重难专练 · 突破

核心突破

突破点 1　抛体运动（化曲为直）

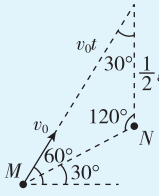
1. **A**　【解析】设炸弹的初速度为 v_0，炸弹正好垂直击中山坡上的目标，则有 $\tan 30°=\frac{v_0}{v_y}$，可得 $v_y=\sqrt{3}v_0$，设炸弹在空中运动时间为 t，则有 $x=v_0t$，$y=\frac{v_y}{2}t$，可得炸弹竖直下落距离与水平方向通过距离之比为 $\frac{y}{x}=\frac{v_y}{2v_0}=\frac{\sqrt{3}}{2}$，**A 正确**.

2. **D**　【解析】小球做类平抛运动，运动的加速度为 $a=\frac{F}{m}$，小球沿初速度方向的位移为 $x=v_0t$，沿恒力 F 方向的位移为 $y=\frac{1}{2}at^2$，根据几何关系有 $y=s\sin 37°$，$x=s\cos 37°$，其中 $s=12.5\ \text{m}$，$t=1\ \text{s}$，联立解得 $v_0=10\ \text{m/s}$，$F=1.5\ \text{N}$，**D 正确**.

3. **B**　【解析】抛出时水平方向分速度 $v_x=v_0\cos 60°=\frac{v_0}{2}$，竖直方向分速度 $v_{y0}=v_0\sin 60°=\frac{\sqrt{3}v_0}{2}$，设运动时间为 t，水平位移 $x=v_xt=\frac{v_0}{2}t$，竖直位移 $y=v_{y0}t-\frac{1}{2}gt^2=\frac{\sqrt{3}v_0}{2}t-\frac{1}{2}gt^2$，由题意可知 $\frac{y}{x}=\tan 30°=\frac{\sqrt{3}}{3}$，解得运动时间 $t=\frac{2\sqrt{3}v_0}{3g}$，**B 正确**.

30 s 速解　哈尔滨工业大学——颜开

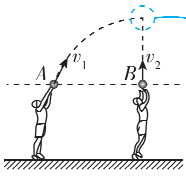
斜交分解法



根据几何关系有 $v_0t=\sqrt{3}\times\frac{1}{2}gt^2$，解得 $t=\frac{2\sqrt{3}v_0}{3g}$，**B正确**.

4. **D**

题图剖析



B球到达最高点时恰被A球水平击中，故A、B两球同时到达最高点，则A球抛出时的竖直分速度与B球的速度相同

【解析】

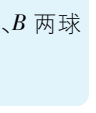
选项	分析	正误
A	两球竖直方向的速度相同，A 球有水平方向的速度，故两球抛出时 A 球的初速度大	×

续表

选项	分析	正误
B	由 $v_y=gt$ 知，A、B 两球运动时间相等，同时抛出	×
C	两球在运动过程中加速度均为重力加速度，故两球速度的变化率相同（点拨：速度变化率即为加速度）	×
D	以 B 球为参考系，A 球在水平方向做匀速直线运动，若甲、乙间距离变大，则 B 球仍可能被击中	√

一题多解　以 B 球为参考系，A 球在水平方向做匀速直线运动，B 球无水平分速度，故 A 球的初速度大，**A 错误**；由逆向思维知，两球下落高度相同，由 $h=\frac{1}{2}gt^2$ 知，A、B 两球运动时间相等，同时抛出，**B 错误**.

5. **D**　【解析】根据动能定理可得 $mgh=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$，其中 $v_0=2\sqrt{gh}$，解得 $v=\sqrt{6gh}$，设铅球的初速度与水平方向的夹角为 α，将铅球的运动分解为水平和竖直两个方向，水平位移 $x=v_0t\cos\alpha$，速度变化量 $\Delta v=gt$，初、末速度和速度变化量组成的矢量三角形如图，矢量三角形面积 $S=\frac{1}{2}v_0\cdot\Delta v\cdot\cos\alpha=\frac{1}{2}v_0\cdot v\cdot\sin\beta$（$\beta$ 为 v_0 与 v 的夹角），可得 $x=v_0\cos\alpha\cdot\frac{\Delta v}{g}=v_0\cdot\frac{v\sin\beta}{g}$，可知要使 x 最大，需使 v_0 与 v 垂直，最大位移为 $x=\frac{v_0\cdot v}{g}=2\sqrt{6}h$，**D 正确**.

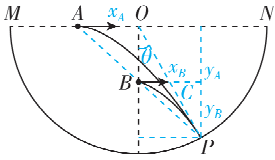


6. **C**　【解析】由于两球的加速度均为重力加速度（关键：平抛运动、斜抛运动中物体都只受重力，即加速度均为重力加速度），根据 $\Delta v=g\Delta t$ 可知，单位时间内，两球速度变化量大小相等，**A 错误**；对球 1，有 $x=v_1t_1$，$y=\frac{1}{2}gt_1^2$，对球 2，有 $x=v_2\cos\theta\cdot t_2$，$y=-v_2\sin\theta\cdot t_2+\frac{1}{2}gt_2^2$，由此可知 $t_1<t_2$，$v_1>v_2\cos\theta$，所以球 1 先经过 P 点，两球不会在 P 点相遇，球 2 在最高点的速度小于 v_1，**B 错误**，**C 正确**；根据动量定理可得 $mgt=\Delta p$，由于 $t_1<t_2$，所以球 1 动量的变化量小于球 2 动量的变化量，**D 错误**.

1 min 速解　哈尔滨工业大学——颜开

抛体运动的运动时间由物体在空中竖直方向的运动距离所决定，研究抛出点到 P 点的过程，球 2 在竖直方向的运动距离大于球 1，故 B 球的运动时间大于 A 球，二者不能同时到达 P 点，即不能在 P 点相遇，**B 错误**；AD 选项同解析，选 C.

7. **C**　【解析】由于两小球均垂直槽面击中 P 点，所以在 P 点速度的反向延长线经过圆心 O，如图所示，又因为平抛运动速度的反向延长线经过水平位移中点，则图中 $AO=\frac{R}{2}$，$BC=\frac{R}{4}$，



根据几何关系可得 $\sin\theta=\dfrac{\frac{R}{2}}{R}=\dfrac{1}{2}$，解得 $\theta=30°$，根据平抛运动的规律可得 $x_A=R=v_At_A$，$y_A=R\cos\theta=\dfrac{1}{2}gt_A^2$，$x_B=\dfrac{R}{2}=v_Bt_B$，$y_B=\dfrac{\frac{R}{4}}{\tan\theta}=\dfrac{1}{2}gt_B^2$，联立解得 $\dfrac{t_A}{t_B}=\dfrac{\sqrt{2}}{1}$，$\dfrac{v_A}{v_B}=\dfrac{\sqrt{2}}{1}$，**A 错误**，**C 正确**；由于 $OA=\dfrac{R}{2}$，$OB=y_A-y_B=\dfrac{\sqrt{3}}{4}R$，所以 $\dfrac{OA}{OB}=\dfrac{2}{\sqrt{3}}$，**B 错误**；根据平抛运动的推论可知，由于两小球的速度偏转角相等，即速度方向与水平方向的夹角相等，所以位移与水平方向的夹角相等，则 A、B、P 三点共线，**D 错误**.

8. **A** 【解析】竖直方向位移 $y=s_{ab}\sin 30°=20$ m，平抛运动竖直方向的分运动为自由落体运动，由自由落体运动公式有 $y=\dfrac{1}{2}gt^2$，解得从 a 运动到 b 的时间为 $t=2$ s，**A 正确**；水平方向的位移 $x=s_{ab}\cos 30°=20\sqrt{3}$ m，水平飞出的初速度大小为 $v_0=\dfrac{x}{t}=10\sqrt{3}$ m/s，**C 错误**；当合速度方向与斜坡平行时，此时离斜坡距离最大，水平速度与合速度夹角为 $30°$，此时竖直方向的分速度为 $v_y=v_0\tan 30°=10$ m/s，由自由落体运动公式有 $v_y=gt_1$，解得从 a 运动到离斜坡距离最大处的时间为 $t_1=1$ s，**B 错误**；从离斜坡距离最大处落回 b 点的运动时间 $t_2=t-t_1=1$ s，将加速度分解为沿斜坡方向和垂直于斜坡方向，垂直于斜坡方向的加速度 $a=g\cos 30°$，离斜坡的最大距离为 $h=\dfrac{1}{2}at_2^2=\dfrac{5\sqrt{3}}{2}$ m，**D 错误**.

突破点2　圆周运动（供需匹配法）

1. **C** 【解析】当系统以最大速度通过赛道时，有向外侧滑动的趋势，最大静摩擦力沿路面向下，系统竖直方向合力为零，水平方向合力提供向心力，可得 $N\cos\theta=mg+f\sin\theta$，$N\sin\theta+f\cos\theta=\dfrac{mv^2}{R}$，代入数据解得 $v\approx 14$ m/s，**C 正确**.

