgh_1 - \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}mgh_1$, 故金属棒 ef 产生的焦耳热 $Q_{ef} = \frac{2R}{R+2R}Q_{\text{总}} = \frac{mgh_1}{3}$ (**关键: 根据能量守恒定律得到回路中总的焦耳热, ef 棒和 ab 棒产生的焦耳热遵循电阻分配原则**), **C 错误**; 由以上分析可知,当金属棒 ab 以速度 v' 进入磁场 I 后,金属棒 ef 开始向左运动,两棒在运动过程中受到的安培力大小时刻

关键点

相等,则每个时刻两金属棒的加速度大小均相等,所以两金属棒在 t_0 时间内速度的变化量大小相等,作出两金属棒的 $v-t$ 图像如图所示,根据 $v-t$ 图像与横轴围成的面积表示位移可知,在 t_0 时间内,两金属棒运动的距离之和为 $v't_0$, 金属棒 ab 的位移大小为 d , 则金属棒 ef 运动的位移大小 $x = v't_0 - d$, 通过金属棒 ef 横截面的电荷量 $q = \bar{I}\Delta t$, 而 $\bar{I} = \frac{\bar{E}}{3R}$, $\bar{E} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, 整个回路的





磁通量变化量 $\Delta\Phi = BLd - BLx = BL(d - x) = BL(2d - v't_0)$, 联

立解得 $q = \frac{BL(2d - v't_0)}{3R}$, **D 正确**.

14. BD 【解析】若固定 MN , 释放 PQ , PQ 下滑过程中, PQ 机

械能的减少量等于 PQ 和 MN 两者产生的总焦耳热, **A 错误**; 磁场竖直向上, PQ 最大速度 v 沿导轨平面向下, 感应电

动势 $E_1 = BLv \cos \theta_1$, 回路电流 $I_1 = \frac{E_1}{2R} = \frac{\sqrt{2}BLv}{4R}$, 安培力 $F_{安} =$

BI_1L , 方向水平向右, 由于 PQ 速度最大时合力为零, 则重力沿导轨平面向下的分量等于安培力沿导轨平面向上的分量, 即 $mg \sin 45^\circ = BI_1L \cos 45^\circ$, 解得 $v = \frac{2\sqrt{2}mgR}{B^2L^2}$, **B 正确**; 同

时静止释放两杆, 设任意时刻的感应电流大小为 I , 对两杆分别进行受力分析, 如图所示, 其中 $F_{安1} = BIL$, $F_{安2} = BI \cdot$

$\sqrt{3}L$, 对两杆进行分析, 根据牛顿第二定律有 $ma_1 = mg \sin \theta_1 -$

$BIL \cos \theta_1 = \frac{\sqrt{2}}{2}mg - \frac{\sqrt{2}}{2}BIL$, $ma_2 = mg \sin \theta_2 - BI \cdot \sqrt{3}L \cos \theta_2 =$

$\frac{\sqrt{3}}{2}mg - \frac{\sqrt{3}}{2}BIL$, 可知两杆的加速度大小始终满足 $\frac{a_1}{a_2} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$, 由

于两杆初速度均为 0, 故两杆任意时刻的速度大小关系为

$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$, 则 $I = \frac{BLv_1 \cos \theta_1 + B \cdot \sqrt{3}Lv_2 \cos \theta_2}{2R} = \frac{5\sqrt{2}BLv_1}{8R}$, PQ 沿

导轨平面位移 $x = \frac{h}{\sin 45^\circ} = \sqrt{2}h$, 下降过程中 PQ 受到的安培

力冲量大小 $I_{安} = \sum BIL \Delta t = \sum BL \frac{5\sqrt{2}BLv_1}{8R} \Delta t = BL \frac{5\sqrt{2}BLx}{8R} =$

$\frac{5B^2L^2h}{4R}$, **C 错误**; 释放 MN 后, PQ 达到最大速度时合力为

零, 则有 $mg \sin \theta_1 = BI_2L \cos \theta_1$, 可得电流满足 $I_2 = \frac{mg}{BL}$, 结合闭

合电路欧姆定律有 $I_2 = \frac{BLv'_1 \cos \theta_1 + B \cdot \sqrt{3}Lv'_2 \cos \theta_2}{2R}$, 可得

$\sqrt{2}v'_1 + \sqrt{3}v'_2 = \frac{4mgR}{B^2L^2}$, 对两杆列动量定理, 初始 PQ 速度大小

为 v_0 , MN 速度为 0, 则有 $\left(\frac{\sqrt{2}}{2}mg - \frac{\sqrt{2}}{2}BIL\right)t = mv'_1 - mv_0$,

$\left(\frac{\sqrt{3}}{2}mg - \frac{\sqrt{3}}{2}BIL\right)t = mv'_2$, 化简得速度关系 $v'_2 = \frac{\sqrt{6}(v'_1 - v_0)}{2}$, 解

得 $v'_1 = \frac{4\sqrt{2}mgR + 3B^2L^2v_0}{5B^2L^2}$, **D 正确**.

