题型强化 · 单选

单选小卷

单选小卷 1

1. **A** 【解析】本题考查核反应方程.

核反应过程遵循电荷数守恒,左边总电荷数为 71+20=91,右边镁的电荷数为 91,因此 n 个 X 的总电荷数为 0(关键:核反应方程左右电荷数已经相等,先判定 X 的电荷数最佳),可知 X 为中子,**A 正确**,**B 错误**;核反应过程遵循质量数守恒,左边总质量数为 175+40=215,右边镁-210 的质量数为 210,X 为中子,则 $n=215-210=5$,**C、D 错误**.

2. **D** 【解析】本题考查气体状态变化与热力学定律.

从 a 到 b,气体体积减小,故外界对气体做功,**A 错误**;从 b 到 c,气体压强不变、体积减小,根据 $\frac{pV}{T}=C$ 可知温度降低,**B 错误**;从 c 到 d,根据 $\frac{pV}{T}=C$,整理得 $p=\frac{1}{V}CT$,可知温度不变时,$p-\frac{1}{V}$ 图像为过原点的倾斜直线,故从 c 到 d 温度不变,气体内能不变,**C 错误**;从 d 到 a,气体压强不变、体积增大,则 $W<0$,根据 $\frac{pV}{T}=C$ 可知温度升高,则 $\Delta U>0$,根据热力学第一定律有 $\Delta U=W+Q$,可知 $Q>0$,故该过程气体从外界吸热,**D 正确**.

3. **B** 【解析】本题考查平行板电容器动态分析.

当土壤逐渐变干燥时,土壤的相对介电常数减小,根据平行板电容器电容的决定式 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$,可知电容器的电容减小,两板间的电压保持不变(点拨:电容器两板间的电压始终等于电源电动势),根据电容的定义式 $C=\frac{Q}{U}$,可知电容器所带的电荷量减小,**A、C 错误**,**B 正确**;由上述分析可知电容器放电,电容器左极板带正电,因此通过电流表的电流方向为从 M 到 N,**D 错误**.

4. **C** 【解析】本题考查碰撞过程与动量定理.

分析可知,每扇门受到的摩擦力大小为 $f=2.0$ N,两扇门结为一体后的加速度大小为 $a=\frac{2f-F}{2m}=0.05$ m/s^2,**A 正确**,不符合题意;两扇门结为一体瞬间共同速度大小设为 v,有 $v^2=2ax$,解得 $v=0.2$ m/s(点拨:已知两扇门结合在一起后做匀减速运动到速度减为零,则用逆向思维求解),**B 正确**,不符合题意;设碰撞过程中对第二扇门的平均冲击力大小为 F_N,规定滑行方向为正方向,则碰撞过程中对第二扇门根据动量定理得 $F_N t-ft=mv$,解得 $F_N=10$ N,**D 正确**,不符合题意;碰撞过程中,对第一扇门根据动量定理得 $(F-F'_N-f)t=mv-mv_0$(关键:冲击力对第一扇门起阻碍作用),根据牛顿第三定律可知 $F'_N=F_N=10$ N,解得 $v_0=0.45$ m/s,**C 错误**,符合题意.

1 min 速解　哈尔滨工业大学——颜开

A、B 选项算出后，两扇门碰撞过程对整体根据动量定理有 $(F-2f)t=2mv-mv_0$，解得 $v_0=0.45\ \text{m/s}$，**C 错误**.

5. C　卡住就看「突破点 8」找思路、做练习

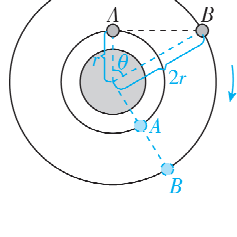
【解析】本题考查法拉第电磁感应定律.

由题图乙可知，磁感应强度垂直纸面向里且随时间增大，根据楞次定律和安培定则可知，0.1 s 时线框中的感应电流方向为 $b\to a\to d\to c$，**A 错误**；0.1 s 时线框中的感应电动势 $E=n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}=100\times5\times10^{-4}\times\dfrac{0.3-0.1}{0.2}\ \text{V}=5\times10^{-2}\ \text{V}$，**B 错误**；0.1 s 时线框中的感应电流 $I=\dfrac{E}{R+r}=0.1\ \text{A}$，**C 正确**；0.1 s 时定值电阻 R 两端的电压 $U=IR=0.045\ \text{V}$，**D 错误**.

6. D　卡住就看「突破点 3」找思路、做练习

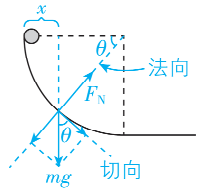
【解析】本题考查卫星运动与追及问题.

由于卫星 A 与卫星 B 的质量未知，故不能比较卫星 A 与卫星 B 的机械能大小，**A 错误**；根据开普勒第三定律有 $\dfrac{r^3}{T_A^2}=\dfrac{(2r)^3}{T_B^2}$，又知 $\dfrac{T_A}{T_B}=\dfrac{\omega_B}{\omega_A}$，所以 $\dfrac{\omega_A}{\omega_B}=\dfrac{2\sqrt{2}}{1}$，卫星 A 的角速度是卫星 B 的 $2\sqrt{2}$ 倍，**B 错误**；卫星 A 与卫星 B 的向心加速度比值 $\dfrac{a_A}{a_B}=\dfrac{\omega_A^2r}{\omega_B^2\times2r}=4$，**C 错误**；设题图所示时刻两卫星与地球球心的连线夹角为 θ，如图所示，则 $\cos\theta=\dfrac{1}{2}$，解得 $\theta=\dfrac{\pi}{3}$，由图示时刻经时间 t 两卫星相距最近，则有 $\left(\dfrac{2\pi}{T_A}-\dfrac{2\pi}{T_B}\right)t=\dfrac{\pi}{3}$（点拨：卫星 A 比卫星 B 多转 60°），解得 $t=\dfrac{T_AT_B}{6(T_B-T_A)}$，**D 正确**.



7. A　卡住就看「突破点 4」找思路、做练习

思路导引　小球在四分之一光滑圆弧轨道运动时的受力分析如图所示，需要将力沿半径和垂直半径方向分解. 合力沿半径方向的分力提供向心力（对应向心加速度）、改变速度方向，根据动能定理求速度，再求向心加速度大小；合力沿切线方向分力提供切向加速度改变速度大小，将两个加速度合成得到合加速度. 根据数学推导可得到加速度的平方与水平位移的关系.



【解析】本题考查圆周运动与加速度的合成.

x 为小球从 A 点开始的水平位移，从 A 到 B 过程中，设小球位置对应的半径与水平方向夹角为 θ，由动能定理有 $mgR\sin\theta=\dfrac{1}{2}mv^2$，法向加速度 $a_n=\dfrac{v^2}{R}$，联立解得 $a_n=2g\sin\theta$，沿圆弧切线方向，由牛顿第二定律有 $mg\cos\theta=ma_t$，可得切向加速度 $a_t=g\cos\theta$，总加速度的平方满足 $a^2=a_n^2+a_t^2=(2g\sin\theta)^2+(g\cos\theta)^2$，由

几何关系有 $\cos\theta=\frac{R-x}{R}$，联立可得 $a^2=g^2+\frac{6g^2}{R}x-\frac{3g^2}{R^2}x^2$，因此 a^2-x 曲线是开口向下的二次函数，对称轴为 $x=R$，从 B 到 C 过程中，$a=0$，**A 正确**.

1 min 速解　哈尔滨工业大学——颜开

特殊值代入：$x=0$ 时，有 $mg=ma$，$a=g$，$a^2=g^2$；$x=R$ 时，有 $mgR=\frac{1}{2}mv^2$，$a=\frac{v^2}{R}=2g$，$a^2=4g^2$，排除 B、C；$x=\left(1-\frac{\sqrt{2}}{2}\right)R$ 时，有 $mgR\sin 45°=\frac{1}{2}mv_1^2$，切向有 $mg\cos 45°=ma_{切}$，$a_{切}=\frac{\sqrt{2}}{2}g$，$a_{切}^2=\frac{1}{2}g^2$，法向有 $a_{法}=\frac{v_1^2}{R}=\sqrt{2}g$，$a_{法}^2=2g^2$，矢量合成得 $a^2=\left(2+\frac{1}{2}\right)g^2$；所以图像开口向下，**A 正确**.

单选小卷 2

1. **D**　**【解析】**本题考查核反应方程与质量亏损.

根据核反应过程中电荷数守恒、质量数守恒，X 的电荷数为 5+0−3=2，质量数为 10+1−7=4，可知 X 为 α 粒子（氦核），**A 错误**；γ 射线是核反应生成的 ${}_3^7\mathrm{Li}$ 核从高能级向低能级跃迁时释放的，不是从 ${}_5^{10}\mathrm{B}$ 核中放出的，**B 错误**；结合能是核子结合为原子核时释放的能量，该反应释放的能量是核反应总质量亏损对应的能量，不等于 ${}_3^7\mathrm{Li}$ 的结合能，**C 错误**；该反应的质量亏损 $\Delta m=m_1+m_4-m_2-m_3$，根据题意，1 原子质量单位对应 931.5 MeV 能量，因此释放的能量为 $(m_1+m_4-m_2-m_3)\times 931.5\ \mathrm{MeV}$，**D 正确**.

2. **B**　**【解析】**本题考查波的干涉现象.

由图分析可知，当某点到两波源的波程差满足 $\Delta x=|(6-x)-[x-(-6)]|=k\frac{\lambda}{2}$，$k$ 为偶数时，该点为加强点（关键：本题两列波步调相同），两列波的波长均为 4 m，可知平衡位置在 $x=-4$ m、$x=-2$ m、$x=0$、$x=2$ m、$x=4$ m 的 5 个点为振动加强点，**B 正确**.

3. **C**　**【解析】**本题考查双缝干涉.

根据公式 $\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$，增大双缝间的距离 d，干涉条纹间的距离减小，**A 错误**；根据公式 $\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$，增大双缝到屏的距离 l，干涉条纹间的距离增大，**B 错误**；根据公式 $\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$，将红光换为绿光，频率增大，即波长减小，所以干涉条纹间的距离减小，**C 正确**；将红光换为白光，在屏上将出现彩色干涉条纹，**D 错误**.

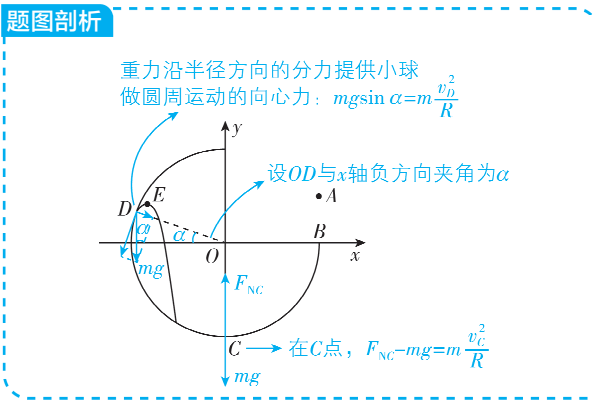
4. **D**　**【解析】**本题考查拉格朗日点与天体运动.

对月球，根据万有引力提供向心力有 $G\frac{Mm_{月}}{r^2}=m_{月}\frac{4\pi^2}{T^2}r$，地球的密度为 $\rho=\frac{M}{V}$，其中 $V=\frac{4}{3}\pi R^3$，联立解得 $\rho=\frac{3\pi r^3}{GT^2R^3}$，**A 错误**；卫星与月球的角速度相等，根据 $v=\omega r'$ 可知，卫星的运动半径较大，在拉格朗日点的卫星的线速度比月球的线速度大，**B**

错误;在拉格朗日点的卫星没有脱离地球的引力束缚,所以发射速度小于第二宇宙速度,即小于 11.2 km/s,**C 错误**;设月球对卫星的引力为 F,则对卫星有 $F+G\frac{Mm}{(r+s)^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}(r+s)$,结合"黄金代换"公式 $GM=gR^2$(点拨:忽略地球自转的影响,地球表面的物体万有引力等于重力,即 $\frac{GMm'}{R^2}=m'g$),联立解得 $F=m\frac{4\pi^2}{T^2}(r+s)-\frac{mgR^2}{(r+s)^2}$,**D 正确**.

5. B　卡住就看「突破点 2」找思路、做练习

题图剖析



【解析】本题考查竖直圆周运动与脱离.

小球在 C 点时有 $F_{NC}-mg=m\frac{v_C^2}{R}$,根据牛顿第三定律,$F_{NC}=4mg$,解得在 C 点的速度大小为 $v_C=\sqrt{3gR}$,**A 正确**;小球在 D 点恰好脱离轨道,则只受重力作用,所受合力方向竖直向下,**B 错误**;设 OD 与 x 轴负方向夹角为 α,可知在 D 点时有 $mg\sin\alpha=m\frac{v_D^2}{R}$,解得 $\sin\alpha=\frac{1}{3}$,则 D 点的横坐标 $x=-R\cos\alpha=-\frac{2\sqrt{2}}{3}R$,纵坐标 $y=R\sin\alpha=\frac{R}{3}$,即 D 点坐标为 $\left(-\frac{2\sqrt{2}}{3}R,\frac{1}{3}R\right)$,**C 正确**;脱离圆轨道后(关键:小球做斜上抛运动,速度方向与竖直方向夹角为 α),小球运动的最高点 E 与 D 点的竖直高度差为 $h=\frac{(v_D\cos\alpha)^2}{2g}=\frac{4}{27}R$,**D 正确**.

6. D　卡住就看「突破点 5」找思路、做练习

【解析】本题考查动量守恒与弹簧模型.

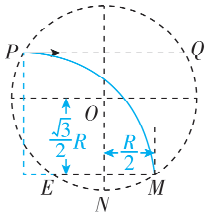
由图乙可知,两物块速度相等时,速度为 $\frac{1}{3}v_0$,根据动量守恒有 $mv_0=(m+m_B)\times\frac{1}{3}v_0$,解得 $m_B=2m$,**A 错误**;$0\sim t_2$ 时间内,两物块相当于发生了一次弹性碰撞,根据动量守恒和初、末状态系统动能相等有 $mv_0=mv_1+m_Bv_2$,$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}m_Bv_2^2$,联立解得 $v_2=\frac{2}{3}v_0$,**B 错误**;$0\sim t_1$ 时间内,根据动量定理可知,弹簧对物块 A 的冲量 $I_A=m\times\frac{1}{3}v_0-mv_0=-\frac{2}{3}mv_0$,故弹簧对物块 A 的冲量大小为 $\frac{2}{3}mv_0$,**C 错误**;$0\sim t_1$ 时间内,根据物块 A、B 和弹簧组成的系统机械能守恒有

$\Delta E_p=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}(m+m_B)\times\left(\frac{1}{3}v_0\right)^2=\frac{1}{3}mv_0^2$，**D 正确**.

7. C　卡住就看「突破点 7」找思路、做练习

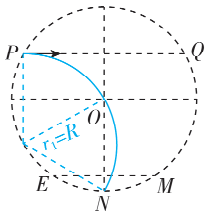
【解析】本题考查带电粒子在圆边界磁场中的运动.