2. **B** 【解析】

选项	分析	正误
A	当汽车通过凹形路面的最低点时，向上的合力提供向心力，$F_N>mg$，处于超重状态	×
B	设细线与竖直方向夹角为 θ，细线长为 L，小球到悬点的高度为 h，对小球受力分析有 $mg\tan\theta=m\omega^2L\sin\theta$，得 $\omega=\sqrt{\dfrac{g}{L\cos\theta}}=\sqrt{\dfrac{g}{h}}$	√
C	水滴所受附着力不足以提供所需向心力才会做离心运动被甩出	×

续表

选项	分析	正误
D	火车转弯超过规定速度行驶时，重力和支持力的合力不足以提供向心力，会受到外轨对火车向轨道内侧的力，则会挤压外轨	×

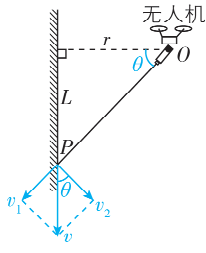
3. C 【解析】设 AC、BC 与竖直方向夹角分别为 α、β，则由牛顿第二定律得 $m_1 g\tan\alpha = m_1\dfrac{4\pi^2 L_1\sin\alpha}{T^2}$，$m_2 g\tan\beta = m_2\dfrac{4\pi^2 L_2\sin\beta}{T^2}$，解得 $L_1\cos\alpha = L_2\cos\beta$，故妹妹和哥哥运动的轨迹平面在同一高度，**A、B 错误**；由于细绳穿过圆环，则细绳对妹妹和哥哥的拉力大小相等，设细绳的拉力大小为 F_T，对妹妹和哥哥分别有 $F_T\cos\alpha = m_1 g$，$F_T\cos\beta = m_2 g$，解得 $m_1 L_1 = m_2 L_2$，**C 正确，D 错误**.

模型提取 **圆锥摆模型的特点**

(1) 圆锥摆模型中，转动的角速度 ω 由物体到悬挂点的高度 h 决定，$\omega = \sqrt{\dfrac{g}{h}}$；

(2) 根据牛顿第二定律有 $F_n = mg\tan\theta = m\omega^2 r$，当角速度 ω 增大时，所需向心力增大，θ 增大，旋转半径 $r = l\sin\theta$ 增大，周期变小.

4. D 【解析】将 P 点速度沿 OP 方向和垂直 OP 方向分解，如图所示，则 $v_2 = v\cos\theta$，由几何关系知 $\cos\theta = \dfrac{r}{\sqrt{r^2+L^2}}$，$v_2 = \omega r_{OP} = \omega\sqrt{r^2+L^2}$，联立解得角速度 $\omega = \dfrac{r}{r^2+L^2}v$，**D 正确**.



5. B 【解析】游客在竖直平面内做匀速圆周运动，则加速度的水平方向分量是由摩擦力产生的，加速度的竖直分量是由重力和支持力的合力产生的，设当游客与圆心连线与竖直方向的夹角为 θ 且静摩擦力达到最大时，根据动力学关系有 $\mu N = m\omega^2 R\sin\theta$，$|mg - N| = m\omega^2 R\cos\theta$，联立求得 $\omega^2 = \dfrac{\mu g}{R(\mu\cos\theta+\sin\theta)}$ 或 $\omega^2 = \dfrac{\mu g}{R(\sin\theta-\mu\cos\theta)}$，根据数学方法可知 ω 有最小值为 $\omega_{min} = \sqrt{\dfrac{\mu g}{R\sqrt{1+\mu^2}}}$，所以 $\omega > \sqrt{\dfrac{\mu g}{R\sqrt{1+\mu^2}}}$ 时，游客与座位将在某一位置处发生相对滑动，题中要求的是游客和座位始终保持相对静止，则角速度不能超过 $\sqrt{\dfrac{\mu g}{R\sqrt{1+\mu^2}}}$，即线速度有最大值 $v_{max} = \omega_{min} R = \sqrt{\dfrac{\mu g R}{\sqrt{1+\mu^2}}}$，**B 正确**.

易错警示 当计算出 ω 的表达式后可以判断 ω 有最小值，不能直接认为线速度就有最小值，需要根据物理含义判断临界条件.

6. **B** 【解析】设绳长为 L，轻绳与竖直方向夹角为 δ，则由合力提供向心力得 $mg\tan\delta = m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2(L\sin\delta + r)$，化简得 $\frac{g}{\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2} = L\cos\delta + \frac{r}{\tan\delta}$，可知 L 越长，δ 越大；设绳长的竖直分量为 h，则由合力提供向心力得 $mg\tan\delta = m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2(h\tan\delta + r)$，化简得 $\frac{g}{\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2} = h + \frac{r}{\tan\delta}$，可知 δ 越大，h 越大，**B 正确**.

方法总结 圆周运动问题一定要确定物体做圆周运动的轨道面和什么力提供做圆周运动需要的向心力. 做匀速圆周运动的物体，一定是合力提供向心力.

7. **C** 【解析】以 MN 整体为研究对象，受力分析如图 1 所示，由最大静摩擦力提供向心力，可得 $\mu_2(m_M + m_N)g = (m_M + m_N)\omega^2 r$，以 N 为研究对象，受力分析如图 2 所示，由 M 对 N 的弹力提供向心力，则有 $F_N = m_N\omega^2 r$，由平衡条件可得 $\mu_1 F_N = m_N g$，联立解得 $\mu_1\mu_2 = 1$，**C 正确**.

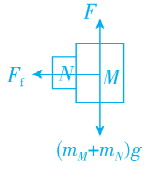


图 1

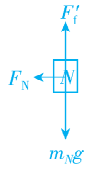


图 2

8. **D** 【解析】根据 $F_n = m\omega^2 r$ 可知，在角速度相同的情况下，半径越大，向心力越大，所以最外边的细沙随着角速度的增大最先发生滑动，因为圆盘表面上的细沙有 $\frac{8}{9}$ 被甩掉，即占圆盘面积 $\frac{8}{9}$ 的细沙发生滑动，剩下 $\frac{1}{9}$ 的未滑动，设未滑动的半径为 r，则 $\pi r^2 = \frac{1}{9}\pi R^2$，解得 $r = \frac{1}{3}R$，在最低点有 $mg(\mu\cos\theta - \sin\theta) = m\omega^2 r$，解得 $\omega = \sqrt{\frac{3g(\mu\cos\theta - \sin\theta)}{R}}$，**D 正确**.

突破点 3　功、能类运动问题（速选角度）

1. **B** 【解析】根据动能定理有 $mgH = \frac{1}{2}mv_N^2$，可得小球 a 和 b 到达轨道终点 N 的速度大小均为 $v_N = \sqrt{2gH}$，小球 b 沿直线轨道做匀加速直线运动，其 $v-t$ 图像为一条倾斜的直线，小球 a 沿曲线轨道Ⅰ运动过程中，加速度逐渐减小，则其 $v-t$ 图像的切线斜率逐渐减小，且小球 a 所用时间小于小球 b 所用时间，**B 正确，A 错误**；根据动能定理有 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$，小球 a 和 b 下滑过程速率平方 v^2 与下滑高度 h 的关系为 $v^2 = 2gh$，可知小球 a 和 b 的 v^2-h 图像均为一条过原点的倾斜直线，**C、D 错误**.

30 s 速解 哈尔滨工业大学——颜开

小球所受重力沿轨道切线方向的分力提供切向加速度，a 球的加速度逐渐减小，b 球做匀加速运动，a 的 $v-t$ 图线是一条曲线，其斜率逐渐减小；两球末速率相等，所以 a 运动的时间更短，**B 正确**.

2. **A** 【解析】P 下滑到最低点的过程中，轻绳拉力对 P 一直做负功，P 的机械能一直减小，**A 正确**；轻绳拉力对 P 有向左的分力，杆对 P 有向右的弹力，故杆对 P 的冲量不为零，**B 错误**；开始时弹簧处于压缩状态，P 向下运动时，弹簧压缩量减小，弹簧弹力对 Q、P 系统做正功，系统机械能增大，P 到达最低点位置时，弹簧可以是压缩、原长或拉伸，因此 P、Q 组成的系统机械能不守恒，**C 错误**；到达 M 点前，P、Q 的速度关系为 $v_P\cos\theta=v_Q$，θ 为轻绳与杆的夹角，则 $v_P>v_Q$，**D 错误**.

3. **B** 【解析】运动员在圆弧轨道运动时，加速度垂直轨道向上，处于超重状态，**A 错误**；运动员在圆弧轨道最低点时，由牛顿第二定律得 $N_1-mg=m\dfrac{v_1^2}{R}$，由图乙知 $N_1=8mg$，解得运动员在圆弧轨道最低点的速率为 $v_1=\sqrt{7gR}$，在 B 点时，对运动员，由牛顿第二定律得 $F_B-mg\cos\theta_1=m\dfrac{v_B^2}{R}$，从 B 点到最低点，由机械能守恒定律得 $mgR(1-\cos\theta_1)+\dfrac{1}{2}mv_B^2=\dfrac{1}{2}mv_1^2$，由图乙知 $\cos\theta_1=\dfrac{1}{2}$，联立解得 $F_B=6.5mg$，**B 正确，C 错误**；运动员从 C 点做斜抛运动到最高点时，水平速度不为 0，动能不为 0，由机械能守恒知，其上升的最大高度小于 H，**D 错误**.

4. **B** 【解析】当滑块 A 滑上木板 B 后，滑块 A 做匀减速直线运动，木板 B 做匀加速直线运动，二者共速后一起做匀速直线运动，结合图乙可知 $E_{kA}=\dfrac{1}{2}m_Av^2=40\ \text{J}$，$E_{kB}=\dfrac{1}{2}m_Bv^2=20\ \text{J}$，所以 $\dfrac{m_A}{m_B}=\dfrac{2}{1}$，**A 错误**；设 A、B 间滑动摩擦力大小为 f，对木板 B，根据动能定理可得 $fx_{板}=E_{kB}$（关键：已知位移和动能，优选动能定理），$x_{板}=4\ \text{m}$，解得 $f=5\ \text{N}$，**B 正确**；对滑块 A，根据动能定理可得 $-fx_{块}=E_{kA}-E_{k0}$，$x_{块}=10\ \text{m}$，解得 $E_{k0}=90\ \text{J}$，**C 错误**；A 和 B 之间因摩擦产生的热量为 $Q=f(x_{块}-x_{板})=5\times(10-4)\ \text{J}=30\ \text{J}$，**D 错误**.

5. **D**

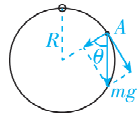
思路导引 题目描述的是通过滑轮连接的质量相等的两个物体 A 和 B 在解除锁定后运动的过程，关键在于识别动滑轮的特性，即 B 的位移大小是 A 的两倍，从而确定两者的速度关系和高度变化关系. 系统机械能守恒，重力势能减少量等于动能增加量，结合速度关系可分别分析 A 和 B 的动能.

【解析】根据动滑轮的性质，当物体 B 下降距离 h 时，物体 A 上升的高度为 $h_A=\dfrac{1}{2}h$，物体 A 的重力势能增加量为 $\Delta E_{pA}=mgh_A=\dfrac{1}{2}mgh$，系统重力势能的变化量 $\Delta E_p=mgh_A-mgh=-\dfrac{1}{2}mgh$，即系统的重力势能减少了 $\dfrac{1}{2}mgh$，**A、B 错误**；根据机械能守恒定律，系统动能的增加量 $\Delta E_k=-\Delta E_p=\dfrac{1}{2}mgh$，**D 正确**；$A$ 与 B 的速度大小关系为 $v_B=2v_A$，系统的动能增加量 $\Delta E_k=\dfrac{1}{2}mv_A^2+\dfrac{1}{2}mv_B^2=\dfrac{5}{8}mv_B^2$，由此解得物体 B 的动能增加量 $E_{kB}=\dfrac{1}{2}mv_B^2=\dfrac{2}{5}mgh$，**C 错误**.

6. **C** 【解析】滑块进入 AB 段，滑动摩擦力逐渐增大，最初

动摩擦因数较小，重力沿斜面向下的分力大于滑动摩擦力，故先做加速度减小的加速运动，后重力沿斜面向下的分力小于滑动摩擦力，做加速度增大的减速运动，**A 错误**；从 $O\to A$，有 $mgd\sin\theta=\frac{1}{2}mv^2$，经过 A 点时重力的功率为 $P=mgv\sin\theta=mg\sin\theta\sqrt{2gd\sin\theta}$，**B 错误**；对滑块下滑一段微小距离 Δx 过程，由动能定理有 $mg\Delta x\cdot\sin\theta-\mu mg\cos\theta\cdot\Delta x=\Delta E_k$，对 OB 段求和得 $mg\cdot 3d\sin\theta-mg\cos\theta\cdot\sum\mu\Delta x=0$，由图乙可得 $\sum\mu\Delta x=\frac{1}{2}\times 2d\mu_B$，解得 $\mu_B=3\tan\theta$，**C 正确**；从 $x=\frac{d}{2}$ 处到 $x=2d$ 处，重力做功为 $W_G=\frac{3}{2}mgd\sin\theta$，摩擦力做功为 $W_f=-mg\cos\theta\cdot\frac{1}{2}d\cdot\frac{\mu_B}{2}=-\frac{3}{4}mgd\sin\theta$，因 $W_G>|W_f|$，故滑块从 $x=\frac{d}{2}$ 处由静止释放能到达 $x=2d$ 处，**D 错误**.

7. **D** 【解析】设大圆环半径为 R，小环所在位置与圆心的连线和竖直方向夹角为 θ，大圆环对小环的作用力刚好为零时，受力分析如图所示，由牛顿第二定律得 $mg\cos\theta=m\frac{v^2}{R}$（关键：当大圆环对小环弹力为零时，重力指向圆心的分力提供向心力），根据动能定理得 $mgR(1-\cos\theta)=\frac{1}{2}mv^2$，联立解得 $\cos\theta=\frac{2}{3}$，故小环运动到 Q 点时对大圆环的作用力不是最小，**B 错误**；设大圆环对小环的作用力为 F，大圆环对小环的作用力刚好为零时小环处于 A 点，到达 A 点前，由牛顿第二定律得 $mg\cos\theta_1-F_1=m\frac{v_1^2}{R}$，根据动能定理得 $mgR(1-\cos\theta_1)=\frac{1}{2}mv_1^2$，联立解得 $F_1=(3\cos\theta_1-2)mg$，θ_1 增大，F_1 减小，从 A 点到 Q 点，由牛顿第二定律有 $mg\cos\theta_2+F_2=m\frac{v_2^2}{R}$，根据动能定理有 $mgR(1-\cos\theta_2)=\frac{1}{2}mv_2^2$，联立解得 $F_2=(2-3\cos\theta_2)mg$，θ_2 增大，F_2 增大，从 Q 点到最低点的过程中，由牛顿第二定律有 $F_3-mg\cos\theta_3=m\frac{v_3^2}{R}$，根据动能定理有 $mgR(1+\cos\theta_3)=\frac{1}{2}mv_3^2$，联立解得 $F_3=(2+3\cos\theta_3)mg$，θ_3 减小，F_3 增大，根据牛顿第三定律可知，Q 点不是小环对大圆环作用力最大的点，小环自顶端下滑至底部过程中对大圆环的作用力先减小后增大，**D 正确**，**A、C 错误**.



一题多解 设大圆环半径为 R，小环在大圆环上某处时，该处与圆心的连线与竖直向上方向的夹角为 $\theta(0\leqslant\theta\leqslant\pi)$，根据机械能守恒定律有 $mgR(1-\cos\theta)=\frac{1}{2}mv^2(0\leqslant\theta\leqslant\pi)$，在该处根据牛顿第二定律有 $F+mg\cos\theta=m\frac{v^2}{R}$ $(0\leqslant\theta\leqslant\pi)$，联立可得 $F=2mg-3mg\cos\theta$，则大圆环对小环作用力的大小 $|F|=|2mg-3mg\cos\theta|$，根据数学知识可知，$|F|$ 在 $\cos\theta=\frac{2}{3}$ 时最小，结合牛顿第三定律可知，小环下滑过程中对大圆环的作用力大小先减小后增大，**D 正确**.

突破点4　动量与冲量问题（状态差法）

1. **D**　【解析】由题意可知$f=k_1t$，$f=k_2x$，联立可得$k_1t=k_2x$，即$x=\frac{k_1}{k_2}t$，位移与时间成正比，表明电钻做匀速直线运动，**A 错误**；在$f-t$图像中，图线与时间轴所围面积表示阻力的冲量，因此在$0\sim t_0$时间内，阻力的冲量大小为$I=\frac{1}{2}k_1t_0^2$，**B 错误**；在$f-x$图像中，图线与位移轴所围面积表示克服阻力所做的功，即产生的热量，因此在$0\sim x_0$位移内，产生的热量为$Q=\frac{1}{2}k_2x_0^2$，**C 错误**；由$x=\frac{k_1}{k_2}t$可知，在$0\sim t_0$时间内，电钻前进的位移为$x'=\frac{k_1}{k_2}t_0$，**D 正确**.

2. **A**　【解析】第一粒沙子还在下落过程中，沙子具有向下的加速度，处于完全失重状态，玻璃罐底部没有沙子，第一粒沙子下落过程中加速度为g，设下落过程中沙子的质量为m_1，沙漏的总质量为m，则桌面的支持力为$N_1=(m-m_1)g<G$，**A 正确，D 错误**；下落沙子即将冲击玻璃罐底部的速度为$v=\sqrt{2gh}$，在Δt时间内质量为Δm的沙子速度从v减为0，根据动量定理可知$F\Delta t=\Delta mv$，可知沙子对玻璃罐底部的冲击力为$F=\frac{\Delta m}{\Delta t}v$，沙子均匀下落，设下落的沙子总质量为$m_2$，因此$\frac{\Delta m}{\Delta t}=\frac{m_2}{t}$，结合质量为$m_2$的沙子下落时间为$t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$，解得$F=m_2g$，则桌面对沙漏的支持力为$N_2=(m-m_2)g+F=mg=G$，**B、C 错误**.

3. **D**

思路导引　由图乙可知t_1时刻加速度为零，即弹簧恢复原长，此时Q的速度最大；此后P离开墙面，t_2时刻向左的加速度最大，即弹簧伸长量最大，此时P、Q共速；t_3时刻加速度为零，即弹簧再次恢复原长.