粒子带正电，沿 PQ 方向发射从 M 点竖直射出，说明在磁场中受到的洛伦兹力使粒子向下偏转，根据左手定则可知，磁场方向垂直纸面向外，**A 错误**；从 M 点竖直离开磁场的粒子的运动轨迹如图甲所示，



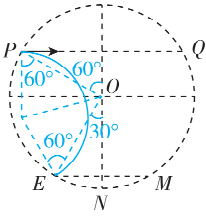
甲

由几何关系可知，M 点到竖直直径的距离为 $\frac{R}{2}$，O 点到弦 EM 的距离为 $\frac{\sqrt{3}}{2}R$，则粒子的轨迹半径为 $r_0=\frac{R}{2}+\frac{\sqrt{3}}{2}R=\frac{\sqrt{3}+1}{2}R$，已知 $k=\frac{q}{m}$，粒子在磁场中做匀速圆周运动，由洛伦兹力提供向心力有 $qv_0B=m\frac{v_0^2}{r_0}$，联立解得 $B=\frac{(\sqrt{3}-1)v_0}{kR}$，**B 错误**；从 N 点离开磁场的粒子的运动轨迹如图乙所示，



乙

由几何关系可知，轨迹半径 $r_1=R$，粒子在磁场中做匀速圆周运动，由洛伦兹力提供向心力有 $qv_1B=m\frac{v_1^2}{r_1}$，代入 $B=\frac{(\sqrt{3}-1)v_0}{kR}$、$r_1=R$、$k=\frac{q}{m}$，解得 $v_1=(\sqrt{3}-1)v_0$，**C 正确**；从 E 点离开磁场的粒子的运动轨迹如图丙所示，



丙

由几何关系可知，粒子在磁场中运动的圆心角为 $\theta=360°-60°-60°-90°=150°$，粒子在磁场中做匀速圆周运动，由洛伦兹力提供向心力，有 $qv_2B=m\frac{v_2^2}{r_2}$，解得 $r_2=\frac{mv_2}{qB}$，又有 $B=\frac{(\sqrt{3}-1)v_0}{kR}$、$k=\frac{q}{m}$，解得运动的周期为 $T=\frac{2\pi r_2}{v_2}=\frac{2\pi m}{qB}=\frac{(1+\sqrt{3})\pi R}{v_0}$，粒子在磁场中运动时间为 $t=\frac{\theta}{360°}T=\frac{5(1+\sqrt{3})\pi R}{12v_0}$，**D 错误**.

单选小卷 3

1. C 【解析】本题考查分子动理论.

布朗运动是悬浮在液体中的固体小颗粒的无规则运动,能反映液体分子无规则运动(易错:布朗运动与分子热运动不是一个概念),**A 错误**;给自行车胎打气越打越费力,是因为胎内气体物质的量增多,压强增大,外界需要克服更大的气体压力做功,**B 错误**;气体对容器壁的压强的微观本质是大量气体分子持续、频繁碰撞器壁,**C 正确**;温度是分子平均动能的标志,不代表每个分子的动能,温度升高分子平均动能增大,则 100 ℃的气体分子平均动能更大,但存在部分分子动能小于 50 ℃气体部分分子的动能,**D 错误**.

2. B 【解析】本题考查能级跃迁与光电效应.

一群处于 $n=4$ 能级的氢原子向低能级跃迁过程中,可辐射出 $\frac{4\times(4-1)}{2}=6$ 种不同频率的光,**A 错误**;只有 a、b 两种频率的光能使阴极 K 发生光电效应,由图丙可知 b 光对应的遏止电压大,则 b 光频率比 a 光的频率大,可知 b 光的光子能量比 a 光的光子能量大(关键:光的频率越大,能量越大,照射同种材料时逸出光电子的最大初动能越大,对应的遏止电压越大),故 b 光是从 $n=4$ 能级向 $n=1$ 能级跃迁产生的,a 光是从 $n=3$ 能级向 $n=1$ 能级跃迁产生的,**B 正确**,**C 错误**;根据光电效应方程 $E_k=h\nu-W_0$,由于两种光照射同种材料,故 W_0 相同,b 光频率比 a 光的频率大,所以 b 光照射阴极 K 时逸出的光电子的最大初动能比 a 光照射时的大,**D 错误**.

3. A 【解析】本题考查电容器的相关知识.

两电容器的电压相同,M 的电容是 N 的 2 倍,根据 $C=\frac{Q}{U}$,可知 M 所带电荷量是 N 的 2 倍,**A 正确**,**B 错误**;根据 $E=\frac{U}{d}$可知,两电容器极板间场强大小相等,**C、D 错误**.

4. B 【解析】本题考查 $v-t$ 图像与斜面运动.

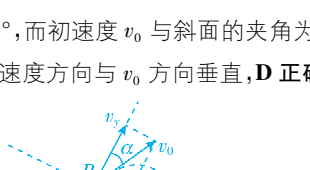
根据 $v-t$ 图像与 t 轴围成的面积表示物块的位移,设物块回到底端时的速度大小为 v,则有 $\frac{1}{2}v_0t_0=\frac{1}{2}v\cdot 2t_0$,解得物块回到底端时的速度大小为 $v=\frac{v_0}{2}$,则上滑时的加速度大小为 $a_{上}=\frac{v_0}{t_0}$,下滑时的加速度大小为 $a_{下}=\frac{\frac{1}{2}v_0}{2t_0}=\frac{v_0}{4t_0}$,物块上滑和下滑过程的加速度大小之比为 $a_{上}:a_{下}=4:1$,**A 错误**,**B 正确**;设物块与斜面间的摩擦力大小为 f,斜面的倾角为 θ,根据牛顿第二定律可得 $mg\sin\theta+f=ma_{上}$,$mg\sin\theta-f=ma_{下}$,联立解得 $f=\frac{3mv_0}{8t_0}$,$\sin\theta=\frac{5v_0}{8gt_0}$,由于物块的质量未知,因此无法求出物块受到摩擦力的大小,但可以求出斜面的倾角 θ,**C、D 错误**.

5. D 卡住就看「突破点 1」找思路、做练习

【解析】本题考查斜抛运动.

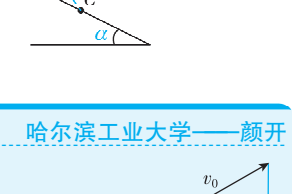
在研究运动员空中姿态时,运动员的大小和形状不能忽略,因此不能将其视为质点,**A 错误**;运动员在空中飞行时,仅受重力作用,加速度为重力加速度,则单位时间内速度

变化量 $\Delta v=g\Delta t$，可见相同时间内速度变化量相同，**B 错误**；由题意可知，将运动员的速度和加速度沿斜面和垂直斜面方向进行分解，如图所示，从 B 点到离斜面最远点过程中，运动员在垂直斜面方向上有 $v_y=v_0\cos\alpha$，$v_y=gt'\cos\alpha$（点拨：在垂直斜面方向上利用逆向思维），联立可得 $t'=1$ s，由对称性可知，运动员在空中飞行的时间为 $t=2$ s，**C 错误**；运动员落到 C 点时垂直斜面方向的速度大小 $v_{yC}=v_y=v_0\cos\alpha=5\sqrt{3}$ m/s，沿斜面方向的速度大小 $v_{xC}=v_x+gt\sin\alpha=v_0\sin\alpha+gt\sin\alpha=15$ m/s，设运动员落到 C 点时的速度方向与斜面的夹角为 β，有 $\tan\beta=\dfrac{v_{yC}}{v_{xC}}=\dfrac{\sqrt{3}}{3}$，所以运动员落到 C 点时的速度方向与斜面的夹角为 30°，而初速度 v_0 与斜面的夹角为 60°，所以运动员落到 C 点的速度方向与 v_0 方向垂直，**D 正确**.



30 s 速解　哈尔滨工业大学——颜开

沿 v_0 方向的位移 v_0t 与竖直方向的位移 $\dfrac{gt^2}{2}$ 的矢量和为合位移 BC，如图甲所示，由几何关系可得 $v_0t=\dfrac{gt^2}{2}$，即 $gt=2v_0$，则速度关系如图乙，由几何关系可得运动员落到 C 点时的速度 v 的方向与 v_0 方向垂直，**D 正确**.



6. B　卡住就看「突破点 8」找思路、做练习

【解析】本题考查电磁感应与安培力.

$0\sim t_0$ 时间内，磁感应强度 B 垂直桌面向下增大，磁通量增加，根据楞次定律，感应电流的磁场方向垂直桌面向上，由右手螺旋定则可知，感应电流方向为逆时针，**A 错误**；由法拉第电磁感应定律可知，$t_0\sim3t_0$ 内线框产生的感应电动势 $E_2=S\left|\dfrac{\Delta B_2}{\Delta t}\right|=\dfrac{\pi d^2}{8}\cdot\dfrac{B_0}{3t_0-t_0}=\dfrac{\pi B_0d^2}{16t_0}$，感应电流 $I_2=\dfrac{E_2}{R}=\dfrac{\pi B_0d^2}{16Rt_0}$，$2t_0$ 时刻，线框所受安培力大小 $F_2=\dfrac{B_0}{2}I_2d=\dfrac{B_0}{2}\cdot\dfrac{\pi B_0d^2}{16Rt_0}\cdot d=\dfrac{\pi B_0^2d^3}{32Rt_0}$，安培力方向向左，摩擦力向右，**B 正确**；$0\sim t_0$ 时间内线框产生的感应电动势 $E_1=S\left|\dfrac{\Delta B_1}{\Delta t_1}\right|=\dfrac{\pi d^2}{8}\cdot\dfrac{B_0}{t_0}=\dfrac{\pi B_0d^2}{8t_0}$，感应电流 $I_1=\dfrac{E_1}{R}=\dfrac{\pi B_0d^2}{8Rt_0}$，$0.5t_0$ 时刻线框所受安培力大小 $F_1=\dfrac{B_0}{2}I_1d=\dfrac{\pi B_0^2d^3}{16Rt_0}$，安培力方向向右，摩擦力方向向左，结合 B 选项分析可知 $0.5t_0$ 与 $2t_0$ 时刻，线框受到的摩擦力大小不相等，方向相反，**C 错误**；$0\sim t_0$ 和 $t_0\sim3t_0$ 时间内线框内的电流之

比为$\frac{I_1}{I_2}=\frac{\frac{\pi B_0 d^2}{8Rt_0}}{\frac{\pi B_0 d^2}{16Rt_0}}=2$，产生的焦耳热之比$\frac{Q_1}{Q_2}=\frac{I_1^2Rt_0}{I_2^2R\cdot 2t_0}=\frac{I_1^2}{2I_2^2}=2$，**D 错误**.

7. C 卡住就看「突破点 3」找思路、做练习

【解析】本题考查卫星运动与星下点轨迹.

箭头方向不代表卫星运动方向，只表示相对地球运动的快慢，根据相同经度范围内，两轨迹形状相同可知 A、B 两卫星绕地球转动的方向相同（点拨：如果卫星运动方向与地球自转方向相反，则星下点一个周期的轨迹跨过的经度应大于 360°，故 A、B 两卫星绕地球转动方向均与地球自转方向相同），**A 错误**；根据图乙可知，卫星 A 的星下点在东西方向自西向东运动，与地球自转方向相同，可知卫星 A 绕地球转动的角速度大于地球自转角速度，卫星 A 的星下点在地球上由 30°E 移动到 150°E 的过程中，卫星转了一圈，比地球自转多转了 120°，可知地球转动了 360°−120°=240°，设地球的自转周期为 T_0，则有 $T_A=\frac{T_0}{360°}\times 240°=\frac{2}{3}T_0$，根据图丙可知，卫星 B 的星下点在东西方向自东向西运动，则卫星 B 绕地球转动的角速度小于地球自转角速度，卫星 B 的星下点在地球上由 150°E 移动到 30°E 的过程中，卫星转了一圈，比地球自转少转了 120°，可知地球转动了 360°+120°=480°，则有 $T_B=\frac{T_0}{360°}\times 480°=\frac{4}{3}T_0$，则 A、B 两卫星的运动周期之比为 1∶2，**B 错误**；根据开普勒第三定律有$\frac{r_A^3}{T_A^2}=\frac{r_B^3}{T_B^2}$，可得$\frac{r_A}{r_B}=\sqrt[3]{\frac{1}{4}}$，则 A、B 两卫星轨道半径之比为 1∶$\sqrt[3]{4}$，**C 正确**；由于 $T_B=\frac{4}{3}T_0$，卫星 B 每转动一圈其星下点经过赤道两次，故卫星 B 星下点每天经过赤道的次数不超过 2 次，**D 错误**.

单选小卷 4

1. D **【解析】**本题考查原子物理.

汤姆孙通过研究阴极射线发现了电子，说明原子并非不可再分的最小微粒，**A 正确**；卢瑟福通过 α 粒子散射实验提出了原子的核式结构（行星）模型，后续通过 α 粒子轰击氮核的人工核反应发现了质子，**B 正确**；玻尔以卢瑟福的核式结构模型为基础，结合氢原子光谱的分立实验规律，引入量子化假设建构了氢原子模型，**C 正确**；光电效应实验说明光的能量是量子化的，体现了光的粒子性，而非波动性，**D 错误**，符合题意.

2. C **【解析】**本题考查牛顿定律与超重、失重.

由题分析可知青蛙起跳前，石头对青蛙的作用力和青蛙的重力是一对平衡力（关键：平衡力和相互作用力的主要区别就是受力物体是否相同），**A 错误**；青蛙起跳时，青蛙在竖直方向有竖直向上的加速度，故石头对青蛙作用力的竖直分量大于青蛙的重力，**B 错误**；青蛙在空中斜向上运动时，只受重力，处于失重状态，**C 正确**；青蛙在空中最高点时受到重力，加速度不为零（关键：斜抛运动最高点速度和加速度均不

为零），**D 错误**.

3. D 【解析】本题考查交变电流的产生.

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 $I_0=\dfrac{BS\omega}{R}$，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 $E'_m=\dfrac{1}{2}BS\omega$，电流最大值变为 $\dfrac{I_0}{2}$，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 $i=\dfrac{I_0}{2}\sin(\omega t)$，**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.

4. C 【解析】本题考查气体状态变化图像.

由 $V-T$ 图像分析可知，由状态 A 向状态 B 变化过程中，气体体积不变，则 $W=0$，温度升高，则 $\Delta U>0$，根据 $\Delta U=W+Q$，可知 $Q>0$，则气体从外界吸收热量，**A 错误**；由状态 B 向状态 C 变化过程中，气体温度不变，则内能不变，$\Delta U=0$，体积变大，则 $W<0$，根据 $\Delta U=W+Q$，可知 $Q>0$，气体从外界吸收热量，**B 错误**；根据理想气体状态方程 $\dfrac{pV}{T}=C$ 可知 $V=\dfrac{C}{p}T$，因 O、A、D 三点在同一直线上，可知气体在状态 A 时的压强等于在状态 D 时的压强，**C 正确**；状态 C 的温度高于状态 D，可知气体分子在状态 C 时的平均动能大于在状态 D 时的平均动能，**D 错误**.

5. B 卡住就看「突破点 9」找思路、做练习

【解析】本题考查变压器动态分析.

根据欧姆定律和串联电路电压规律可得 $U_{总}=I_1R_1+U_1$，$U=IR_2$，根据变压器原副线圈电压、电流与匝数的关系可得 $\dfrac{U_1}{U}=\dfrac{n_1}{n_2}$，$\dfrac{I_1}{I}=\dfrac{n_2}{n_1}$，联立可得 $U_{总}=I_1R_1+I_1\cdot\left(\dfrac{n_1}{n_2}\right)^2R_2$，由此可知，向下调节 R_2 的滑片，则滑动变阻器接入电路的阻值减小，I_1 增大，U_1 减小，U 减小，即电压表示数减小，**A 错误**；由以上分析可得 $U=\dfrac{n_2}{n_1}U_{总}-\left(\dfrac{n_2}{n_1}\right)^2R_1I$，所以电表示数变化量的绝对值之比为 $\dfrac{\Delta U}{\Delta I}=\left(\dfrac{n_2}{n_1}\right)^2R_1=0.5\ \Omega$，**B 正确**；交流电压的有效值为 $U_{总}=\dfrac{U_m}{\sqrt{2}}=220\ \text{V}$，当滑动变阻器 R_2 接入电路的阻值调到 2 Ω 时，根据 $U_{总}=I_1R_1+I_1\cdot\left(\dfrac{n_1}{n_2}\right)^2R_2$，$\dfrac{I_1}{I}=\dfrac{n_2}{n_1}$，可得电流表示数为 $I=44\ \text{A}$，**C 错误**；当外电阻（即变压器与 R_2 的等效

电阻)等于电源内阻(即 R_1)时,变压器输出功率最大,则有 $R_1=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 R_2$,解得 $R_2=0.5\ \Omega$,**D 错误**.

6. B 卡住就看「突破点 3」找思路、做练习

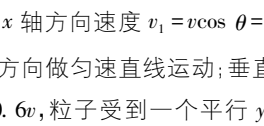
【解析】本题考查飞船变轨与超重、失重.

飞船的加速度由万有引力提供,有 $\frac{GMm}{r^2}=ma$,得 $a=\frac{GM}{r^2}$,同一位置到地心的距离 r 相同,因此在两轨道上经过 a 点时加速度大小相等,**A 错误**;要从椭圆轨道进入外层圆轨道,需要点火加速,才能变轨进入圆轨道,**B 正确**;火箭刚发射时,加速度向上,航天员处于超重状态,**C 错误**;载人飞船在圆轨道运动时,万有引力全部提供向心力,航天员处于完全失重状态,**D 错误**.

关键点拨 在 a 点(远地点)点火加速,由于速度变大,此时 $G\frac{Mm}{r_1^2}=m\frac{v_a^2}{r_1}$,即万有引力等于飞船在圆轨道上做圆周运动的向心力,飞船进入圆轨道做圆周运动.

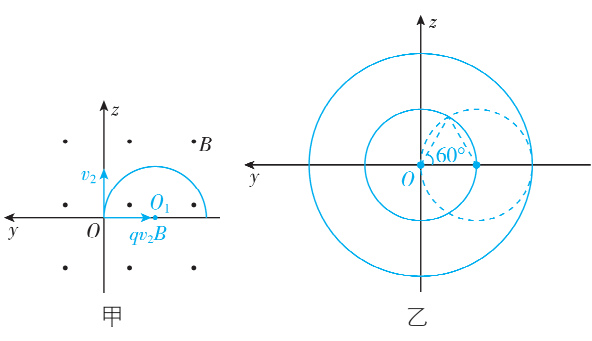
7. B 卡住就看「突破点 7」找思路、做练习

思路导引 如图所示,设 $\theta=37°$,将粒子的速度沿 x 轴和垂直 x 轴分解,沿 x 轴方向速度 $v_1=v\cos\theta=0.8v$,与磁场平行,粒子沿 x 轴方向做匀速直线运动;垂直 x 轴方向的速度 $v_2=v\sin\theta=0.6v$,粒子受到一个平行 yOz 面的洛伦兹力,在 yOz 面内做匀速圆周运动. 合运动即为螺旋线运动.



【解析】本题考查带电粒子在磁场中的螺旋线运动.

粒子以 v_2 做圆周运动有 $qv_2B=m\frac{v_2^2}{r}$,$T=\frac{2\pi r}{v_2}$,可得圆周运动的半径和周期分别为 $r=\frac{0.6mv}{Bq}$,$T=\frac{2\pi m}{Bq}$,螺距(每周期沿 x 轴前进的距离)$h=v_1T=0.8v\cdot\frac{2\pi m}{qB}=\frac{1.6\pi mv}{qB}$,当荧光屏上的亮环半径第一次达到最大值时,粒子转过了 180°,粒子运动轨迹的右视图如图甲所示,此时亮环半径等于粒子做圆周运动的直径,有 $R_{max}=2r=\frac{1.2mv}{Bq}$,此时对应的屏到 O 点的距离为 $x_1=\frac{h}{2}=\frac{0.8\pi mv}{qB}$(关键:粒子转过了 180°,即半个周期),当屏上圆的面积为 $\frac{S}{4}$ 时(关键:亮环半径为最大时的一半),如图乙所示,可知粒子只转过了 60°,可得粒子运动时间变为原来的 $\frac{1}{3}$,沿 x 轴方向粒子做匀速直线运动,可得屏到 O 点的距离为 $x_2=\frac{1}{3}x_1=\frac{4\pi mv}{15qB}$,**B 正确**.



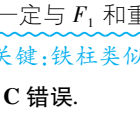
单选小卷 5

1. A 【解析】本题考查氢原子能级跃迁与能量变化.

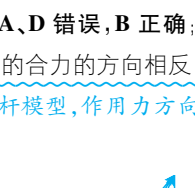
氢原子被高速电子撞击激发,本质是氢原子核外电子吸收能量后从低能级跃迁到高能级,电子离原子核更远,绕核轨道半径增大,库仑引力对电子做负功,电子动能减小,氢原子电势能增大,**A 正确**,**B**、**C**、**D 错误**.

2. B 【解析】本题考查共点力平衡.

作出铁牛的受力分析示意图,如图甲所示,三力平衡,可作出矢量三角形,如图乙所示,根据共点力平衡条件及三角形定则可知若 F_1 增大,则 F_2 增大,且 F_1 与 F_2 的合力始终与重力等大反向,方向竖直向上,**A**、**D 错误**,**B 正确**;根据力的合成可知,F_2 一定与 F_1 和重力的合力的方向相反,不一定沿着铁柱向上(关键:铁柱类似于杆模型,作用力方向不一定沿着铁柱方向),**C 错误**.



甲



乙

3. B 【解析】本题考查机械波的传播.

由图乙可知振幅 $A=0.2$ m,波长 $\lambda=0.6$ m,由图丙可知周期 $T=0.8$ s,则波速为 $v=\dfrac{\lambda}{T}=0.75$ m/s,由图丙可知,在 $t=0$ 时刻 P 点在平衡位置向 y 轴正方向振动,根据同侧法(关键:波的传播方向和质点的振动方向在波形图的同侧),可知波沿 x 轴正方向传播,因 $t=1.2\ \text{s}=\dfrac{3T}{2}$,质点 P 运动的路程为 $s=\dfrac{3}{2}\times 4A=1.2$ m(关键:无论从何时开始的半个周期内质点振动路程都为 $2A$),**B 正确**.

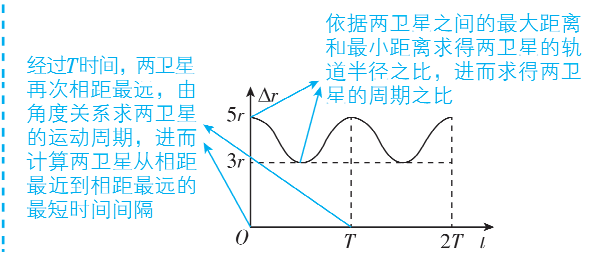
4. B 【解析】本题考查热力学循环.

B 到 C 过程,气体经历绝热过程,$Q=0$,气体的体积增大,对外界做功,$W<0$,根据热力学第一定律可知气体内能减小,热力学温度降低,所以状态 B 的温度高于状态 C 的温度,**A 错误**;由图可知,经过一个布雷顿循环,气体对外做功而内能不变(点拨:$ABCD$ 围成的面积表示一个循环气体对外做的总功),根据热力学第一定律可知,气体从外界吸收热量,即吸收的热量大于放出的热量,**B 正确**;根据热力学第二定律可知,该热机工作时,不能将吸收的热量全部转化为对外做功而不引起其他变化,**C 错误**;C 到 D 过程,气体经历等压变化,体积减小,温

度降低，即内能在减小，由热力学第一定律可知，外界对气体做的功小于气体向外界放出的热量，**D 错误**.

5. C　卡住就看「突破点 3」找思路、做练习

题图剖析



【解析】本题考查卫星追及问题.

由 $\Delta r-t$ 图像分析可知，A、B 每隔时间 T 再次相距最近（最远），设卫星 A、B 的轨道半径分别为 r_A、r_B，则 $r_A+r_B=5r$，$r_B-r_A=3r$，解得 $r_A=r$，$r_B=4r$，则 $r_A:r_B=1:4$（关键：卫星 A 的线速度大于卫星 B 的线速度，则 A 的轨道半径小于 B 的轨道半径），**A 错误**；根据万有引力提供向心力可得 $G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}R$，则 $T=\sqrt{\frac{4\pi^2R^3}{GM}}$，则 $T_A:T_B=1:8$，又因为 $\left(\frac{2\pi}{T_A}-\frac{2\pi}{T_B}\right)\times T=2\pi$（点拨：时间 T 内卫星 A、B 之间的距离从最近到最近，或从最远到最远，即 A 比 B 多转一圈），解得 $T_A=\frac{7}{8}T$，$T_B=7T$，**B 错误**；设卫星 A 的线速度大小为 v，则 $v=\frac{2\pi r_A}{T_A}=\frac{16\pi r}{7T}$，**C 正确**；设卫星 A、B 从相距最近到相距最远的最短时间间隔为 t，则 $\left(\frac{2\pi}{T_A}-\frac{2\pi}{T_B}\right)\times t=\pi$，解得 $t=\frac{T}{2}$，**D 错误**.

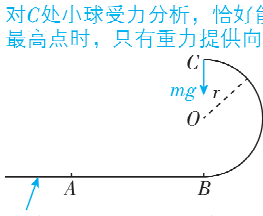
6. C　卡住就看「突破点 6」找思路、做练习

【解析】本题考查等量异种点电荷电场分布.

根据等量异种点电荷电场分布特点，可知 a、b 间平均场强大于 b、c 间平均场强，根据 $U=Ed$，可知 a、b 间电势差大于 b、c 间电势差，即 e、f 间电势差大于 f、c 间电势差，根据电场力做功 $W=qU$，可知该试探电荷从 e 到 f 和从 f 到 c 的运动过程中，电场力做的功不相等，**A 错误**；根据等量异种点电荷电场分布特点，电场线方向垂直等势线指向 MN，做曲线运动的物体合力指向轨迹凹侧，可知试探电荷在 c 点的电场力向右，故该试探电荷带负电，**B 错误**；设试探电荷带电荷量为 $-q$，根据题意有 $E_{pc}=-4\ \text{eV}=\left(\frac{kQ}{3L}-\frac{kQ}{5L}\right)(-q)$，在 f 点有 $E_{pf}=\left(\frac{kQ}{2L}-\frac{kQ}{6L}\right)(-q)$，联立解得 $E_{pf}=-10\ \text{eV}$，根据能量守恒有 $E_{pc}+E_{kc}=E_{pf}+E_{kf}$，代入数据解得 $E_{kf}=14\ \text{eV}$，**C 正确**；根据电场叠加可知 b 点场强 $E=\frac{kQ}{(2L)^2}+\frac{kQ}{(6L)^2}=\frac{5kQ}{18L^2}$，**D 错误**.

7. D　卡住就看「突破点 4」找思路、做练习

题图剖析



【解析】本题考查竖直圆周运动.

小球能经过 C 点，则有 $m\frac{v_C^2}{r}\geqslant mg$，从 B 到 C 由机械能守恒可知 $\frac{1}{2}mv^2=2mgr+\frac{1}{2}mv_C^2$，联立解得 $r\leqslant\frac{v^2}{5g}$，由图可知，r 最大值为 $r_m=2$ m，可知 $v=\sqrt{5gr_m}=10$ m/s，**A 错误**；小球在 C 点做平抛运动，则有 $x=v_Ct$，$2r=\frac{1}{2}gt^2$，可得 $x=\sqrt{40r-16r^2}$（m），则当 $r=-\frac{40}{2\times(-16)}$ m$=1.25$ m 时，x 有最大值 $x_m=5$ m，**B 错误**；小球在轨道上 B 点时有 $F_{NB}-mg=m\frac{v^2}{r}$，在 C 点时有 $F_{NC}+mg=m\frac{v_C^2}{r}$，从 B 到 C 由机械能守恒有 $\frac{1}{2}mv^2=2mgr+\frac{1}{2}mv_C^2$，联立解得小球在 B、C 两点受到的弹力大小的差值 $\Delta F_N=F_{NB}-F_{NC}=6mg$，可知与 r 无关，**C 错误**；设小球在半圆形轨道上距离 AB 高 h 的位置时速度为 v'，由机械能守恒有 $\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}mv'^2+mgh$，在该点时有 $F_N-mg\cos\theta=m\frac{v'^2}{r}$，其中 $\cos\theta=\frac{r-h}{r}$，解得 $F_N=mg+m\frac{v^2}{r}-\frac{3mg}{r}h$，可知 r 一定时，F_N 与 h 为线性关系，则 r 一定时，在小球沿轨道上升的过程中，每上升相同的高度，其受到的弹力大小的变化相等，**D 正确**.

单选小卷 6

1. **A** **【解析】**本题考查光的折射.

由图可知，玻璃三棱镜对 a 光的偏折程度较小，所以玻璃三棱镜对 a 光的折射率小于对 b 光的折射率，**A 正确**；根据 $v=\frac{c}{n}$ 可知，因为玻璃三棱镜对 a 光的折射率小于对 b 光的折射率，所以在玻璃三棱镜中，a 光的传播速度比 b 光的传播速度大，**B 错误**；a 光和 b 光从空气射入玻璃时，频率不会发生变化，**C 错误**；因为玻璃三棱镜对 a 光的折射率小于对 b 光的折射率，所以 a 光的频率小于 b 光的频率，根据 $c=\lambda f$ 可得，空气中 a 光的波长大于 b 光的波长，**D 错误**.

2. **C** **【解析】**本题考查光电效应方程.

光速与波长、频率的关系为 $c=\lambda\nu$，单色光频率为 $\nu=\frac{c}{\lambda}$，**A 错误**；光子能量 $\varepsilon=h\nu=\frac{hc}{\lambda}$，**B 错误**；根据光电效应方程 $E_k=h\nu-W_0$，变形得金属的逸出功 $W_0=h\nu-E_k=\frac{hc}{\lambda}-E_k$，**C 正确**；极限

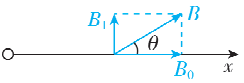
频率 $\nu_0=\frac{W_0}{h}=\frac{c}{\lambda}-\frac{E_k}{h}$，**D 错误**.

3. C 【解析】本题考查机械波与质点振动.

由题图乙分析可知，波长为 $\lambda=2.4\ \text{m}$，则 $T=\frac{\lambda}{v}=0.6\ \text{s}$，在 $t=0.35\ \text{s}$ 时刻，由题图甲可知，质点 P 在平衡位置上方，向上运动，则根据“上下坡”法可知该波沿 x 轴负方向传播，**A、B 错误**；$t=0.35\ \text{s}$ 时质点 P 向上运动，质点 Q 向下运动，则质点 Q 先回到平衡位置，**C 正确**；由于 $t=0.35\ \text{s}=\frac{T}{2}+\frac{T}{12}$，所以从 $t=0$ 时刻起到 $t=0.35\ \text{s}$，质点 P 通过的路程是 $s=2A+\frac{A}{2}=0.1\ \text{m}$，**D 错误**.

关键点拨 做简谐运动的质点从平衡位置开始经历 $\frac{T}{12}$ 时间，通过的路程为 $\frac{A}{2}$，若从其他位置开始经历 $\frac{T}{12}$，路程可能大于或小于 $\frac{A}{2}$.