【解析】$0\sim t_3$时间内，对物块P、Q和弹簧组成的系统，没有外力做功，系统机械能守恒，$0\sim t_1$时间内，墙面对P有向右的弹力，所以系统动量不守恒，**A 错误**；t_1时刻弹簧恢复原长，Q的速度最大，有$E_p=\frac{1}{2}mv_1^2$，t_2时刻弹簧伸长量最大，此时P、Q共速，$t_1\sim t_2$时间内，系统动量守恒，有$mv_1=2mv_2$，$0\sim t_2$时间内，由动能定理可知，合外力对Q做功$W=\frac{1}{2}mv_2^2-0$，代入数据可得$W=\frac{E_p}{4}$，$v_2=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{2E_p}{m}}$，**B 错误，D 正确**；$0\sim t_1$时间内，对系统由动量定理可知，墙对$P$的冲量大小$I=mv_1-0$，代入数据可得$I=\sqrt{2mE_p}$，**C 错误**.

突破点5　碰撞、类碰撞、爆炸与反冲（双守恒法）

1. **C**　【解析】甲开始时初速度向右，与弹簧分离后速度向左，则甲的速度先向右减小，后向左增大，在弹簧恢复原长的过程中，甲的动能、动量均先减小后增大，**A、B 错误**；甲、乙和弹簧组成的系统机械能守恒，在弹簧恢复原长的过程中，弹簧弹性势能一直减小，由机械能守恒定律知甲、乙系统的动

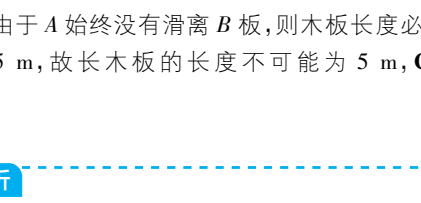
能一直增大，**C 正确**；甲、乙组成的系统所受合外力为零，动量守恒，故甲、乙系统的动量不变，**D 错误**.

2. **B** 【解析】设 A 恰好离开挡板时弹簧的伸长量为 x_1，有 $mg\sin\theta=kx_1$，解得 $x_1=\dfrac{mg\sin\theta}{k}$，物块 B、C 从相碰后一起运动到 A 刚要离开挡板过程中，物块 B、C 和弹簧组成的系统机械能守恒，A 刚要离开挡板时物块 B、C 速度为零，弹簧伸长量为 x_1，初始时刻对物块 B 有 $kx_2=mg\sin\theta$，可得 $x_2=x_1$，则从初始时刻到 A 刚要离开挡板，弹簧弹性势能变化量为零，设 B、C 碰后速度为 v_2，由机械能守恒定律得 $\dfrac{1}{2}\times 2mv_2^2=2mg\cdot 2x_1\cdot\sin\theta$，碰撞过程根据动量守恒有 $mv_1=2mv_2$，下滑过程有 $\dfrac{1}{2}mv_1^2=mgx\sin\theta$，联立解得 $x=\dfrac{8mg\sin\theta}{k}$，**B 正确**.

3. **C** 【解析】由于系统初动量方向水平向右，则小木块 A 先向左减速至零，后向右加速，最终与木板以共同速度向右做匀速运动，设共速速度为 v_1，根据动量守恒定律（关键：将木板和木块看作一个整体，两者之间的摩擦力属于内力，外力矢量和为 0，整体动量守恒）可得 $Mv_0-mv_0=(M+m)v_1$，解得 $v_1=2.5\ \text{m/s}$，**A 错误**；小木块 A 向左运动时加速度为 $a_A=\dfrac{\mu mg}{m}=\mu g=5\ \text{m/s}^2$，向左运动最大位移为 $x=\dfrac{v_0^2}{2a}=2.5\ \text{m}$（易错：小木块的对地位移），**B 错误**；小木块 A 与木板共速时，根据能量守恒有 $\mu mgL=\dfrac{1}{2}(M+m)v_0^2-\dfrac{1}{2}(M+m)v_1^2$（提示：系统动能减少，内能增加，$L$ 是木板与木块的相对位移），解得 $L=7.5\ \text{m}$，整个过程系统因摩擦产生的热量为 $Q=\mu mgL=37.5\ \text{J}$，由于 A 始终没有滑离 B 板，则木板长度必须大于或等于 7.5 m，故长木板的长度不可能为 5 m，**C 正确**，**D 错误**.

4. **D**

题图剖析



【解析】小滑块沿弧形槽下滑过程中，由于弧形槽向左滑动，弧形槽对小滑块的作用力对滑块做功，小滑块的机械能不守恒，**A 错误**；小滑块在沿弧形槽下滑过程中，开始时小滑块速度为零，下滑到最低点时小滑块的速度水平，竖直方向速度为零，故小滑块所受重力的功率先增大后减小（关键：重力功率只与竖直分速度有关），**B 错误**；小滑块沿弧形槽下滑过程中，对于小滑块和弧形槽组成的系统，小滑块在竖直方向上具有加速度，系统动量不守恒，**C 错误**；设弧形槽质量为 M，小滑块质量为 m，当小滑块刚好滑离弧形槽时，系统在水平方向上根据动量守恒定律得 $Mv_1=mv_2$，根据能量守恒定律得 $mgh=\dfrac{1}{2}Mv_1^2+\dfrac{1}{2}mv_2^2$，由于弧形槽的质量 M 大于小滑块的质量 m，故 $v_2>v_1$，小滑块与轻弹簧碰撞无能量损失，故小滑块与弹簧分离后，小滑块的速度大小不变、方向相反，故小滑块

能追上弧形槽，当小滑块在弧形槽上到达最高点时，系统水平方向上根据动量守恒定律得 $Mv_1+mv_2=(m+M)v$，根据能量守恒定律得 $mgh_1=\frac{1}{2}Mv_1^2+\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}(m+M)v^2$，解得 $h_1<h$，即小滑块不能到达弧形槽上的 A 点，**D 正确**.

5. **C** 【解析】A、B 球碰撞时由动量守恒和能量守恒可知 $m_2v_0=m_2v_2+m_1v_1$，$\frac{1}{2}m_2v_0^2=\frac{1}{2}m_2v_2^2+\frac{1}{2}m_1v_1^2$，可得 $v_2=\frac{m_2-m_1}{m_1+m_2}v_0$，$v_1=\frac{2m_2}{m_1+m_2}v_0$. 若 $m_1=m_2$，则碰后两球交换速度，则最终只有 F 球运动，**A 错误**；若 $m_1<m_2$，则碰后 $v_1>v_2>0$，然后 B 和 C 交换，直到 D 和 E 交换，E 再与 F 碰撞，F 向右运动，E 被弹回再与 D 交换……，则最终不只有 1 个小球运动，**B 错误**；若 $m_1>m_2$，则 A、B 球碰撞后 A 反弹，B 向右运动与 C 碰撞交换速度，最后 D、E 交换速度，最后 E 与 F 碰撞，E、F 都向右运动，B、C、D 停止，则最终将有 3 个小球运动，**C 正确**；由以上分析可知，**D 错误**.

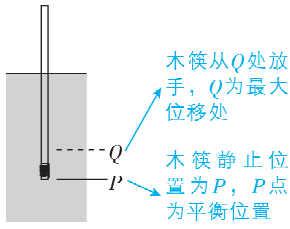
6. **A** 【解析】设 a、b、c 的质量分别为 m_a、m_b、m_c，a 与 b 碰撞后二者的速度分别为 v_a 和 v_{b1}，若使 c 速度最大，则 a、b、c 之间的碰撞为弹性碰撞，根据动量守恒定律有 $m_av=m_av_a+m_bv_{b1}$①，根据机械能守恒定律有 $\frac{1}{2}m_av^2=\frac{1}{2}m_av_a^2+\frac{1}{2}m_bv_{b1}^2$②，联立①②解得 $v_{b1}=\frac{2m_av}{m_a+m_b}$③，由③式可知，当 $m_a\gg m_b$ 时，有 $v_{b1}\approx 2v$④，设 b 与 c 碰撞后二者的速度分别为 v_{b2} 和 v_c，同理可得 $m_bv_{b1}=m_cv_c+m_bv_{b2}$⑤，$\frac{1}{2}m_bv_{b1}^2=\frac{1}{2}m_cv_c^2+\frac{1}{2}m_bv_{b2}^2$⑥，联立⑤⑥解得 $v_c=\frac{2m_bv_{b1}}{m_b+m_c}$⑦，由⑦式可知，当 $m_b\gg m_c$ 时，有 $v_c\approx 2v_{b1}\approx 4v$⑧，所以若 a、b、c 的质量可任意选择，碰后 c 的最大速度接近 $4v$，**A 正确**.