4. C 【解析】本题考查磁场的叠加与地磁场.



由题图 2 分析可知，当 $x=x_0$ 时 $\sin\theta=0.5$，解得 $\theta=30°$，小磁针静止时 N 极的指向为合磁场磁感应强度的水平分量方向，设通电导线在 x_0 处产生磁场的磁感应强度大小为 B_1，该区域地磁场磁感应强度的水平分量大小为 B_0，根据安培定则可知直导线产生的磁场方向沿水平方向且垂直于 x 轴，由题图 2 可知随着小磁针与 O 点距离的增大，$\sin\theta$ 趋近于 0，结合题图 1 小磁针的偏转情况可得地磁场磁感应强度的水平分量方向沿 x 轴正方向，即地磁场方向与 x 轴不垂直，**B 错误**；x_0 处磁感应强度的水平分量如图所示，由数学关系知 $\tan\theta=\frac{B_1}{B_0}$，解得 $B_1=\frac{\sqrt{3}}{3}B_0$，$x_0$ 处合磁场的磁感应强度的水平分量大小为 $B=\frac{B_0}{\cos\theta}$，解得 $B=\frac{2\sqrt{3}}{3}B_0$，根据安培定则和小磁针的偏转情况可判断，导线中电流方向为竖直向上，**A、D 错误**，**C 正确**.

5. A 卡住就看「突破点 6」找思路、做练习

【解析】本题考查电场等势线与电势能.

由电子运动轨迹的弯曲方向及电子带负电可判断，电场线垂直等势线且方向从等势线 a 指向等势线 d，电势沿电场线方向降低，所以等势线 a 的电势高于等势线 c 的电势，**A 正确**；等差等势线疏密反映电场强度的大小，M 点附近等差等势线较密，电场强度较大，电场力较大，故电子在 M 点的加速度大于其在 N 点的加速度，**B 错误**；M 点在等势线 a 上，N 点在等势线 c 上，由 A 项可知 $\varphi_M>\varphi_N$，电子带负电，由 $E_p=q\varphi$，可知电子在 M 点的电势能小于其在 N 点的电势能，**C 错误**；电子从 M 点运动到 N 点的过程中电势能增大，由电场力做功与电势能变化的关系可知，电场力对其做负功，**D 错误**.

一题多解 根据电子运动轨迹，可判断电子受到的电场力走势是 N 到 M 方向，各点处电场力与等势线垂直，电子从 M 点运动到 N 点，电场力做负功，电势能增大，**C、D 错误**.

6. A　卡住就看「突破点 3」找思路、做练习

【解析】本题考查双星系统与万有引力.

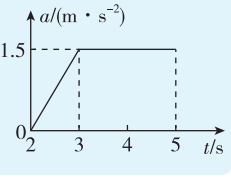
由题意可知,两星构成双星系统,绕它们连线上的某点做匀速圆周运动,周期均为 $T=80$ 年,间距 $r=23$ AU,设两星质量分别为 m_1、m_2,总质量为 $M=m_1+m_2$,两星做圆周运动半径分别为 r_1、r_2,由万有引力提供向心力,对两星分别有 $G\frac{m_1m_2}{r^2}=m_1\omega^2r_1$、$G\frac{m_1m_2}{r^2}=m_2\omega^2r_2$(易错:万有引力中的距离对应的是两星间的距离,圆周运动半径是恒星到轨道圆心的距离,双星系统中两者不相等,不能混淆),其中 $r_1+r_2=r$,$\omega=\frac{2\pi}{T}$,联立可得 $G\frac{m_1+m_2}{r^2}=\omega^2(r_1+r_2)=\omega^2r$,即 $G\frac{M}{r^2}=\omega^2r$,故系统总质量 $M=\frac{\omega^2r^3}{G}=\frac{4\pi^2r^3}{GT^2}$,对于地球绕太阳公转,轨道半径 $r'=1$ AU,周期 $T'=1$ 年,同理有 $M_{日}=\frac{4\pi^2r'^3}{GT'^2}$,因此 $\frac{M}{M_{日}}=\frac{r^3T'^2}{r'^3T^2}=\frac{23^3}{80^2}=\frac{12\ 167}{6\ 400}\approx2$,故该双星系统的总质量与太阳质量之比约为 2∶1,**A 正确.**

7. B　卡住就看「突破点 5」找思路、做练习

【解析】本题考查板块模型与动量定理.

由题分析可知,木板 b 与地面间的最大静摩擦力为 $f_m=\mu_2(M+m)g=6$ N,结合图乙可知,0~2 s 内,木板 b 与地面间摩擦力为静摩擦力,大小等于外力 F,则 0~2 s 内摩擦力对 b 的冲量大小为 $I_{f1}=\frac{0+6}{2}\times2$ N·s=6 N·s(关键:随时间线性变化的变力求冲量,利用平均值法或图像与横轴围成图形的面积进行计算),**A 错误**;由图乙可知,$t=3$ s 后,外力 F 保持不变,大小为 $F_m=9$ N(点拨:由函数关系计算 F_m 的大小),若 a、b 未发生相对滑动,由牛顿第二定律,对物块 a 有 $f_1=ma_1$,其中 $f_1\leqslant\mu_1mg=0.8$ N,解得 $a_1\leqslant2$ m/s^2,对 a、b 整体,由牛顿第二定律有 $F_1-f_m=(M+m)a_1$,当 a_1 最大时,有 $F_1=10$ N,即当外力 $F>10$ N 时,a、b 发生相对滑动,通过分析可知,a、b 未发生相对滑动,则 a 不能脱离木板(关键:6 N<F_m=9 N<10 N,a、b 相对静止,一起向右运动),$t=2$ s 后,a、b 整体开始相对地面滑动,则 2~5 s 内地面对 b 的摩擦力的冲量大小为 $I_{f2}=f_m\Delta t=18$ N·s,则 0~5 s 内,地面对 b 的摩擦力的冲量大小为 $I_f=I_{f1}+I_{f2}=24$ N·s,0~5 s 内,对 a、b 整体,由动量定理有 $\frac{0+F_m}{2}\times3\ \text{s}+F_m\times(5\ \text{s}-3\ \text{s})-I_f=(M+m)v$,解得 $v=3.75$ m/s,即 $t=5$ s 时,a、b 的速度大小为 3.75 m/s,**B 正确,C、D 错误.**

一题多解　对 B 选项,$t=2$ s 时二者开始运动,2~3 s 系统因外力均匀增大而加速度均匀增大,3 s 之后系统因外力不变而加速度不变,则外力不变时,系统加速度 $a=\frac{F_m-\mu_2(M+m)g}{M+m}=1.5$ m/s^2,则可作出系统在 2~5 s 内的 a-t 图像,如图所示,则 $t=5$ s 时系统速度大小可用该过程中 a-t 图像与 t 轴所围图形的面积表示,即 $v=\frac{(2+3)\times1.5}{2}$ m/s = 3.75 m/s,**B 正确.**



单选重难突破

突破点 1　抛体运动（化曲为直）

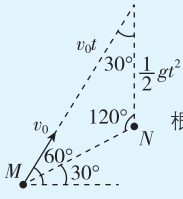
1. A　【解析】设炸弹的初速度为 v_0，炸弹正好垂直击中山坡上的目标，则有 $\tan 30°=\dfrac{v_0}{v_y}$，可得 $v_y=\sqrt{3}v_0$，设炸弹在空中运动时间为 t，则有 $x=v_0t$，$y=\dfrac{v_y}{2}t$，可得炸弹竖直下落距离与水平方向通过距离之比为 $\dfrac{y}{x}=\dfrac{v_y}{2v_0}=\dfrac{\sqrt{3}}{2}$，**A 正确.**

2. D　【解析】小球做类平抛运动，运动的加速度为 $a=\dfrac{F}{m}$，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 $y=\dfrac{1}{2}at^2$，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 $v_x=v_0\cos 60°=\dfrac{v_0}{2}$，竖直方向分速度 $v_{y0}=v_0\sin 60°=\dfrac{\sqrt{3}v_0}{2}$，设运动时间为 t，水平位移 $x=v_xt=\dfrac{v_0}{2}t$，竖直位移 $y=v_{y0}t-\dfrac{1}{2}gt^2=\dfrac{\sqrt{3}v_0}{2}t-\dfrac{1}{2}gt^2$，由题意可知 $\dfrac{y}{x}=\tan 30°=\dfrac{\sqrt{3}}{3}$，解得运动时间 $t=\dfrac{2\sqrt{3}v_0}{3g}$，**B 正确.**

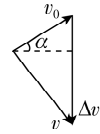
30 s 速解　哈尔滨工业大学——颜开

斜交分解法



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

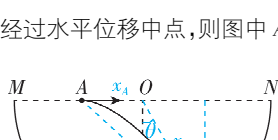
4. D　【解析】根据动能定理可得 $mgh=\dfrac{1}{2}mv^2-\dfrac{1}{2}mv_0^2$，其中 $v_0=2\sqrt{gh}$，解得 $v=\sqrt{6gh}$，设铅球的初速度与水平方向的夹角为 α，将铅球的运动分解为水平和竖直两个方向，水平位移 $x=v_0t\cos\alpha$，速度变化量 $\Delta v=gt$，初、末速度和速度变化量组成的矢量三角形如图，矢量三角形面积 $S=\dfrac{1}{2}v_0\cdot\Delta v\cdot\cos\alpha=\dfrac{1}{2}v_0\cdot v\cdot\sin\beta$（$\beta$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



5. C　【解析】由于两球从相同高度同时水平抛出，竖直方向运动规律完全一致，任意时刻两球的竖直下落高度相同，设两球初始水平间距为 Δx，第一次抛出的初速度分别为 v_1、

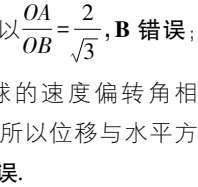
v_2，水平方向相对速度大小为 $|v_1-v_2|$，第一次相遇时间为 t，则水平方向满足 $|v_1-v_2|\cdot t=\Delta x$，当两球抛出速度大小均变为原来的 2 倍时，水平方向相对速度大小变为 $|2v_1-2v_2|=2|v_1-v_2|$，设相遇时间变为 t'，则 $2|v_1-v_2|\cdot t'=\Delta x$，解得 $t'=\frac{t}{2}$，**C 正确**.

6. **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 $\sin\theta=\frac{\frac{R}{2}}{R}=\frac{1}{2}$，解得 $\theta=30°$，根据平抛运动的规律可得 $x_A=R=v_At_A$，$y_A=R\cos\theta=\frac{1}{2}gt_A^2$，$x_B=\frac{R}{2}=v_Bt_B$，$y_B=\frac{\frac{R}{4}}{\tan\theta}=\frac{1}{2}gt_B^2$，联立解得 $\frac{t_A}{t_B}=\frac{\sqrt{2}}{1}$，$\frac{v_A}{v_B}=\frac{\sqrt{2}}{1}$，**A 错误**，**C 正确**；由于 $OA=\frac{R}{2}$，$OB=y_A-y_B=\frac{\sqrt{3}}{4}R$，所以 $\frac{OA}{OB}=\frac{2}{\sqrt{3}}$，**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**.

7. **D** 【解析】0~2 s 内，小球受竖直向下的重力和与水平方向成 60°角的恒定风力 F，小球恰好沿直线运动，可知合力方向与速度方向同向，小球做匀加速直线运动，受力情况如图所示，根据几何关系



可得 $F=\sqrt{3}mg$，$F_合=mg$，**A、B 错误**；0~2 s 内，小球运动的加速度大小为 $a=\frac{F_合}{m}=g=10\ \text{m/s}^2$，由匀变速运动的规律可知 $t=2$ s 时小球的速度大小为 $v=v_0+at=30\ \text{m/s}$，$t=2$ s 时小球距离地面的高度为 $h=\frac{v_0+v}{2}\cdot t\cdot\sin\alpha=20\ \text{m}$，**C 错误**；将小球的速度分解为竖直方向和水平方向，规定竖直向下为正方向，则撤去 F 后，小球在竖直方向做竖直上抛运动，竖直方向初速度为 $v_y=-v\sin\alpha=-15\ \text{m/s}$，从撤去 F 到小球落地，竖直方向有 $h=v_yt'+\frac{1}{2}gt'^2$，代入数据解得 $t'=4$ s（$t'=-1$ s 舍去），则小球从发射到落地用时为 $t_总=t+t'=6$ s，**D 正确**.

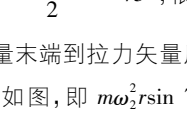
8. **A** 【解析】竖直方向位移 $y=s_{ab}\sin 30°=20\ \text{m}$，平抛运动竖直方向的分运动为自由落体运动，由自由落体运动公式有 $y=\frac{1}{2}gt^2$，解得从 a 运动到 b 的时间为 $t=2$ s，**A 正确**；水平方向的位移 $x=s_{ab}\cos 30°=20\sqrt{3}\ \text{m}$，水平飞出的初速度大小为 $v_0=\frac{x}{t}=10\sqrt{3}\ \text{m/s}$，**C 错误**；当合速度方向与斜坡平行时，此

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 $v_y=v_0\tan 30°=10\ \text{m/s}$，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 $t_1=1\ \text{s}$，**B 错误**；从离斜坡距离最大处落回 b 点的运动时间 $t_2=t-t_1=1\ \text{s}$，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 $h=\frac{1}{2}at_2^2=\frac{5\sqrt{3}}{2}\ \text{m}$，**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 $N\cos\theta=mg+f\sin\theta$，$N\sin\theta+f\cos\theta=\frac{mv^2}{R}$，代入数据解得 $v\approx 14\ \text{m/s}$，**C 正确**.

2. **B**　【解析】当没有轻绳连接时，物块做圆周运动的向心力由静摩擦力提供，当角速度增大至 ω_1 时，静摩擦力达到最大值，有 $\mu mg=m\omega_1^2 r$，解得 $\omega_1=\sqrt{\frac{\mu g}{r}}$；当用轻绳连接两物块时，物块受静摩擦力和轻绳拉力作用，合力提供向心力，两物块与圆心连线夹角为 30°，由几何关系可知，轻绳和两物块与圆心连线的夹角均为 $\frac{180°-30°}{2}=75°$，根据矢量合成法则，临界状态下，向心力矢量末端到拉力矢量所在射线的距离表示最大静摩擦力大小，如图，即 $m\omega_2^2 r\sin 75°=\mu mg$，解得 $\omega_2=\sqrt{\frac{\mu g}{r\sin 75°}}$，由于 $\sin 75°<1$，所以 $\omega_2>\omega_1$，**B 正确**.



30 s 速解　哈尔滨工业大学——颜开

使用轻绳连接后，二者等效重心到圆心的距离 r_2 小于物块到圆心的距离 r_1，根据 $\mu mg=m\omega^2 r$，则 $\omega_2>\omega_1$，故选 B.

3. **C**　【解析】设拨浪鼓半径为 R，细绳长为 l，细绳与竖直方向夹角为 θ，小球在水平面内做匀速圆周运动，则有 $mg\tan\theta=m(R+l\sin\theta)\omega^2$，解得 $l=\frac{\frac{g}{\omega^2}-\frac{R}{\tan\theta}}{\cos\theta}$，由题意可知两小球角速度相同，由于 $L_A<L_B$，则根据公式可知 $\alpha<\beta$，**A、B 错误**；两小球轨道半径满足 $r_A<r_B$，角速度 $\omega_A=\omega_B$，则 $v_A<v_B$，**C 正确**；细绳的拉力大小为 $F=\frac{mg}{\cos\theta}$，由于 $\alpha<\beta$，则可得 $F_A<F_B$，**D 错误**.

4. **B**　【解析】摩托车沿弯道中心线做圆周运动，最大静摩擦力提供向心力，由 $kmg=m\frac{v_0^2}{R}$，得车在弯道允许的最大速度

$v_0=\sqrt{kgR}=\sqrt{\frac{18}{25}\times10\times20}$ m/s=12 m/s，要使在直道运动时间最短，假设摩托车先匀加速、后匀减速，到达 B 点时速度恰好为车在弯道允许的最大速度 $v_0=12$ m/s，设加速过程的最大速度为 v_m，则加速位移 $x_1=\frac{v_m^2}{2a}$，减速位移 $x_2=\frac{v_m^2-v_0^2}{2a}$，总位移 $x_1+x_2=x_{AB}=294$ m，解得 $v_m=60$ m/s<84 m/s，说明车在直道无匀速阶段，仅为先加速后减速，假设成立，加速时间 $t_1=\frac{v_m}{a}=\frac{60}{12}$ s=5 s，减速时间 $t_2=\frac{v_m-v_0}{a}=\frac{60-12}{12}$ s=4 s，总时间 $t=t_1+t_2=9$ s，**B 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 $\mu N=m\omega^2R\sin\theta$，$|mg-N|=m\omega^2R\cos\theta$，联立求得 $\omega^2=\frac{\mu g}{R(\mu\cos\theta+\sin\theta)}$ 或 $\omega^2=\frac{\mu g}{R(\sin\theta-\mu\cos\theta)}$，根据数学方法可知 ω 有最小值为 $\omega_{min}=\sqrt{\frac{\mu g}{R\sqrt{1+\mu^2}}}$，所以 $\omega>\sqrt{\frac{\mu g}{R\sqrt{1+\mu^2}}}$ 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 $\sqrt{\frac{\mu g}{R\sqrt{1+\mu^2}}}$，即线速度有最大值 $v_{max}=\omega_{min}R=\sqrt{\frac{\mu gR}{\sqrt{1+\mu^2}}}$，**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. **C** 【解析】小球通过与圆心等高点 A 时，受重力和杆的作用力，合力提供向心力，方向水平指向圆心，由矢量合成可知 $\sqrt{F_A^2-(mg)^2}=mL\omega^2$，代入数据解得 $\omega=\sqrt{15}$ rad/s，**A 错误**；小球通过最高点时，根据牛顿第二定律有 $mg-F_1=mL\omega^2$，解得 $F_1=1.0$ N，**B 错误**；小球通过最低点时，根据牛顿第二定律有 $F_2-mg=mL\omega^2$，解得 $F_2=7.0$ N，**C 正确**；小球从最高点向最低点运动的过程中，根据矢量三角形及余弦定理可知 $F^2=F_n^2+G^2-2F_nG\cos\theta$，其中 $F_n=mL\omega^2$，$G=mg$，θ 代表 F_n 与 G 的夹角，θ 从 0 增大到 180°，则杆对小球的作用力持续增大，**D 错误**.

7. **D** 【解析】对于质量为 M、转动半径为 R 的物体，根据 $\mu Mg=M\omega_0^2R$，可得临界角速度 $\omega_0=\sqrt{\frac{\mu g}{R}}$，因 B 的转动半径较大，则临界角速度较小，则物体 B 先达到最大静摩擦力（关键：临界角速度和质量无关，无需考虑质量），**A 错误**；随着转盘的角速度从 0 开始增大，根据 $f=m\omega^2\cdot2r$，可知物体 B 所受静摩擦力指向圆心并逐渐增大，当静摩擦力达到最大值时，有 $\mu mg=m\omega_1^2\cdot2r$，即 $\omega_1=\sqrt{\frac{\mu g}{2r}}$，此后轻绳出现张力，以

后随角速度变大，轻绳张力变大，但 B 受到的静摩擦力不变，直到 A 的静摩擦力达到最大；因 $3m\omega^2 r > m\omega^2 \cdot 2r$，可知随着角速度继续增大，$B$ 的静摩擦力由指向圆心的最大值逐渐减小然后反向增加到最大值，最终当两物体再次达到最大静摩擦力时 B 的最大静摩擦力方向背离圆心，A 的最大静摩擦力方向指向圆心，则 B 的静摩擦力大小先逐渐增加，后保持不变，然后逐渐减小，再逐渐变大，则 B 达到最大静摩擦力时，转盘的角速度不一定为 $\sqrt{\frac{\mu g}{2r}}$，**B、C 错误**；当 A 指向圆心的静摩擦力刚达到最大时，对 A 有 $T_1 + 3\mu mg = 3m\omega_2^2 r$，对 B 有 $T_1 + \mu mg = m\omega_2^2 \cdot 2r$，解得 $\omega_2 = \sqrt{\frac{2\mu g}{r}}$，当 A、B 将要相对转盘滑动时，则对 A 有 $T_2 + 3\mu mg = 3m\omega_3^2 r$，对 B 有 $T_2 - \mu mg = m\omega_3^2 \cdot 2r$，解得 $\omega_3 = \sqrt{\frac{4\mu g}{r}}$，可知在 $\sqrt{\frac{2\mu g}{r}} \leqslant \omega \leqslant \sqrt{\frac{4\mu g}{r}}$ 范围内，A 所受的摩擦力大小一直保持最大值不变，**D 正确**.

突破点 3　天体运动（轨道分析法）

1. **D**　【解析】天问二号从轨道Ⅰ变轨到轨道Ⅱ，需要在 P 点制动减速，发动机做负功，因此机械能减小，在轨道Ⅰ上 P 点的速度比在轨道Ⅱ上 P 点的速度大，**A、B 错误**；由万有引力提供向心力有 $G\frac{Mm}{r_0^2} = ma_0$，可知加速度的大小仅与天问二号到小行星中心的距离 r_0 有关，所以它在轨道Ⅰ上 P 点的加速度与在轨道Ⅱ上 P 点的加速度相等，**C 错误**；设绕小行星的过 P 点的圆轨道半径为 r，周期为 T'，由万有引力提供向心力有 $\frac{GMm}{r^2} = mr\frac{4\pi^2}{T'^2}$，若椭圆轨道Ⅱ的长轴长为 $2a$，在椭圆轨道Ⅱ上运行的周期为 T，根据开普勒第三定律有 $\frac{a^3}{T^2} = \frac{r^3}{T'^2}$，解得 $M = \frac{4\pi^2 a^3}{GT^2}$，若知道天问二号在轨道Ⅱ的运行周期、轨道Ⅱ的长轴长及引力常量 G，就可以求出小行星的质量，**D 正确**.

2. **D**　【解析】由图乙，太空电梯与地心的距离为 $r_0 + R$ 时，航天员所受地球的引力完全提供其随地球自转所需的向心力，此时，航天员与电梯舱间的弹力为零，**A 错误**. 航天员随地球自转所需的向心力 $F_n = ma_n = m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，随着 r 的增加，所需的向心力逐渐增加，在 $r = r_0 + R$ 处，引力完全提供所需的向心力，此时航天员与电梯舱间的弹力为零；当 $R < r < r_0 + R$ 时，电梯舱对航天员的弹力表现为支持力，则 $G\frac{Mm}{r^2} - F_N = m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，解得 $F_N = G\frac{Mm}{r^2} - m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，$F_N$ 随着 r 的增大而减小；当 $r > r_0 + R$ 时，电梯舱对航天员的弹力表现为指向地心的压力，此时 $F_N = m\frac{4\pi^2}{T^2}r - G\frac{Mm}{r^2}$，$F_N$ 随着 r 的增大而增大，**B 错**

误. 在同步轨道高度处向心加速度大小 $a=\omega^2(R+r_0)$，ω 为地球自转角速度，则 $\omega=\frac{2\pi}{T}$，代入数据解得 $a\approx 0.22\ \mathrm{m/s^2}\neq\frac{g}{3}$，**C 错误**. 太空电梯在同步轨道高度处时，由于航天员受到的万有引力完全提供其所需的向心力，则 $G\frac{Mm}{(r_0+R)^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}(r_0+R)$，解得地球的质量为 $M=\frac{4\pi^2(r_0+R)^3}{GT^2}$，**D 正确**.

3. **B** 【解析】对物体 c，根据万有引力与重力的关系有 $\frac{GMm_c}{R^2}-m_cg=m_cR\frac{4\pi^2}{T^2}$，解得地球质量 $M=\frac{4\pi^2R^3}{GT^2}+\frac{gR^2}{G}$，**A 错误**；设静止卫星距地面的高度为 H，则有 $\frac{GMm}{(R+H)^2}=m(R+H)\frac{4\pi^2}{T^2}$，解得 $H=\left(R^3+\frac{gR^2T^2}{4\pi^2}\right)^{\frac{1}{3}}-R$，**B 正确**；根据 $\frac{GMm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，解得 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，因为 a 的轨道半径小于 b 的轨道半径，则有 $v_a>v_b$，静止卫星和赤道上物体的周期相同，由 $v=\frac{2\pi r}{T}$，则有 $v_b>v_c$，综合以上有 $v_a>v_b>v_c$，**C 错误**；由万有引力提供向心力有 $\frac{GMm}{r^2}=mr\frac{4\pi^2}{T^2}$，解得 $T=\sqrt{\frac{4\pi^2r^3}{GM}}$，因为 a 的轨道半径小于 b 的轨道半径，则有 $T_b>T_a$，即 $T_c=T_b>T_a$，**D 错误**.

4. **D** 【解析】探测器在地球表面附近做匀速圆周运动的周期为 T_0，地球半径为 R_0，由万有引力提供向心力有 $G\frac{Mm}{R_0^2}=m\frac{4\pi^2}{T_0^2}R_0$，则 $M=\frac{4\pi^2R_0^3}{GT_0^2}$，**A 错误**；地球的密度 $\rho=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R_0^3}=\frac{3\pi}{GT_0^2}$，由于小行星的密度与地球相同，则小行星的质量 $M_{行}=\rho\cdot\frac{4}{3}\pi R^3=\frac{4\pi^2R^3}{GT_0^2}$，小行星的第一宇宙速度 $v=\sqrt{\frac{GM_{行}}{R}}=\frac{2\pi R}{T_0}$，**B 错误**；由于该小行星绕太阳运行的轨道半长轴大于地球公转轨道半径，根据开普勒第三定律可知（关键：若为圆周运动，a 为轨道半径；若是椭圆运动，a 为半长轴），小行星绕太阳运行的周期大于地球的公转周期，**C 错误**；探测器在小行星表面附近做匀速圆周运动，有 $\frac{GM_{行}m}{R^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}R$，解得 $T=T_0$，**D 正确**.

30 s 速解　哈尔滨工业大学——颜开

先定性分析，同一中心天体，环绕行星的轨道半长轴或轨道半径越大，周期越大，**C 错误**；根据 $T=2\pi\sqrt{\frac{R^3}{G\rho\cdot\frac{4}{3}\pi R^3}}=2\pi\sqrt{\frac{3}{4\pi G\rho}}$，可知表面附近的环绕周期只取决于中心天体的密度，因此探测器在小行星和地球表面附近环绕周期相同，均为 T_0，**D 正确**.

5. C 【解析】因为两卫星的周期均为 T，根据开普勒第三定律，椭圆轨道半长轴等于圆轨道半径，有 $a=2r$，椭圆的半焦距 $c=a-r=2r-r=r$，C 点在椭圆的短轴上，所以 C 点到椭圆轨道中心的距离 $b=\sqrt{a^2-c^2}=\sqrt{(2r)^2-r^2}=\sqrt{3}r$，**A 错误**；两颗卫星质量相等，运动到 C 点时到地心距离相等，所以在 C 点受到的万有引力相同，根据牛顿第二定律可知在 C 点时加速度相同，**B 错误**；卫星 1 做匀速圆周运动，在 C 点的加速度大小为 $a_1=\frac{v^2}{2r}$，方向指向地心，卫星 2 和卫星 1 运动到 C 点时加速度相同，则卫星 2 加速度的大小为 $a_2=\frac{v^2}{2r}$，卫星 2 在 C 点的向心加速度由加速度的法向分量提供，为 $a_n=a_2\cos\theta$，由几何关系知 $\cos\theta=\frac{\sqrt{3}r}{2r}=\frac{\sqrt{3}}{2}$，可得卫星 2 在 C 点的向心加速度大小 $a_n=\frac{v^2}{2r}\times\frac{\sqrt{3}}{2}=\frac{\sqrt{3}v^2}{4r}$，**C 正确**；根据开普勒第二定律可知，卫星 2 在离地球较近的时候速度较大，所以卫星 2 由 A 到 C 的时间小于 $\frac{T}{4}$，**D 错误**.

6. C

思路导引 根据卫星比月球多转一圈建立角速度差的方程，结合开普勒第三定律，得到卫星与月球轨道半径和周期的关系；根据万有引力提供向心力和地球表面物体的万有引力等于重力列式，联立推导出月球公转半径的表达式.

【解析】设月球的公转轨道半径为 r，周期为 $T_{月}$，卫星与月球同向绕地球运动，相邻两次距离最近的时间间隔为 t，此时卫星比月球多转过一圈，可得 $\frac{2\pi}{T_{卫}}t-\frac{2\pi}{T_{月}}t=2\pi$，根据开普勒第三定律，卫星与月球绕地球运动满足 $\frac{r^3}{T_{月}^2}=\frac{R^3}{T_{卫}^2}$，对近地卫星，根据万有引力提供向心力，有 $G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{4\pi^2}{T_{卫}^2}R$，根据地球表面物体的万有引力等于重力，有 $G\frac{Mm}{R^2}=mg$，联立解得月球的公转半径 $r=\frac{Rt^{\frac{2}{3}}}{\left(t-2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}\right)^{\frac{2}{3}}}$，**C 正确**.

7. C 【解析】由万有引力提供向心力得 $G\frac{m_1m_2}{d^2}=m_1\omega^2r_1=m_2\omega^2r_2$，化简可得 $\frac{m_1}{m_2}=\frac{r_2}{r_1}$，根据已知条件无法求得轨道半径的比值，因此无法得到质量比，**A 错误**；根据题意可得双星系统周期为 $T=2(t_2-t_1)$，双星系统的角速度为 $\omega=\frac{2\pi}{T}=\frac{2\pi}{2(t_2-t_1)}=\frac{\pi}{t_2-t_1}$，**B 错误**；因为 $\frac{Gm_1m_2}{d^2}=m_1\omega^2r_1$，得 $Gm_2=\omega^2d^2r_1$，根据 $\frac{Gm_1m_2}{d^2}=m_2\omega^2r_2$，得 $Gm_1=\omega^2d^2r_2$，两式相加可得

$Gm_2+Gm_1=\omega^2d^2r_1+\omega^2d^2r_2=\omega^2d^3$，双星系统的总质量为 $m_1+m_2=\dfrac{\omega^2d^3}{G}=\dfrac{\pi^2d^3}{G(t_2-t_1)^2}$，**C 正确**；双星做圆周运动的速率之和为 $v_1+v_2=\omega(r_1+r_2)=\dfrac{\pi d}{t_2-t_1}$，**D 错误**.

30 s 速解　哈尔滨工业大学——颜开

“较亮遮较暗”在 t_1 时刻，“较暗遮较亮”在 t_2 时刻，两次“掩食”之间间隔半个周期，因此 $T=2(t_2-t_1)$；已知周期优先利用双星系统的结论 $m_1+m_2=\dfrac{4\pi^2d^3}{GT^2}$，代入 T 得 $m_1+m_2=\dfrac{\pi^2d^3}{G(t_2-t_1)^2}$，**C 正确**.