7. **C** 【解析】根据动量定理可知，小物块 P 在 A 点时满足 $I=m_1v$，得 $v=5\ \text{m/s}$，在 AB 段上运动时加速度大小为 $a=\mu g=4\ \text{m/s}^2$，由运动学公式有 $v_1^2-v_0^2=-2a\times AB$，得第一次经过 B 点时速度 $v_1=3\ \text{m/s}$，物块 P 与 Q 碰撞时满足动量守恒，设 Q 的速度为 v_2，根据动量守恒定律有 $m_1v_1=m_1v_1'+m_2v_2$，得 $v_2=1.5\ \text{m/s}$，根据动能定理有 $m_2gh=\frac{1}{2}m_2v_2^2$，得 Q 在圆弧上升的高度为 $h=0.112\ 5\ \text{m}$. 设物块 Q 上升至最高点时所对应轨道的圆心角为 θ，由几何关系可得 $\cos\theta\approx 1$，即角度极小，故可看作单摆模型，根据 $T=2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$，得 $T=4\pi\ \text{s}$，则 Q 由 B 点滑上圆弧轨道到返回 B 点的时间为 $\frac{T}{2}\approx 6.28\ \text{s}$，返回后物块 Q 在水平面上做匀减速运动，根据牛顿第二定律可知加速度大小为 $a=\mu g=4\ \text{m/s}^2$，则经过的时间为 $t=\frac{v_2}{a}=0.375\ \text{s}$，则小物块 Q 从开始运动到最终停止所需要的总时间约为 6.66 s，P、Q 系统在碰撞中损耗能量为 $\frac{1}{2}m_1v_1^2-\left(\frac{1}{2}m_1v_1'^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2\right)=0$，则 P、Q 系统因摩擦损耗的能量为 $\frac{1}{2}m_1v_1^2=12.5\ \text{J}$，**C 正确**.

突破点 6　简谐运动（特征判断法）

1. D

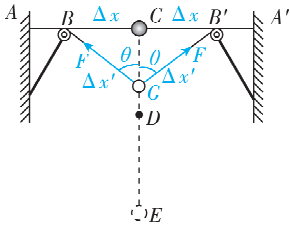
题图剖析



【解析】木筷在水中做简谐运动，P 点为平衡位置，在木筷下降过程中，加速度先减小后增大，合力先减小后增大，**D 正确**，**A、B 错误**；在木筷下降过程中，木筷排开湖水的体积一直增大，故浮力一直增大，**C 错误**.

2. B　【解析】以弹簧振子做简谐运动为例，根据能量守恒定律有 $\frac{1}{2}mv^2+\frac{1}{2}kx^2=C$（其中 C 为常数），整理得 $\frac{v^2}{\frac{2C}{m}}+\frac{x^2}{\frac{2C}{k}}=1$，满足 $\frac{v^2}{a^2}+\frac{x^2}{b^2}=1$（关键：找出对应横、纵坐标的函数关系），图线为椭圆，**B 正确**.

3. D　【解析】小球运动到某一位置 G，受到弹力如图所示.

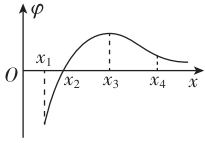


小球在 C 点时，弹性绳的伸长量为 Δx，小球受到弹性绳的合力 $F_0=k\Delta x-k\Delta x=0$，小球在 G 点时，弹性绳的伸长量为 $\Delta x'$，设两弹性绳与竖直方向夹角为 θ，小球水平方向受到弹性绳的合力 $F_x=k\Delta x'\cdot\sin\theta-k\Delta x'\cdot\sin\theta=0$，即两弹性绳对小球水平方向的分力始终为零. 小球受到弹性绳竖直方向的合力大小 $F_y=k\Delta x'\cdot\cos\theta+k\Delta x'\cdot\cos\theta$，方向竖直向上，设小球下落的竖直高度为 h'，根据几何关系有 $\cos\theta=\frac{h'}{\Delta x'}$，联立可得竖直方向两弹性绳弹力的合力大小 $F_y=2kh'$，其中 F_y 方向竖直向上，设竖直向下为正方向，则有 $F_y=-2kh'$，则小球将做简谐运动，C 点为运动的最高点，E 点为运动的最低点，根据运动的对称性可知，刚开始释放小球时的加速度为 g，所以小球在 E 点的加速度为 g，方向竖直向上，**A 错误**；小球减少的机械能转化为弹性绳增加的弹性势能，即弹力所做的负功，从 C 点到 D 点的平均弹力小于从 D 点到 E 点的平均弹力，又因 $CD=DE$，所以小球从 C 点到 D 点减少的机械能小于从 D 点到 E 点减少的机械能，**B 错误**；根据简谐运动的对称性可知，小球从 C 点运动到 D 点的时间等于小球从 D 点运动到 E 点的时间，**C 错误**；小球质量为 m 时，从 C 点到 E 点根据动能定理有 $mgh-W_{弹}=0$，小球质量为 $2m$ 时，从 C 点到 E 点根据动能定理有 $2mgh-W_{弹}=\frac{1}{2}\cdot2mv^2$，联立解得 $v=\sqrt{gh}$，**D 正确**.

突破点 7　电场性质问题（能、势互推法）

1. **C**　【解析】极性分子在极化过程中，电场力做正功，故极性分子的电势能一定减小，**C 正确**.

2. **C**　【解析】根据 $E_p=q\varphi$ 可作出 $\varphi-x$ 图像如图所示，题图中负电荷在 x_1 处电势能最大，在 x_3 处电势能最小，两图像走势关于 x 轴对称（注意 E_p 和 φ 的数值不同），



由图可知，x_1 处电势最低，x_3 处电势最高，**B、D 错误**；从 x_1 到 x_3 电势升高，电场线沿 x 轴负方向，故 x_1 处电场强度为负，**C 正确**；电荷为负电荷，从 x_1 到 x_3 电场力做正功，从 x_3 到 x_4 电势降低，电场线沿 x 轴正方向，电场强度为正，电场力做负功，**A 错误**.

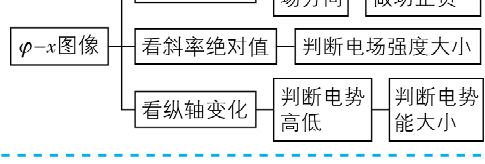
30 s 速解　哈尔滨工业大学——颜开

负电荷从 x_1 运动到 x_4 过程中，电势能先减小后增加，可知电场力先做正功再做负功，**A 错误**；由题图可知，x_3 处电势能最小，因电荷带负电，则 x_3 处电势最高，**B、D 错误**；选 C.

3. **C**　【解析】从轨迹可以判断，该粒子受到斥力，由于中心是固定的正点电荷，所以该粒子带正电，**A 错误**；离点电荷越近，电场强度越大，根据 $U=\bar{E}d$ 可知 $U_{ab}>U_{bc}$，即 $\varphi_a-\varphi_b>\varphi_b-\varphi_c$，**B 错误**；由动能定理可得 $E_{kb}-E_{ka}=U_{ab}q$，$E_{kc}-E_{kb}=U_{bc}q$，已知粒子带正电，因为 $U_{ab}>U_{bc}$，所以 $E_{kb}-E_{ka}>E_{kc}-E_{kb}$，**C 正确**；电荷之间静电力 $F=\dfrac{kQq}{r^2}$，则 $F_a:F_b:F_c=\dfrac{1}{r_1^2}:\dfrac{1}{r_2^2}:\dfrac{1}{r_3^2}=1:\dfrac{1}{2^2}:\dfrac{1}{3^2}=36:9:4$，**D 错误**.

4. **C**

思路导引



【解析】由沿电场线方向电势越来越低知，x_1 处电场方向沿 x 轴正方向，x_3 处电场方向沿 x 轴负方向，**A 错误**；x_1 处和 x_3 处斜率绝对值不同，故两处电场强度大小不相等（点拨：$\varphi-x$ 图像斜率的绝对值表示电场强度大小），**B 错误**；由题图知，$\varphi_1>\varphi_2$，由 $E_p=q\varphi$ 知，质子在 x_1 处的电势能大于在 x_2 处的电势能，**C 正确**；质子沿 x 轴从 x_1 处移动到 x_3 处，电势先减小后增大，质子的电势能也先减小后增大，则电场力先做正功后做负功，**D 错误**.

5. **D**　【解析】根据题意，充电前电容器极板 N 与轻质绝缘弹簧相连，此时弹簧处于原长，充电后电容器极板 M 固定，N 极板在电场力作用下向左移动，静止在 O 点，所以此时弹簧处于伸长状态，**A 错误**；若将 N 板向左移动 Δx 由静止释放，此后运动过程中，由题意可知电源是断开的，所以 N 板所带的

电荷量不变，为$+Q$，**B 错误**；N极板在弹簧弹力和恒定的电场力作用下做简谐运动，当Δx较小时，弹簧会一直保持伸长状态，当Δx较大时，弹簧会在伸长和压缩状态之间变化，故弹力方向可能会改变，**C 错误**；N极板做简谐运动，当N极板从最右端运动到最左端时，电场力做功为$W=\frac{E}{2}Q\cdot 2\Delta x=QE\Delta x$（点拨：板间产生的电场是匀强电场，做功利用$W=Fl\cos\theta$计算），由于电场力做功使系统机械能改变，系统机械能变化的最大值为$QE\Delta x$，**D 正确**.