8. D　**【解析】**该卫星与月球同步绕地球运动，可知卫星绕地球运动的周期等于月球公转周期，**A 错误**；该卫星在 L_2 点绕地球做匀速圆周运动时，所受的合外力为地球和月球对它引力的合力，这两个引力方向相同，合力不为零，该卫星处于非平衡状态（点拨：静止或做匀速直线运动时为平衡状态，除此之外都为非平衡状态），**B 错误**；由 A 选项可得卫星与月球的角速度相等，根据 $v=\omega r$，可知 $v_{卫}:v_{月}=(L+d):L$，**C 错误**；设地球的质量为 M，月球的质量为 m_1，卫星的质量为 m_2，则对月球有 $G\dfrac{Mm_1}{L^2}=m_1\omega^2L$，对卫星有 $G\dfrac{Mm_2}{(L+d)^2}+G\dfrac{m_1m_2}{d^2}=m_2\omega^2(L+d)$（点拨：地球和月球对卫星的合力提供向心力，卫星的轨道半径为 $L+d$），其中 $M=km_1$，联立解得 $\dfrac{1}{(L+d)^2}+\dfrac{1}{kd^2}=\dfrac{L+d}{L^3}$，**D 正确**.

9. C　**【解析】**根据万有引力提供向心力有 $G\dfrac{Mm}{r^2}=m\dfrac{v^2}{r}$，可得线速度 $v=\sqrt{\dfrac{GM}{r}}$，所以火星与地球的线速度之比为 $\dfrac{v_M}{v_E}=\sqrt{\dfrac{r_E}{r_M}}=\sqrt{\dfrac{1}{1.5}}=\sqrt{\dfrac{2}{3}}$，**A 错误**；根据开普勒第三定律有 $\dfrac{r^3}{T^2}=k$，可得 $\left(\dfrac{T_M}{T_E}\right)^2=\left(\dfrac{r_M}{r_E}\right)^3=1.5^3=\dfrac{27}{8}$，所以火星与地球绕太阳公转的周期之比为 $\dfrac{T_M}{T_E}=\sqrt{\dfrac{27}{8}}=\dfrac{3\sqrt{3}}{2\sqrt{2}}$，**B 错误**；根据万有引力提供向心力有 $G\dfrac{Mm}{r^2}=m\dfrac{4\pi^2}{T^2}r$，可得周期 $T=\sqrt{\dfrac{4\pi^2r^3}{GM}}$，由于地球轨道半径更小，所以地球公转周期更短、角速度更大，相邻两次“火星合日”的时间间隔 Δt 满足 $(\omega_E-\omega_M)\Delta t=2\pi$，这意味着在此期间地球绕太阳比火星绕太阳多运动了一圈，其中 $\omega=\dfrac{2\pi}{T}$，可得 $\Delta t=\dfrac{T_ET_M}{T_M-T_E}$，由开普勒第三定律可得 $T_M=\sqrt{1.5^3}T_E\approx1.84$ 年，解得 $\Delta t\approx2.19$ 年，从 2026 年 1 月 9 日算起，下一次“火星合日”约在 2.19 年后（即 2028 年初），显然在 2027 年 1 月 9 日之后，**C 正确，D 错误**.

突破点 4　功、能类运动问题（速选角度）

1. B　**【解析】**根据动能定理有 $mgH=\dfrac{1}{2}mv_N^2$，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】根据开普勒第二定律可知 $\frac{1}{2}\times 2Rv_0\Delta t=\frac{1}{2}\times 4Rv_B\Delta t$，飞船运动到 B 点时的速率 $v_B=\frac{2R}{4R}v_0=\frac{1}{2}v_0$，飞船由 A 运动到 B 的过程中机械能守恒（注意：飞船在一条轨道上运动，机械能不变），则有 $\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{GMm}{2R}=\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{GMm}{4R}$，解得 $v_0=\sqrt{\frac{2GM}{3R}}$，飞船在半径为 $4R$ 的圆轨道上运行时有 $G\frac{Mm}{(4R)^2}=m\frac{v^2}{4R}$，它的速率 $v=\sqrt{\frac{GM}{4R}}=\frac{\sqrt{6}}{4}v_0$，飞船变轨过程根据动能定理有 $W=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_B^2=\frac{1}{16}mv_0^2$，**A 正确**.

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 $N_1-mg=m\frac{v_1^2}{R}$，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 $F_B-mg\cos\theta_1=m\frac{v_B^2}{R}$，从 B 点到最低点，由机械能守恒定律得 $mgR(1-\cos\theta_1)+\frac{1}{2}mv_B^2=\frac{1}{2}mv_1^2$，由图乙知 $\cos\theta_1=\frac{1}{2}$，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 $E_{kA}=\frac{1}{2}m_Av^2=40\ \text{J}$，$E_{kB}=\frac{1}{2}m_Bv^2=20\ \text{J}$，所以 $\frac{m_A}{m_B}=\frac{2}{1}$，**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 J，**C 错误**；A 和 B 之间因摩擦产生的热量为 $Q=f(x_{块}-x_{板})=5\times(10-4)$ J$=30$ 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 $h_A=\frac{1}{2}h$，物体 A 的重力势能增加量为 $\Delta E_{pA}=mgh_A=\frac{1}{2}mgh$，系统重力势能的变化量 $\Delta E_p=mgh_A-mgh=-\frac{1}{2}mgh$，即系统的重力势能减少了 $\frac{1}{2}mgh$，**A、B 错误**；根据机械能守恒定律，系统动能的增加量 $\Delta E_k=-\Delta E_p=\frac{1}{2}mgh$，**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 $\Delta E_k=\frac{1}{2}mv_A^2+\frac{1}{2}mv_B^2=\frac{5}{8}mv_B^2$，由此解得物体 B 的动能增加量 $E_{kB}=\frac{1}{2}mv_B^2=\frac{2}{5}mgh$，**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 $O\rightarrow A$，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**；滑块下滑一段微小距离 Δx 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 $mg\cdot3d\sin\theta-mg\cos\theta\cdot\sum\mu\Delta x=0$，由图乙可得 $\sum\mu\Delta x=\frac{1}{2}\times2d\mu_B$，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】**根据牛顿第二定律得 $mg\sin37^\circ+\mu mg\cos37^\circ=ma_1$，解得 $a_1=10$ m/s^2，货物和传送带达到共同速度所需时间 $t_1=\frac{v}{a_1}$，代入数据解得 $t_1=0.2$ s，下滑距离 $x_1=\frac{1}{2}a_1t_1^2$，代入数据解得 $x_1=0.2$ m，货物继续加速下滑，根据牛顿第二定律得 $mg\sin37^\circ-\mu mg\cos37^\circ=ma_2$，解得 $a_2=2$ m/s^2，货物下滑到底端的速度满足 $v_B^2-v^2=2a_2(L-x_1)$，解得 $v_B=6$ m/s，货物下滑到底端的时间满足 $L-x_1=\frac{v+v_B}{2}t_2$，解得 $t_2=2$ s，则货物从 A 到 B 的时间 $t=t_1+t_2=2.2$ s，**A 错误**；根据牛顿第二定律得 $\mu mg=ma_3$，解得 $a_3=5$ m/s^2，BC 的长度满足 $v_B^2=2a_3x_3$，解得 $x_3=$

3.6 m，**B 错误**；货物与传送带达到相同速度前，划痕长度 $s_1=vt_1-x_1$，代入数据得 $s_1=0.2$ m，货物与传送带间因摩擦产生的热量 $Q_1=\mu mg\cos 37°\cdot s_1$，代入数据得 $Q_1=1.6$ J，货物与传送带达到相同速度后，划痕长度 $s_2=(L-x_1)-vt_2$，代入数据得 $s_2=4$ m，货物与传送带间因摩擦产生的热量 $Q_2=\mu mg\cos 37°\cdot s_2$，代入数据得 $Q_2=32$ J，货物相对于传送带先向上运动 0.2 m，后向下运动 4 m，划痕总长度为 4 m，货物与传送带间因摩擦产生的热量为 $Q_1+Q_2=33.6$ J，**C 错误**，**D 正确**.

8. **B** 【解析】设 A 下降的高度为 h，当绳与竖直杆夹角为 37°时，滑轮与 A 间的绳长 $L=\dfrac{h}{\cos 37°}$，水平距离 $d=h\tan 37°$，B 上升的高度 $h_B=L-d=\dfrac{h}{\cos 37°}-h\tan 37°=0.5h$，$A$、$B$ 沿绳方向速度大小相等，可知 $v=v_A\cos 37°$，则 $v_A=\dfrac{5}{4}v$，初始时绳上无拉力，B 静止，弹簧处于压缩状态，压缩量 x_1 满足 $kx_1=mg$，末状态 C 刚要离开地面，弹簧处于伸长状态，伸长量 x_2 满足 $kx_2=mg$，由于 $x_1=x_2$，弹簧弹性势能变化量为 0，对系统应用机械能守恒定律，重力势能减少 $\Delta E_p=2mgh-mgh_B=1.5mgh$，动能增加 $\Delta E_k=\dfrac{1}{2}\times 2mv_A^2+\dfrac{1}{2}mv^2=\dfrac{33}{16}mv^2$，由 $\Delta E_p=\Delta E_k$，解得 $h=\dfrac{11v^2}{8g}$，**B 正确**.

9. **C** 【解析】滑动摩擦力 $f=\mu mg=0.5\times 2\times 10$ N$=10$ N，缓慢移动过程中，根据功能关系，外力 F 做的功等于弹性势能增加量与克服摩擦力做功之和，即 $W_F=\dfrac{1}{2}kx_1^2+fx_1=\dfrac{1}{2}\times 100\times 0.5^2$ J$+10\times 0.5$ J$=17.5$ J，**A 错误**；撤去外力后，设物块向右运动到最远处距离弹簧原长处 x_2，根据能量守恒定律有 $\dfrac{1}{2}kx_1^2=\dfrac{1}{2}kx_2^2+f(x_1+x_2)$，解得 $x_2=0.3$ m，则向右运动的最大距离为 $x_1+x_2=0.8$ m，**B 错误**；分析可知，各阶段分别满足简谐运动，简谐运动周期 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}=\dfrac{\sqrt{2}\pi}{5}$ s，物块从释放到向右运动到最远处速度减为零，历时 $t_1=\dfrac{T}{2}$，此时弹簧弹力大小 $F_{弹}=kx_2=30$ N$>f$，物块将向左运动，根据能量守恒定律有 $\dfrac{1}{2}kx_2^2=\dfrac{1}{2}kx_3^2+f(x_3+x_2)$，解得 $x_3=0.1$ m，此时弹簧弹力大小 $F'_{弹}=kx_3=10$ N$=f$，物块最终静止，历时 $t_2=\dfrac{T}{2}$，总时间 $t=\dfrac{T}{2}+\dfrac{T}{2}=T=\dfrac{\sqrt{2}\pi}{5}$ s，**C 正确**；从释放物块到最终静止过程产生的热量等于克服摩擦力做的总功，路程 $s=(0.5+0.3)$ m$+(0.3+0.1)$ m$=1.2$ m，产生的热量 $Q=fs=10\times 1.2$ J$=12$ J，**D 错误**.

突破点 5　动量图像问题（提取图像信息）

1. **D** 【解析】由题意可知 $f=k_1t$，$f=k_2x$，联立可得 $k_1t=k_2x$，即 $x=\dfrac{k_1}{k_2}t$，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 $I=\dfrac{1}{2}k_1t_0^2$，**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. **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.

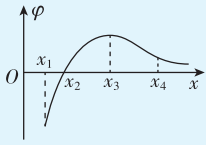
【解析】$0\sim t_3$ 时间内，对物块 P、Q 和弹簧组成的系统，没有外力做功，系统机械能守恒，$0\sim t_1$ 时间内，墙面对 P 有向右的弹力，所以系统动量不守恒，**A 错误**；t_1 时刻弹簧恢复原长，Q 的速度最大，有 $E_p=\frac{1}{2}mv_1^2$，t_2 时刻弹簧伸长量最大，此时 P、Q 共速，$t_1\sim t_2$ 时间内，系统动量守恒，有 $mv_1=2mv_2$，$0\sim t_2$ 时间内，由动能定理可知，合外力对 Q 做功 $W=\frac{1}{2}mv_2^2-0$，代入数据可得 $W=\frac{E_p}{4}$，$v_2=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{2E_p}{m}}$，**B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

3. **B** **【解析】**空气阻力大小与速度大小成正比，设空气阻力为 $f=kv$，下落过程由牛顿第二定律可得 $mg-kv=ma$，故随着速度增大，加速度越来越小，下落时做加速度逐渐减小的加速运动，**D 错误**；与地面碰撞后上升阶段，由牛顿第二定律可得 $mg+kv=ma$，故随着速度减小，加速度越来越小，上升时做加速度逐渐减小的减速运动，**C 错误**；设小球下落高度为 h_1，上升高度为 h_2，则下落时空气阻力冲量的大小为 $I_1=\sum kv\Delta t_1=kh_1$，上升时空气阻力冲量的大小为 $I_2=\sum kv\Delta t_2=kh_2$，规定向下为正方向，由动量定理，下落时 $mgt_1-kh_1=mv_0$，上升时 $mgt_2+kh_2=0-(-mv_0)=mv_0$，故 $t_1>t_2$，**A 错误**，**B 正确**.

突破点 6　电场图像、轨迹问题（能、势互推法）

1. **C** **【解析】**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**；因从 x_1 到 x_2 电势能减小，可知电场力做正功，电场力方向沿 x 轴正方向，因电荷带负电，可知电场方向向左，则 x_1 处电场强度为负，**C 正确**.

一题多解 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**.

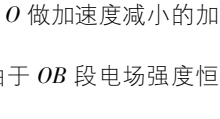
2. **C** 【解析】从轨迹可以判断，该粒子受到斥力，由于中心是固定的正点电荷，所以该粒子带正电，**A 错误**；离点电荷越近，电场强度越大，根据 $U=\bar{E}d$ 可知 $U_{ab}>U_{bc}$，即 $\varphi_a-\varphi_b>\varphi_b-\varphi_c$，**B 错误**；由动能定理可得 $E_{kb}-E_{ka}=U_{ab}q$，$E_{kc}-E_{kb}=U_{bc}q$，已知粒子带正电，因为 $U_{ab}>U_{bc}$，所以 $E_{kb}-E_{ka}>E_{kc}-E_{kb}$，**C 正确**；电荷之间静电力 $F=\dfrac{kQq}{r^2}$，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

3. **C** 【解析】电场线的疏密表示电场强度的大小，由图可知，从 M 点到 N 点电场线逐渐变密，则电场强度逐渐增大，**A 错误**；沿电场线方向电势逐渐降低，由图可知电场线方向向下，则从 M 点到 N 点电势逐渐降低，**B 错误**；带电尘粒仅在电场力作用下运动，根据轨迹弯曲方向，可知电场力方向大致向上，从 M 点到 N 点，电场力方向与速度方向的夹角为钝角，电场力做负功，动能逐渐减小，电势能逐渐增大，**C 正确**，**D 错误**.

4. **D** 【解析】$v-t$ 图像的斜率代表加速度，由 $v-t$ 图像可知，电子的加速度先减小到零后反向增大. 因为电子仅在电场力的作用下运动，根据牛顿第二定律有 $F=Eq=ma$，解得 $a=\dfrac{Eq}{m}$，所以电场强度 E 也应该先减小到零后反向增大. 电子从 M 点由静止释放，向 N 点运动，速度先增大，说明电子先做加速运动，电场力方向与运动方向相同，即沿 x 轴正方向，然后速度减小，做减速运动，电场力方向与运动方向相反，即沿 x 轴负方向. 由于电子带负电，所以电场强度方向与电子所受电场力方向相反，故电场强度先沿 x 轴负方向，后沿 x 轴正方向. 因为规定沿 x 轴正方向为电场强度的正方向，所以在 O 点左侧 $E<0$ 且逐渐减小，在 O 点右侧 $E>0$ 且逐渐增大，**A、B 错误**；沿电场线方向电势逐渐降低，在 O 点左侧，电场强度沿 x 轴负方向，所以电势沿 x 轴正方向升高，在 O 点右侧，电场强度沿 x 轴正方向，所以电势沿 x 轴正方向降低，**C 错误**；电子从 M 点由静止释放，向 N 点运动，速度先增大后减小，说明电场力先做正功后做负功，所以电势能先减小后增大，规定 O 点为零势

能点，所以在 O 点处电子的电势能为 0，**D 正确**.