6. **D** 【解析】将另一个带电荷量为q的正点电荷Q_1从无穷远处（电势为零）移到O点过程中，电场力做的功为$-W$，则$U_{\infty O}=0-\varphi_O=\frac{-W}{+q}$（点拨：带符号计算），解得$\varphi_O=\frac{W}{q}$，**A 错误**；从$O$点到$B$点电势降低，故$Q_1$从$O$点移到$B$点的过程中电场力做正功（点拨：正电荷从高电势处移动到低电势处，电势能降低，电场力做正功），**B 错误**；由电势的叠加可知，将Q_1固定在B点后，O点的电势为$\varphi'_O=\frac{2W}{q}$，若将带电荷量为$2q$的负点电荷Q_2从无穷远处移到O点，则Q_2在O点的电势能为$E_{p2}=-2q\cdot\varphi'_O=-4W$，由等量同种点电荷电场线分布知，$O$点电势高于$C$点电势，由负电荷在电势低处电势能大知，$Q_2$在$C$点的电势能大于$-4W$，**C 错误**；将$Q_2$看成两个带电荷量为$-q$的点电荷，分别与$A$点、$B$点的点电荷为等量异种点电荷，等量异种点电荷中垂线的电势为零，则与A点组成的等量异种点电荷中，D点电势为零，与B点组成的等量异种点电荷中，D点电势小于零，由电势叠加知，D点电势小于零（点拨：电势为标量，电势的正负不表示方向），**D 正确**.

30 s 速解　哈尔滨工业大学——颜开

先定性分析，B选项同解析；由$\varphi=k\frac{Q}{r}$及电势叠加可知，$\varphi_D<0$，**D 正确**.

突破点8　感应电动势与感应电流问题（辨别类型选定则）

1. **B** 【解析】在线框运动的过程中，穿过线框的磁通量不变，故线框中没有感应电流，根据右手定则知，线框的ab边向右切割磁感线，a点电势高于b点的电势，**B 正确**.

易错警示　当线框的ab、cd边切割磁感线时，相当于电源，正极的电势高于负极的电势.

2. **D** 【解析】第一次实验中，线圈两条边（ab和cd）都切割磁感线，感应电动势最大值$E_m=BS\omega$，电流最大值$I_0=\frac{BS\omega}{R}$，第二次实验仅去掉右侧磁场，线圈转动过程中，始终只有一条边（ab或cd）在左侧磁场中切割磁感线，另一条边在无磁场区，感应电动势最大值变为$E'_m=\frac{1}{2}BS\omega$，电流最大值变为$\frac{I_0}{2}$，第二次实验产生的感应电流仍为正弦式交变电流，从中性面开始，表达式为$i=\frac{I_0}{2}\sin(\omega t)$，**D 正确**.

30 s 速解　哈尔滨工业大学——颜开

右侧磁场去掉后，容易看出每个时刻都相对之前只有一半的有效面积，故感应电动势和感应电流大小都变为原来的一半，感应电动势为 0 的时刻只会有一瞬，不会出现半个周期无电流，故选 D.

3. **C**　【解析】因为线圈不在磁场中，不受安培力的作用，故线圈没有收缩或扩张的趋势，**A 错误**；根据楞次定律和安培定则可知，线圈中的磁场方向垂直面向外，所以线圈中感应电流为逆时针方向，因此电子运动方向为顺时针方向，**B 错误**；线圈中的感应电动势为 $E=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=k\pi r_1^2$，磁感应强度变化过程中线圈中产生的焦耳热为 $Q=\frac{E^2}{R}t=\frac{(k\pi r_1^2)^2 t}{R}$，由于 $t=\frac{\Delta B}{k}=\frac{B_0}{k}$，联立可得 $Q=\frac{\pi^2 k B_0 r_1^4}{R}$，**C 正确**；通过线圈导线横截面的电荷量为 $q=It=\frac{E}{R}t$，可得 $q=\frac{k\pi r_1^2 t}{R}=\frac{\pi B_0 r_1^2}{R}$，**D 错误**.

突破点 9　电磁感应切割问题（先找电源再看回路）

1. **D**　【解析】根据楞次定律及安培定则可知线圈中产生的感应电流方向为顺时针，**A 错误**；线圈匀速进入磁场过程中，通过线圈的电流相等，根据 $R=\rho\frac{L}{S}$，可知 BC 边的电阻大于 AB 边的电阻，根据焦耳定律 $Q=I^2Rt$，可知 BC 边产生的焦耳热大于 AB 边产生的焦耳热，**B 错误**；线圈进入磁场过程中，通过线圈的电流相等，根据 $q=It$，可知通过 BC 边的电荷量等于通过 AB 边的电荷量，**C 错误**；线圈进入磁场过程中 AB 边切割磁感线，电动势为 E（点拨：此时 AB 边作为电源），令 AB 和 CD 边电阻均为 R_2，AD 和 BC 边电阻均为 R_1，根据闭合电路欧姆定律知，A、B 间的电压为 $U_{AB}=I(2R_1+R_2)=\frac{E}{2(R_1+R_2)}\cdot(2R_1+R_2)$，$B$、$C$ 间的电压为 $U_{BC}=IR_1=\frac{E}{2(R_1+R_2)}R_1$，所以 A、B 间的电压大于 B、C 间的电压，**D 正确**.

2. **B**　【解析】根据右手定则可知，通过定值电阻的电流方向由 a 到 b，**A 错误**；由于整个金属棒都在磁场中切割磁感线，故转动过程中棒两端的电动势不变，**B 正确**；当金属棒两端接触到导轨时，接入电路的电动势最大（关键点），则有 $E_m=\frac{1}{2}B(2l)^2\omega=2Bl^2\omega$，则通过定值电阻的最大电流为 $I_m=\frac{E_m}{R}=\frac{2Bl^2\omega}{R}$，**C 错误**；在棒转过 60°的过程中，通过定值电阻的电荷量为 $q=\bar{I}\Delta t=\frac{\bar{E}}{R}\Delta t=\frac{\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}}{R}\Delta t=\frac{B\cdot\Delta S}{R}$，其中 $\Delta S=\frac{1}{2}l\cdot\sqrt{3}l=\frac{\sqrt{3}}{2}l^2$，联立解得 $q=\frac{\sqrt{3}Bl^2}{2R}$，**D 错误**.

3. **C**　【解析】杆 OP 产生的感应电动势恒为 $E=Br\bar{v}=Br\frac{\omega r}{2}=\frac{1}{2}B\omega r^2$，**A 错误**；由右手定则知 OP 产生的感应电流方向为由

O 到 P，则杆 MN 中电流方向为由 M 到 N，由左手定则知杆 MN 受到向左的安培力，杆 MN 向左做加速运动，也产生感应电流，与 OP 产生的感应电流方向相反，根据 $E_{MN}=BLv_{MN}$，电容器的电压为路端电压，因为回路电流减小，内电压减小，路端电压增大，则电容器的电荷量增大，**B 错误**，**C 正确**；回路中电流逐渐减小，杆 MN 受到的安培力逐渐减小，则杆 MN 向左做加速度逐渐减小的加速直线运动，**D 错误**.

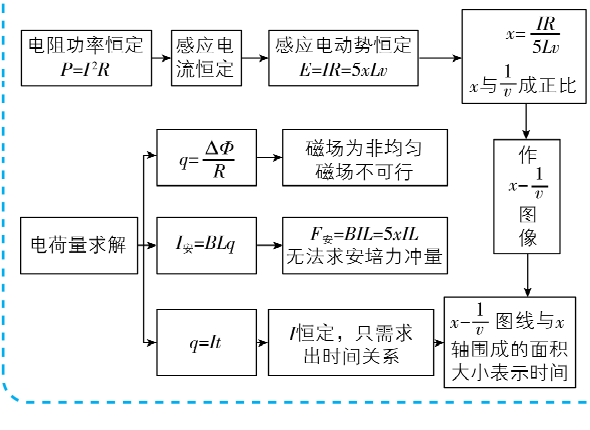
4. **D** 【解析】线框切割磁感线产生动生电动势 $E=Blv$，设线框电阻为 R，根据闭合电路欧姆定律有 $I=\frac{E}{R}$，根据安培力公式和牛顿第二定律得 $F=BIl=ma$，联立解得 $a=\frac{B^2l^2v}{mR}$，根据加速度的表达式可知，线框向右全部进入磁场的过程，线框做加速度减小的减速运动；线框完全进入磁场后，穿过线框的磁通量不变，线框中感应电流为零，安培力为零，加速度为零，因此线框完全进入磁场到刚要离开磁场过程，线框做匀速运动；线框穿出磁场过程中，根据加速度的表达式可知，线框做加速度减小的减速运动（点拨：根据楞次定律推论——来拒去留，线框进入磁场时，安培力阻碍线框的进入，线框离开磁场时，安培力阻碍线框的离开），直到完全穿出磁场，由于线框宽度只有磁场宽度的一半，所以线框整体在磁场中匀速运动通过的距离与出磁场的距离相等，得出出磁场时间比在磁场中匀速运动时间更长，根据 $I=\frac{Blv}{R}$，可知出磁场时线框中的电流将越来越小，且根据右手定则，方向与进磁场时的电流方向相反，**A、B 错误**；线框进入磁场过程中，以水平向右为正方向，由动量定理得 $-B\bar{I}l\cdot\Delta t=mv-mv_0$，$\bar{I}=\frac{Bl\bar{v}}{R}$，联立得 $\frac{B^2l^2\bar{v}}{R}\cdot\Delta t=mv_0-mv$，即 $v=v_0-\frac{B^2l^2\bar{v}}{mR}\cdot\Delta t=v_0-\frac{B^2l^2x}{mR}$，因此 $v-x$ 图线应为直线，完全进入磁场后，通过线框的磁通量为定值，所以没有安培力，线框做匀速直线运动，出磁场时同理可得线框的 $v-x$ 图线应该也为直线，**C 错误**，**D 正确**.