5. **D** 【解析】由题图可知，电势 φ 在 O 点最高，A、B 两点电势最低，小球从 A 点由静止释放后向 O 点运动，说明小球所受的电场力方向由 A 指向 O，由于电场强度方向与电势降低的方向一致，在 O 点左侧为从 O 指向 A，故小球受力的方向与电场强度的方向相反，因此小球带负电，**A 错误**；A、O 两点间的电势差为 $U_{AO}=\varphi_A-\varphi_O=-\varphi_0$，设小球所带电荷量的绝对值为 q，由于小球带负电，则从 A 到 O 的过程，对小球列动能定理方程有 $-qU_{AO}=\frac{1}{2}mv^2$（关键：A、O 两点间的电势差和电荷量的正负号要代入），解得 $q=\frac{mv^2}{2\varphi_0}$，**B 错误**；$\varphi-x$ 图像斜率的绝对值表示电场强度 E 的大小，由题图可知，OB 段图像为倾斜直线，其斜率恒定，说明 OB 段的电场强度 E 恒定，根据牛顿第二定律有 $Eq=ma$，解得小球在 OB 段的加速度大小为 $a=\frac{Eq}{m}$，所以小球在 OB 段的加速度大小不变，**C 错误**；由上面分析可知，由于 AO 段曲线斜率的绝对值逐渐减小，所以 AO 段的电场强度逐渐减小，则小球从 A 到 O 做加速度减小的加速运动，在 AO 段的平均速度大于 $\frac{v}{2}$，由于 OB 段电场强度恒定，小球做匀减速运动，所以小球在 OB 段的平均速度等于 $\frac{v}{2}$，如图所示，由于 AO 段与 OB 段的位移大小相等，则根据 $x=\bar{v}\cdot t$ 可知，AO 段运动时间更短，即小球在 AO 段的运动时间小于在 OB 段的运动时间，**D 正确**.



1 min 速解　哈尔滨工业大学——颜开

先定性分析：从 A 到 O 电势升高，电场线沿 x 轴负方向，小球从 A 点沿 x 轴正方向运动，则小球带负电，**A 错误**；图像问题先看斜率或面积，由于 $E=-\frac{\Delta\varphi}{\Delta x}$，$F=Eq=ma$，可知 AO 段加速度逐渐减小，OB 段加速度恒定，**C 错误**；易知 AO 段平均速度大于 $\frac{1}{2}v$，而 OB 段平均速度恰好为 $\frac{1}{2}v$，故 AO 段的运动时间小于 OB 段，**D 正确**.

6. **C** 【解析】首先确定场源电荷位置，延长 a、b 两点场强方向所在直线，交点 O 为场源电荷位置. 在 $\triangle Oab$ 中，$\angle Oab=30°$，$\angle Oba=60°$，故 $\angle aOb=90°$，$ab=d$，由正弦定理有 $\frac{Oa}{\sin\beta}=\frac{Ob}{\sin\alpha}=\frac{ab}{\sin 90°}$，代入 $\alpha=30°$、$\beta=60°$，得 $Oa=\frac{\sqrt{3}}{2}d$，$Ob=\frac{1}{2}d$，O 在正电荷的轨迹凹侧，说明电场力指向 O，场强方向指向 O，因此场源电荷为负电荷，离负电荷越远电势越高，因 $Oa>Ob$，即 $r_a>r_b$，故 $\varphi_a>\varphi_b$，**A 错误**；正电荷的电势能 $E_p=e\varphi$，因

$\varphi_a>\varphi_b$，故 $E_{pa}>E_{pb}$，**B 错误**；已知场源电荷为负电荷，故电势公式为 $\varphi=-k\frac{Q}{r}$，由电势差定义得 $U_{ab}=\varphi_a-\varphi_b=-k\frac{Q}{Oa}+k\frac{Q}{Ob}=kQ\left(\frac{2}{d}-\frac{2}{\sqrt{3}d}\right)=\frac{2(3-\sqrt{3})kQ}{3d}$，电场力做功 $W=eU_{ab}=\frac{2(3-\sqrt{3})keQ}{3d}$，**C 正确**；由牛顿第二定律得 $a=\frac{eE}{m}$，点电荷场强大小 $E=k\frac{Q}{r^2}$，联立得 $a=\frac{ekQ}{mr^2}$，则 $\frac{a_a}{a_b}=\frac{r_b^2}{r_a^2}=\frac{\left(\frac{1}{2}d\right)^2}{\left(\frac{\sqrt{3}}{2}d\right)^2}=\frac{1}{3}$，即加速度大小之比为 1∶3，**D 错误**.

突破点 7　磁场轨迹问题（定圆心、找半径）

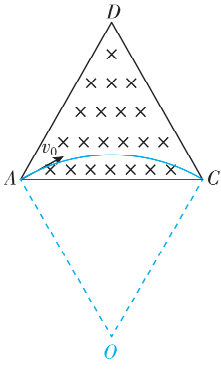
1. **D**　【解析】根据左手定则可知，该粒子带负电，**A 错误**；设粒子运动的线速度为 v，角速度为 ω，则根据洛伦兹力提供向心力有 $qvB=m\omega^2r$，又因为 $v=\omega r$，联立解得 $\omega=\frac{Bq}{m}$，所以粒子运动的角速度保持不变，**B、C 错误**；根据 $a_n=\omega^2r$ 可知，由于粒子运动的角速度保持不变，而半径 r 越来越小（关键：粒子受到阻力，速度减小，半径 $r=\frac{mv}{qB}$ 减小），所以粒子运动的向心加速度越来越小，**D 正确**.

2. **B**　【解析】恰好没有粒子打到管壁上，当粒子沿水平方向射出时，粒子在磁场中做匀速圆周运动的轨迹恰好与管壁相切（关键点），轨迹半径为 $R_0=\frac{R}{2}$，根据洛伦兹力提供向心力有 $qv_0B=\frac{mv_0^2}{R_0}$，联立解得 $\frac{q}{m}=\frac{2v_0}{BR}$，**B 正确**.

3. **D**　【解析】若粒子带正电，则受到的库仑力背离圆心，顺时针转动时，洛伦兹力方向背离圆心，则合力背离圆心，粒子不可能进行如图所示的圆周运动，粒子一定带负电，**A 错误**；根据 $v=\frac{2\pi r}{T}$ 可知，线速度之比为 1∶2，由于逆时针转动时，向心力较小，根据 $F_{向}=m\frac{v^2}{r}$，可知线速度较小，因此沿逆时针方向转动时的线速度大小是沿顺时针方向时的 $\frac{1}{2}$，顺时针转动时，洛伦兹力指向圆心，则有 $F_{库}+Bqv_1=ma_1$，而逆时针转动时，洛伦兹力背离圆心，则有 $F_{库}-Bqv_2=ma_2$（关键：库仑力与洛伦兹力的合力提供向心力），由于 $v_1=2v_2$，则由 $a=\frac{v^2}{r}$ 可知 $a_1=4a_2$，联立 $F_{库}=\frac{kqQ}{r^2}$，解得 $a_2=\frac{kQq}{2mr^2}$，$a_1=\frac{2kQq}{mr^2}$，**B、C 错误**，**D 正确**.

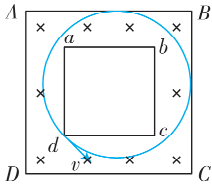
4. **B**　【解析】当粒子从 A 点以速度大小 v_0 沿 $\angle DAC$ 的平分线射入磁场，作出粒子在磁场中的运动轨迹如图甲所示，由几何知识可知 $\angle AOC=60°$，粒子圆周运动的轨迹半径为 $R=$

L，由于洛伦兹力提供圆周运动的向心力，则有 $Bqv_0=\frac{mv_0^2}{R}$，解得 $v_0=\frac{BqL}{m}$，若该粒子以速度大小 $\frac{1}{2}v_0$ 沿纸面从 AC 边中点垂直 AC 射入磁场，则粒子在磁场中运动的轨迹半径为 $r=\frac{m\cdot\frac{1}{2}v_0}{Bq}=\frac{1}{2}L$，粒子圆周运动的周期 $T=\frac{2\pi r}{\frac{v_0}{2}}=\frac{2\pi L}{v_0}$，轨迹如图乙所示，由几何知识可知，此时粒子偏转的圆心角 $\theta=60°$，则粒子在磁场中运动的时间 $t=\frac{60°}{360°}T=\frac{1}{6}\times\frac{2\pi L}{v_0}=\frac{\pi L}{3v_0}$，**B 正确.**

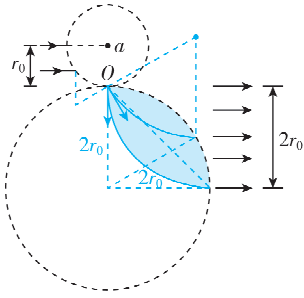


甲　　乙

5. A 【解析】要求保证有粒子被束缚在图示磁场中，且要求 B_0 最小，由洛伦兹力提供向心力有 $qvB_0=m\frac{v^2}{r}$，解得 $r=\frac{mv}{qB_0}$，可知要求 B_0 最小，则 r 最大，作出轨迹如图所示，由图根据几何关系可知 $\sqrt{(3a)^2+(3a)^2}-r=\sqrt{2}r$，解得 B_0 的最小值为 $B_0=\frac{(2+\sqrt{2})mv}{6qa}$，**A 正确.**



6. C 【解析】设粒子质量为 m，电荷量为 q，速度大小为 v，区域Ⅱ内磁感应强度大小为 B_1，根据磁聚焦原理，粒子在半径为 r_0 的圆形磁场区域Ⅰ中运动，粒子运动的轨迹半径为 r_0（关键：磁聚焦和磁发散的原因是粒子轨迹半径和磁场半径相同），有 $qvB_0=m\frac{v^2}{r_0}$，解得 $B_0=\frac{mv}{qr_0}$，要使汇聚到 O 点的粒子经区域Ⅱ内的磁场偏转后宽度变为 $2r_0$，且粒子仍沿水平向右射出，作出轨迹如图所示，由几何关系可知粒子的轨迹半径为 $2r_0$，有 $qvB_1=\frac{mv^2}{2r_0}$，解得 $B_1=\frac{mv}{2qr_0}=\frac{1}{2}B_0$，由左手定则可知，区域Ⅱ中磁场方向垂直纸面向里，**A、B 错误**；由几何关系可知，区域Ⅱ中有粒子经过的面积为 $S=2(\pi-2)r_0^2$，**C 正确，D 错误.**



7. C 【解析】设 AC 边长为 L，一带正电的粒子以大小为 v_1 的速度从 A 点沿 AB 方向射入磁场，从 AC 边射出且半径最大，画出粒子运动轨迹如图 1 所示，由几何关系可知，粒子运动的轨迹半径 $r_1=L$，粒子在磁场中轨迹圆弧的圆心角 $\theta=60°$，在磁场中的运动时间 $t_1=\frac{T}{6}$，$T=\frac{2\pi m}{qB}$，将磁场方向反向后，同样的粒子以大小为 v_2 的速度从 C 点沿 CB 方向射入磁场，同样从 AC 边射出且半径最大，画出粒子运动轨迹如图 2 所示，由几何关系可知，粒子运动的轨迹半径 $r_2=\frac{L}{2}$，粒子在磁场中轨迹圆弧的圆心角 $\alpha=120°$，在磁场中的运动时间 $t_2=\frac{T}{3}$，故 $\frac{t_1}{t_2}=\frac{\frac{T}{6}}{\frac{T}{3}}=\frac{1}{2}$，**C 正确，D 错误**；粒子在磁场中运动的过程中，洛伦兹力提供向心力有 $qvB=\frac{mv^2}{r}$，可得 $v\propto r$，所以 $\frac{v_1}{v_2}=\frac{r_1}{r_2}=\frac{2}{1}$，**A、B 错误**.

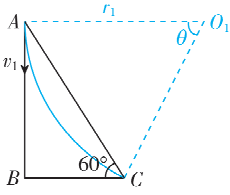


图 1

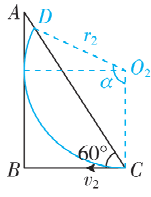
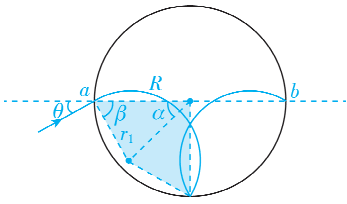


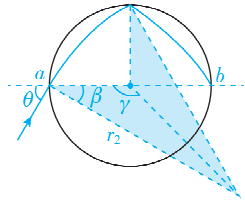
图 2

8. B 【解析】若 $\theta=\frac{\pi}{6}$，粒子与筒壁无碰撞直接从 a 到 b，ab 是圆筒直径，长度为 $2R$，初速度与轨迹圆的弦 ab 的夹角为 θ，则轨迹对应圆心角为 2θ，设轨迹圆的半径为 r，则有 $ab=2r\sin\theta=2R$，解得 $r=2R$，由洛伦兹力提供向心力有 $Bqv=m\frac{v^2}{r}$，$v=\frac{qBr}{m}=\frac{2BqR}{m}$，**A 错误**；如果粒子与筒壁发生一次碰撞，可能存在两种情况如图甲、乙所示，其中 $\beta=\frac{\pi}{2}-\theta$，甲图中 $\alpha=\frac{\pi}{4}$，由正弦定理有 $\frac{r_1}{\sin\alpha}=\frac{R}{\sin(\pi-\alpha-\beta)}$，联立 $Bqv_1=m\frac{v_1^2}{r_1}$，解得 $v_1=\frac{\sqrt{2}BqR}{2m\sin\left(\frac{3\pi}{4}-\beta\right)}$，乙图中 $\gamma=\frac{3\pi}{4}$，由正弦定理有 $\frac{r_2}{\sin\gamma}=\frac{R}{\sin(\pi-\gamma-\beta)}$，联立 $Bqv_2=m\frac{v_2^2}{r_2}$，解得 $v_2=$

$\frac{\sqrt{2}BqR}{2m\sin\left(\frac{\pi}{4}-\beta\right)}$，根据 r_1、r_2 的方程，当 $\beta<\frac{\pi}{4}$ 即 $\theta>\frac{\pi}{4}$ 时，r_1 和 r_2 均成立，而当 $\beta>\frac{\pi}{4}$ 即 $\theta<\frac{\pi}{4}$ 时，只有 r_1 成立，所以当 $\theta=\frac{\pi}{6}$ 即 $\beta=\frac{\pi}{3}$ 时，速度只有一个解，代入 v_1 表达式解得 $v_1'=\frac{(\sqrt{3}-1)BqR}{m}$，当 $\theta=\frac{\pi}{3}$ 即 $\beta=\frac{\pi}{6}$ 时，速度有两个解，分别代入 v_1、v_2 表达式，解得 $v_1''=\frac{(\sqrt{3}-1)BqR}{m}$ 和 $v_2''=\frac{(\sqrt{3}+1)BqR}{m}$，**B 正确，C、D 错误.**



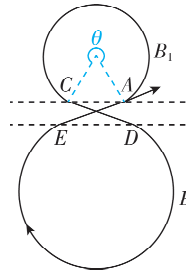
甲



乙

关键点拨　粒子撞击筒壁前后，速度大小不变，速度方向变为关于碰撞点所在圆筒半径对称并反向.