1 min 速解　哈尔滨工业大学——颜开

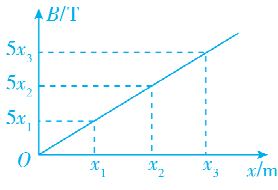
线框进入磁场，有效长度切割磁场产生的感应电动势 $E=Blv$，电流 $I=\frac{Blv}{R}$，安培力 $F=\frac{-B^2l^2v}{R}$，因此根据牛顿第二定律有 $m\frac{\Delta v}{\Delta t}=-\frac{B^2l^2v}{R}$，变形为 $\frac{\Delta v}{\Delta x}=-\frac{B^2l^2}{mR}$，即进入磁场过程 v 关于 x 的图像斜率不变，出磁场同理，**C 错误**，**D 正确**.

5. **C**

思路导引

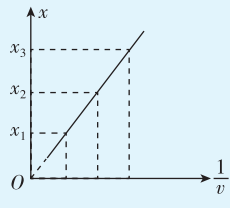


【解析】金属棒相当于电源，电源内部电流由负极流向正极，由右手定则可知金属棒 a 端电势高于 b 端，**A 错误**；电阻 R 的功率始终不变，根据公式 $P=\dfrac{E^2}{R}$ 可知感应电动势大小不变，**B 错误**；根据磁感应强度 B 随坐标 x 分布规律为 $B=5x(\mathrm{T})$，作出 B-x 图像，如图所示，可知 B-x 图线与 x 轴围成图形的面积乘以金属棒的长度表示磁通量，则金属棒从 x_1 到 x_2 的磁通量的变化量为 $\Delta\Phi_1=\dfrac{5x_1+5x_2}{2}(x_2-x_1)L$，金属棒从 x_2 到 x_3 的磁通量的变化量为 $\Delta\Phi_2=\dfrac{5x_2+5x_3}{2}(x_3-x_2)L$，设 $x_1=x_0$、$x_2=2x_0$、$x_3=3x_0$，则磁通量的变化量化简为 $\Delta\Phi_1=\dfrac{15x_0^2}{2}L$，$\Delta\Phi_2=\dfrac{25x_0^2}{2}L$，又通过电阻 R 的电荷量 $q=I\Delta t=\dfrac{\Delta\Phi}{R}$，故 $q_1:q_2=\Delta\Phi_1:\Delta\Phi_2=3:5$，**C 正确**；由 $I=\dfrac{E}{R}$ 可知，E、R 不变，则 I 不变，由 $q=I\Delta t$ 可知，$\Delta t_1:\Delta t_2=q_1:q_2=3:5$，**D 错误**.

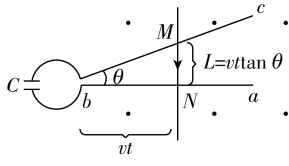


1 min 速解　哈尔滨工业大学——颜开

AB 选项同解析：$E=IR=BLv=5xLv$，得 $x=\dfrac{IR}{5L}\cdot\dfrac{1}{v}$，电流不变，$x$ 与 $\dfrac{1}{v}$ 成正比，作出 $x-\dfrac{1}{v}$ 图像，图线与 x 轴围成图形的面积大小表示时间，则由数学知识可知，$x_1\sim x_2$ 对应面积与 $x_2\sim x_3$ 对应面积大小之比为 3∶5，时间之比为 3∶5，**D 错误**；选 C.

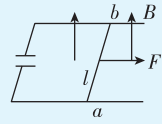


6. D　【解析】如图所示，金属棒 MN 在 t 时刻运动的距离为 vt，金属棒 MN 切割的有效长度为 $L=vt\tan\theta$，设磁感应强度大小为 B，金属棒产生的电动势 $E=BLv=Bv^2t\tan\theta$，电容器 C 充电，$U=E$，$q=CU=CBv^2t\tan\theta$，$q\propto t$，**A 错误**；$i=\dfrac{\Delta q}{\Delta t}=\dfrac{C\Delta U}{\Delta t}=CBv^2\tan\theta$，故 i 恒定，**B 错误**；$F=F_{安}=BiL=CB^2v^3t\tan^2\theta$，$F\propto t$，**C 错误**；$P=Fv=CB^2v^4t\tan^2\theta$，$P\propto t$，**D 正确**.



知识拓展　**“单棒+电容器”模型**

棒的初速度为零，拉力 F 恒定（棒和水平导轨电阻忽略不计，摩擦力不计），如图所示.



运动过程分析：棒做加速运动，持续对电容器充电，则存在充电电流，由 $F-BIl=ma$，$I=\dfrac{\Delta Q}{\Delta t}$，$\Delta Q=C\Delta U$，$\Delta U=\Delta E=Bl\Delta v$，联立可得 $F-\dfrac{CB^2l^2\Delta v}{\Delta t}=ma$，其中 $\dfrac{\Delta v}{\Delta t}=a$，则可得 $a=\dfrac{F}{m+B^2l^2C}$，所以棒做匀加速直线运动.

功能关系：$W_F=\dfrac{1}{2}mv^2+E_{电}$.

7. A 【解析】设线框匀速运动速度大小为 v，以 B 点刚进入磁场时开始计时，在 $0\sim\frac{L}{v}$ 内，AB 边逐渐进入磁场切割磁感线，设 BC 边进入磁场的长度为 x，则产生的电动势为 $E_1=Bv\cdot x\sin 60°=\frac{\sqrt{3}Bv^2t}{2}$，线框中的感应电流大小为 $I_1=\frac{E_1}{R}=\frac{\sqrt{3}Bv^2t}{2R}\propto t$，根据楞次定律可知，线框中的感应电流方向为逆时针方向，即电流为正；在 $\frac{L}{v}\sim\frac{2L}{v}$ 内，整条 AB 边在磁场中切割磁感线，DC 边逐渐进入磁场切割磁感线，线框产生的电动势为 $E_2=E_{AB}-E_{DC}=\frac{\sqrt{3}BLv}{2}-Bv\cdot(vt-L)\sin 60°=\sqrt{3}BLv-\frac{\sqrt{3}Bv^2t}{2}$（易错：两条边同时切割磁感线，电动势为有效电动势），线框中的电流大小为 $I_2=\frac{E_2}{R}=\frac{\sqrt{3}BLv}{R}-\frac{\sqrt{3}Bv^2t}{2R}$，根据楞次定律可知，线框中的电流方向为逆时针方向，即电流为正；在 $\frac{2L}{v}\sim\frac{3L}{v}$ 内，整条 AB 边离开磁场区域，整条 DC 边在磁场中切割磁感线，产生的感应电动势恒为 $E_3=\frac{\sqrt{3}BLv}{2}$，线框中的感应电流大小恒为 $I_3=\frac{E_3}{R}=\frac{\sqrt{3}BLv}{2R}$，根据楞次定律可知，线框中的电流方向为顺时针方向，即电流为负；之后整个线框离开磁场区域，没有感应电流，**A 正确**.

8. A 【解析】线圈向左摆动时，线圈中垂直纸面向里的磁通量减小，由楞次定律知，安培力阻碍线圈的相对运动，安培力与线圈运动方向相反，线圈在磁场中的有效长度为线圈与 MN 相交的弦长，安培力的方向始终垂直于该弦，**A 正确**；线圈从释放到第一次摆至最高的过程中，安培力对线圈做的功等于其重力势能的变化量，线圈的重心位置等效在线圈的圆心，所以重力势能的减少量为 $\Delta E_p=mg\Delta h=mgr\sin 30°=0.5mgr$，所以安培力对线圈做的功为 $-0.5mgr$，**B 错误**；从释放到最后静止的过程中，线圈的重力势能转化为焦耳热，所以线圈产生的焦耳热等于减少的重力势能，$Q=\Delta E_p'=mgr$，**C 错误**；从释放到最后静止的过程中，通过线圈导线横截面的电荷量为 $q=I\cdot\Delta t=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t\cdot R}\cdot\Delta t=\frac{\Delta\Phi}{R}=B\frac{\frac{1}{2}\pi r^2}{R}=\frac{B\pi r^2}{2R}$，**D 错误**.

9. C 【解析】充满电后，电容器两板间电压等于 E，开关 S 接 2 之后，电容器与金属杆组成放电回路，同时金属杆切割磁感线产生感应电动势，此时回路中电流 $I=\frac{U_C+BLv}{R}$，方向沿逆时针，金属杆受到向左的安培力 $F_{安}=BIL=ma$，杆向右减速，速度 v 减小，同时电容器放电，且 U_C 减小，则回路中电流 I 减小.

①若最终 $v=0$ 时，电容器恰好也放电完毕，此时 $U_C=0$，$v-t$ 图如 B 选项，该过程对金属杆，根据动量定理，有 $mv_0=\bar{B}\bar{I}L\cdot t=BLq=BL\cdot CE$，即 $v_0=\frac{CBLE}{m}$；

②若 $v_0>\frac{CBLE}{m}$，则当 $U_C=0$ 时，$v\neq 0$ 且方向向右，接下来电容器被反向充电，充电电流 $I=\frac{BLv-U_C}{R}$，v 减小且 U_C 增大，当 $I=$

0 时达稳定状态，即 $BLv_m = U_C$，对该过程应用动量定理有 $mv_0 - mv_m = BL(CE + CU_C)$，即 $v_m = \frac{mv_0 - CBLE}{m + CB^2L^2}$，该过程 $v-t$ 图如 A 选项；

③若 $v_0 < \frac{CBLE}{m}$，则当 $v=0$ 时，$U_C \neq 0$，接下来杆向左加速，电路中电路 $I = \frac{U_C - BLv}{R}$，当 v 增大，且 U_C 减小. 当 $I=0$ 时达稳定状态，即 $BLv_m = U_C$，对该过程，有 $mv_0 + mv_m = BL(CE - CU_C)$，即 $v_m = \frac{CBLE - mv_0}{m + CB^2L^2}$，该过程 $v-t$ 图如 D 选项.

故 **C 选项符合题意.**

10. **D** 【解析】根据题意，导体棒始终处于磁场区域内，开始时磁场匀速向上移动，导体棒相对磁场向下的速度大小为 v，根据右手定则判断导体棒中感应电流方向水平向右，安培力竖直向上，若安培力等于导体棒重力，导体棒将静止不动；若安培力小于导体棒重力，则棒会先向下做加速运动，至安培力等于导体棒重力时，导体棒向下匀速运动；若安培力大于导体棒重力，则棒会先向上做加速运动，至安培力等于导体棒重力时，导体棒向上匀速运动，**B 错误**；当导体棒向上做匀速运动时受力平衡，有 $BIL = mg$，而 $I = \frac{E}{R}$，$E = BL(v - v_1)$，故导体棒向上运动的速度 v_1 不可能等于 v，**A 错误**；根据功能关系知安培力对整个无绳电梯系统做的功一部分转化为导体棒的机械能，一部分转化为回路中产生的热量，故安培力对导体棒做的功可能小于回路中产生的热量，安培力对导体棒所做功等于导体棒机械能的增量，**C 错误，D 正确.**

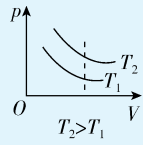
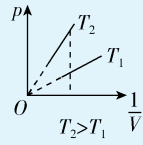
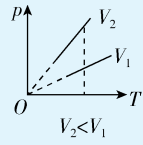
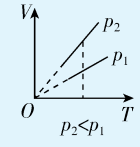
一题多解 假设导体棒向上运动的速度为 v，则导体棒相对磁场的速度为零，感应电动势为零，安培力为零，导体棒相对磁场做自由落体运动，故假设不成立，**A 错误**；开始时，磁场匀速向上移动，导体棒相对磁场向下的速度大小为 v，根据右手定则判断感应电流方向水平向右，安培力竖直向上，假设导体棒在磁场中先下降，则有安培力小于导体棒重力，导体棒在磁场中做加速度减小的加速运动，最后做匀速运动，直到离开磁场，与题意矛盾，**B 错误.**

突破点 10　热力学综合问题（双列式）

1. **D** 【解析】$b \to c$ 过程为等压过程，根据盖－吕萨克定律 $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ 可知，c 状态气体温度小于 b 状态，又由于 $a \to b$ 过程为等温过程，故气体在 c 状态时温度最低、分子平均动能最小，**A 错误**；a、b、c 三个状态中，气体在 c 状态体积最小、分子数密度最大，**B 错误**；$a \to b$ 过程中，由热力学第一定律 $\Delta U = W + Q$ 可知，气体膨胀对外做功，$W<0$，$\Delta U = 0$，则 $Q>0$，即气体要吸热，**C 错误**；$b \to c$ 过程中，温度降低，$\Delta U<0$，气体被压缩，$W>0$，根据热力学第一定律 $\Delta U = W + Q$，则气体放出的热量大于外界对气体做的功，**D 正确.**

知识拓展 热力学第一定律公式符号法：气体温度升高内能变化 ΔU 取“+”，降温则取“−”；气体膨胀对外做功，式中 W 取“−”，压缩则取“+”；吸收热量 Q 取“+”，放热则取“−”.

技巧总结　理想气体的常见图像

类别	特点(其中 C 为常量)	举例
$p-V$	$pV=CT$,即 pV 之积越大的等温线温度越高,线离原点越远	
$p-\frac{1}{V}$	$p=CT\frac{1}{V}$,斜率 $k=CT$,即斜率越大,温度越高	
$p-T$	$p=\frac{C}{V}T$,斜率 $k=\frac{C}{V}$,即斜率越大,体积越小	
$V-T$	$V=\frac{C}{p}T$,斜率 $k=\frac{C}{p}$,即斜率越大,压强越小	

2. **D**　【解析】$d\to a$,气体体积减小,外界对气体做功,内能增大,温度升高,故 $T_a>T_d$,**A、B 错误**;S_1 表示外界对气体做功,S_2 表示气体对外界做功,两个过程都是绝热过程,由卡诺循环可知 $a\to b$、$c\to d$ 为等温过程,因此 $b\to c$、$d\to a$ 两个过程的温度变化量的大小相同,内能变化量的大小相同,由热力学第一定律可知,$\Delta U=W+Q$,两个过程做功大小相等,**C 错误,D 正确.**

3. **A**　【解析】从 $B\to C\to A$ 温度先减小再不变,故气体分子的平均速率先减小后不变,**A 正确**;由题意可知 $T=t+273$ (K)(易错:需把摄氏度转换成热力学温度再进行计算),由理想气体状态方程 $\frac{pV}{T}=C$ 可得 $p=\frac{C}{V}(t+273\ \text{K})$,故 $p-t$ 图像各点与 $(-273,0)$ 连线斜率的倒数与体积成正比,故 $A\to B\to C$ 过程体积逐渐减小,气体分子间的平均距离逐渐减小,**B 错误**;$B\to C$ 过程,压强不变,温度减小,气体分子平均速率减小,则气体分子单位时间内撞击单位面积器壁的次数增大,**C 错误**;$A\to B$ 过程,温度增大,内能增大,体积减小,外界对气体做正功,由 $\Delta U=W+Q$ 可知气体内能的增加量大于气体从外界吸收的热量,**D 错误.**

易错警示　本题是压强和摄氏温度之间的关系图像,不能直接代理想气体状态方程求解.

4. **B**　【解析】根据 $p=\frac{C}{V}T$ 可知图像上的点与原点连线的斜率倒数反映体积大小,则 $a\to b$ 的过程中,图像上的点与原点连线的斜率不变,则体积不变,**A 错误**;$b\to c$ 的过程中,气体压强减小,图像斜率变小,气体体积变大,对外做功,即 $W<0$,气体温度不变,内能不变,根据热力学第一定律 $\Delta U=Q+W$ 可知,气体对外做的功等于气体所吸收的热量,**B 正确**;$a\to b\to c\to a$ 过程中,总的 $\Delta U=0$,由热力学第一定律 $\Delta U=Q+W$ 可知,气体对外做的功等于气体吸收的热量,因图像为 $p-T$ 图像不是 $p-V$ 图像,所以 $\triangle abc$ 的面积并不等于气体对外做功的数值,**C 错误**;$c\to a$ 的过程中,温度逐渐降

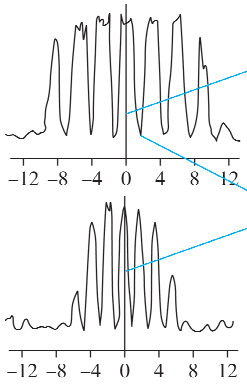
低，气体分子平均速率逐渐减小，又气体压强不变，可知单位时间内容器壁单位面积受到的气体分子撞击次数逐渐增加，**D 错误**.

突破点 11　光的干涉（路程差法）

1. **C**　【解析】用单色平行光垂直照射平板玻璃，将发生薄膜干涉，由光的干涉知识可知，同一条干涉条纹位置处光的波程差相等，则滚珠 a、b 的直径相等，即滚珠 b 合格，不同的干涉条纹位置处光的波程差不同，则滚珠 a 与 c 的直径不相等，即滚珠 c 不合格，**C 正确**.

2. **D**　【解析】同一条亮纹所对应的空气膜厚度相同，故题图丙条纹弯曲处对应着待检测平板玻璃有凸起，**A 错误**；相邻亮条纹之间的空气膜高度差为 $h=\frac{\lambda}{2}$，减小纸片数量后，空气膜的倾角 θ 变小，由 $\Delta x=\frac{h}{\sin\theta}=\frac{\lambda}{2\sin\theta}$ 知，相邻亮纹（或暗纹）之间的间距变大，故干涉条纹变疏，**B 错误**；由 $\Delta x=\frac{\lambda}{2\sin\theta}$ 知，使用波长更长的单色光，相邻亮纹（或暗纹）之间的间距变大，故干涉条纹变疏，**C 错误**；向右移动纸片，空气膜的倾角变小，由 $\Delta x=\frac{\lambda}{2\sin\theta}$ 知，相邻亮纹（或暗纹）之间的间距变大，故干涉条纹变疏，**D 正确**.

3. **D**　【解析】



中间部分条纹间距几乎相同，故A处为双缝，**A**、**B**错误.

对比题图乙、丙可知，题图乙的条纹间距较大，由$\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$知，题图乙对应的$A$、$B$间距离，即$L$大，**D**正确，**C**错误.