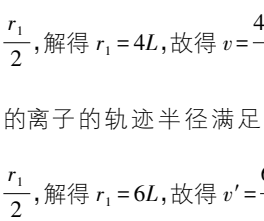
9. A　**【解析】**粒子带正电，根据左手定则可得虚线 AC 上方的区域磁场垂直纸面向里，虚线 DE 下方区域磁场垂直纸面向外，根据洛伦兹力提供向心力有 $qvB=m\frac{v^2}{r}$，可得轨迹半径为 $r=\frac{mv}{Bq}$，速率不变，粒子在上方区域运动的轨迹半径较小，可知磁感应强度 $B_1>B_2$，根据 $T=\frac{2\pi r}{v}=\frac{2\pi m}{Bq}$，粒子在上方区域和下方区域转过的圆心角相同，运动时间 $t=\frac{\theta}{2\pi}T=\frac{\theta m}{Bq}$，根据 $B_1>B_2$，可知粒子从 A 直接到 C 的运动时间小于从 D 直接到 E 的，**A 正确，B、C 错误**；轨迹与虚线围起的上、下两区域磁通量分别为 $\Phi_1=B_1S_1$、$\Phi_2=B_2S_2$，设 $\beta=\frac{2\pi-\theta}{2}$，其中 $S_1=\frac{\theta}{2\pi}\pi r_1^2+r_1\sin\beta\cdot r_1\cos\beta=\frac{m^2v^2}{B_1^2q^2}\left(\frac{\theta}{2}+\sin\beta\cos\beta\right)$，$S_2=\frac{\theta r_2^2}{2}+r_2\sin\beta\cdot r_2\cos\beta=\frac{m^2v^2}{B_2^2q^2}\left(\frac{\theta}{2}+\sin\beta\cos\beta\right)$，可知 $\Phi_1=\frac{m^2v^2}{B_1q^2}\left(\frac{\theta}{2}+\sin\beta\cos\beta\right)$，$\Phi_2=\frac{m^2v^2}{B_2q^2}\left(\frac{\theta}{2}+\sin\beta\cos\beta\right)$，可知 $\Phi_1<\Phi_2$，**D 错误.**



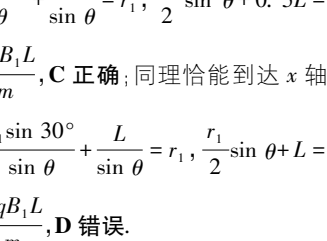
10. A　**【解析】**粒子在水平面内做匀速圆周运动，根据牛顿第二定律有 $qv_0B_0=m\frac{v_0^2}{r}$，解得 $r=\frac{mv_0}{qB_0}=\frac{1}{2}L$，**A 错误**；周期 $T=\frac{2\pi r}{v_0}=\frac{\pi L}{v_0}$，粒子从 O 点运动到侧面的最短时间，对应圆周运动中最短弦长即为 O 点到侧面的垂线段，由几何关系可

知，弦长为$\frac{L}{2}$，则圆心角$\theta=\frac{\pi}{3}$，最短时间$t_{min}=\frac{\theta}{2\pi}\cdot T=\frac{\pi L}{6v_0}$（关键：两半径与弦构成等边三角形，圆心角为$\frac{\pi}{3}$），**B 正确**；要使所有粒子都打到正方体底面中心O_1，需要满足$\frac{1}{2}L=\frac{1}{2}at^2$，根据牛顿第二定律，有$qE=ma$，运动时间满足$t=N\frac{2\pi\times\frac{L}{2}}{v_0}=\frac{N\pi L}{v_0}(N=1,2,3,\cdots)$（关键：需要考虑粒子运动的周期性造成的多解问题），联立可得$E=\frac{mv_0^2}{N^2\pi^2qL}(N=1,2,3,\cdots)$，当$N=1$时，$E=\frac{mv_0^2}{\pi^2qL}$，当$N=2$时，$E=\frac{mv_0^2}{4\pi^2qL}$，**C、D 正确**.

11. C 【解析】如图甲所示，当离子恰好与区域Ⅰ、Ⅱ间的边界相切时，离子恰好不能进入区域Ⅱ，由几何关系得此时离子运动的轨迹半径$r_0=2L$，则由$qv_1B_1=m\frac{v_1^2}{r_0}$，得$v_1=\frac{2qB_1L}{m}$，即速度大小大于$\frac{2B_1qL}{m}$的离子才能进入区域Ⅱ，**A 错误**；由于$\frac{3B_1qL}{2m}<v_1$，故离子未进入区域Ⅱ，只在区域Ⅰ中运动，运动轨迹的圆心角为$\alpha=\frac{2\pi}{3}$，运动时间$t=\frac{\alpha}{2\pi}T=\frac{1}{3}\cdot\frac{2\pi m}{qB_1}=\frac{2\pi m}{3qB_1}$，**B 错误**；若离子无法从下边界离开磁场区域Ⅱ，纵坐标y_1最小时，离子速度方向与x轴平行，其轨迹如图乙，由$r=\frac{mv}{qB}$，$B_2=2B_1$，离子在区域Ⅰ中运动轨迹半径r_1是在区域Ⅱ中运动轨迹半径r_2的两倍，$r_2=\frac{r_1}{2}$，当$y_1=0.5L$，由几何关系得$\frac{r_1\sin 30°}{\sin\theta}+\frac{L}{\sin\theta}=r_1$，$\frac{r_1}{2}\sin\theta+0.5L=\frac{r_1}{2}$，解得$r_1=4L$，故得$v=\frac{4qB_1L}{m}$，**C 正确**；同理恰能到达$x$轴的离子的轨迹半径满足$\frac{r_1\sin 30°}{\sin\theta}+\frac{L}{\sin\theta}=r_1$，$\frac{r_1}{2}\sin\theta+L=\frac{r_1}{2}$，解得$r_1=6L$，故得$v'=\frac{6qB_1L}{m}$，**D 错误**.



甲



乙

突破点 8　感应电动势问题（辨别类型选定则）

1. A 【解析】区域Ⅰ为$\frac{1}{4}$圆形区域，导体棒在其中运动时产生的电动势$E_1=\frac{1}{2}B\omega R^2$，区域Ⅱ为$\frac{1}{4}$圆环形区域，圆环形的

内径为$\frac{R}{2}$，外径为 R，导体棒在其中运动时产生的电动势 $E_2=B\cdot\frac{R}{2}\cdot\frac{\omega\frac{R}{2}+\omega R}{2}=\frac{3}{8}B\omega R^2$，设回路电阻为 r，有$\frac{E_1^2}{r}\cdot\frac{T}{4}+\frac{E_2^2}{r}\cdot\frac{T}{4}=\frac{E^2}{r}\cdot T$，则该导体棒产生电动势的有效值为 $E=\frac{5}{16}B\omega R^2$，**A 正确**.

2. **C** 【解析】已知磁场方向垂直纸面向外为正方向，$0\sim t_1$ 时间内，穿过线圈的磁场方向垂直纸面向外且磁通量随磁感应强度的增加而增加，由楞次定律的“增反减同”和安培定则可知，线圈的上端相当于等效电源的正极，根据二极管的单向导电性，此时绿色二极管发光，**A 错误**；$t_1\sim t_2$ 时间内，穿过线圈的磁通量不变化，不产生感应电动势，两二极管都不发光，**B 错误**；$t_2\sim t_3$ 时间内，穿过线圈的磁场方向垂直纸面向外且磁通量随磁感应强度的减小而减小，由楞次定律的“增反减同”和安培定则可知，线圈的下端相当于等效电源的正极，此时红色二极管发光，**C 正确**；$t_3\sim t_4$ 时间内，穿过线圈的磁场方向垂直纸面向里且磁通量随磁感应强度的增加而增加，由楞次定律的“增反减同”和安培定则可知，线圈的下端相当于等效电源的正极，此时红色二极管发光，**D 错误**.

关键点

关键点拨 线圈为电源，电源外部的二极管具有单向导电性，线圈电流沿顺时针方向时，绿灯亮，线圈电流沿逆时针方向时，红灯亮.

3. **D** 【解析】若以图示位置作为计时起点，正方形导线框转动 60°以后磁通量才发生变化（关键：磁场面积小于线框面积，当线框转过 60°时，bc 边在纸面上的投影刚好在磁场边界，之后磁通量减小），才有感应电流，转动 60°~90°时，磁通量表达式为 $\Phi=B\cdot\frac{l}{2}\cdot l\cos(\omega t)$，设导线框电阻为 R，可得感应电流大小为 $i=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t\cdot R}=-\frac{B\omega l^2}{2R}\sin(\omega t)$，根据楞次定律和安培定则可知，感应电流的方向为 $abcda$，与规定的正方向相反；在$\frac{1}{4}T\sim\frac{3}{4}T$，即转过 90°~270°时，磁通量始终为零，没有感应电流；转过 270°~300°时，磁通量逐渐增大，根据楞次定律和安培定则可得感应电流方向为 $dcbad$，与规定的正方向相同；转过 300°~360°时，磁通量不变，没有感应电流，**D 正确**.

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

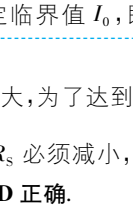
线框进入磁场，有效长度切割磁场产生的感应电动势 $E=Blv$，电流 $I=\frac{Blv}{R}$，安培力 $F=\frac{-B^2l^2v}{R}$，因此根据牛顿第二定律有 $m\frac{\Delta v}{\Delta t}=-\frac{B^2l^2v}{R}$，变形为 $\frac{\Delta v}{\Delta x}=-\frac{B^2l^2}{mR}$，即进入磁场过程 v 关于 x 的图像斜率不变，出磁场同理，**C 错误，D 正确**.

突破点 9　变压器的动态分析（等效法）

1. D　**【解析】**湿度增加时，R_S 阻值减小，副线圈回路总电阻减小，理想变压器原线圈电压不变，匝数比不变，故副线圈电压 U_2 不变，根据闭合电路欧姆定律，副线圈电流 I_2 增大，定值电阻 R_0 和滑动变阻器 R 两端的电压 $U'=I_2(R_0+R)$ 增大，因为 $U_2=U_S+U'$，所以 R_S 两端电压 U_S 减小，**A 错误**；副线圈电流 I_2 增大，根据理想变压器电流关系 $\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$ 可知，原线圈电流 I_1 增大，**B 错误**；R_0 消耗的电功率 $P=I_2^2R_0$ 增大，**C 错误**；报警条件是流过副线圈的电流大于设定临界值 I_0，即 $\frac{U_2}{R_S+R_0+R}>I_0$，$R$ 滑片上移，接入电路的阻值增大，为了达到同样的报警电流 I_0，总电阻需保持不变，因此 R_S 必须减小，R_S 减小意味着湿度增加，所以可提高报警湿度，**D 正确**.

快解　**等效电阻法**

等效电路如图所示，当湿度增加时，湿敏电阻阻值减小，其他电阻等效为内阻，则电路中电流增大，内电压增大，外电压减小，即湿敏电阻两端电压减小，**A、B 错误**；电流增大，则 R_0 消耗的电功率增大，**C 错误**.

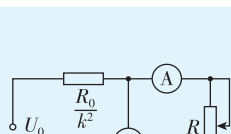


2. D　**【解析】**滑动变阻器滑片向上滑动时，接入电路的阻值 R 增大，将副线圈负载等效到原线圈一侧电路，等效电阻 $R'=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2R=\frac{R}{16}$，故等效电阻 R' 增大，电源电压有效值 U_0 不变，原线圈电流 $I_1=\frac{U_0}{R_0+R'}$ 减小，原线圈两端电压 $U_1=U_0-$

I_1R_0 增大，根据$\frac{U_2}{U_1}=\frac{n_2}{n_1}=4$，可得 $U_2=4U_1$，U_1 增大，因此 U_2 增大，故电压表示数变大，**A、B 错误**；根据$\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$可知，$I_1$ 减小，因此 I_2 减小，故电流表示数变小，**C 错误**；电源输出功率 $P=U_0I_1$，U_0 不变，I_1 减小，因此 P 减小，**D 正确**.

快解　等效电源法

原线圈串联有定值电阻，用等效电源法，令$\frac{n_1}{n_2}=k$，则等效电源电动势为$\frac{U_0}{k}$，原线圈电阻等效为$\frac{R_0}{k^2}$，等效电路如图所示，滑动变阻器滑片向上滑动时，接入电路的阻值 R 增大，则总电阻增大，等效电源电动势不变，总电流减小，即电流表示数减小，电源输出功率减小，**C 错误，D 正确**；将定值电阻看作内阻，则内电压减小，则外电压增大，即电压表示数增大，**A、B 错误**.



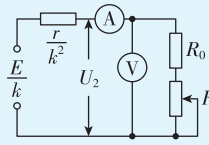
3. **C**　**【解析】**将变压器与负载等效为一个电阻，则有 $R_{等}=\frac{U_1}{I_1}$，根据$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$，$\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$，$U_2=I_2(R_0+R)$，联立解得 $R_{等}=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2(R_0+R)$，理想变压器原线圈接 $e=220\sqrt{2}\sin(100\pi t)$ V 的交流电，则原线圈电路中接入的交流电源电压有效值 $E=\frac{E_m}{\sqrt{2}}=\frac{220\sqrt{2}}{\sqrt{2}}$ V $=220$ V，在等效电路中，根据闭合电路欧姆定律，可得 $I_1=\frac{E}{r+R_{等}}$，滑片向下滑动的过程中，R 接入电路的阻值变大，根据 $R_{等}=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2(R_0+R)$，可知 $R_{等}$ 变大，故原线圈中的电流 I_1 变小，根据$\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$，可知副线圈中的电流 I_2 变小，即电流表的示数变小；在原线圈电路中有 $E=I_1r+U_1$，可知原线圈两端的电压 U_1 变大，根据$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$，可知副线圈两端的电压 U_2 变大，即电压表的示数变大，**A 错误**. 将电阻r视为电源内阻，可知当外电阻等于电源内阻时，外电阻消耗的功率最大，即 $R_{等}=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2(R_0+R)=r$，代入数据解得 $R=100\ \Omega$，即当 $R=100\ \Omega$ 时变压器输出功率最大，又因 R 的最大阻值为 $120\ \Omega$，故滑片向下滑动的过程中，理想变压器的输出功率先增大再减小，**B 错误，C 正确**. 在原线圈电路中有 $E=I_1r+U_1$，根据$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$，$\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$，联立解得 $U_2=\frac{n_2}{n_1}E-I_2\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2r$，可得 $\frac{\Delta U}{\Delta I}=\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2r=\left(\frac{5}{2}\right)^2\times20\ \Omega=125\ \Omega$，**D 错误**.

关键点

关键点拨　在$\frac{\Delta U}{\Delta I}$的计算中，若 U、I 测的是定值电阻两端的电压、电流，则比值为定值电阻阻值；若测的是可变化电阻两端的电压、电流，则需根据闭合电路欧姆定律，找出电源内阻或等效电源内阻.

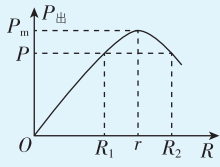
1 min 速解　哈尔滨工业大学——颜开

等效电路如图所示，令$\frac{n_1}{n_2}=k$，则$E_{效}=\frac{E}{k}$，$r_{效}=\frac{r}{k^2}=125\ \Omega$，$U_2=E_{效}-I_2r_{效}$. k 不变，滑片向下滑，R 增大，$r_{效}$不变，$E_{效}$不变，I_2 减小，等效内阻分压减小，则 U_2 增大，即电流表示数减小，电压表示数增大，**A 错误**. 当外电阻等于等效电源内阻时，有最大输出功率，即 $r_{效}=R_0+R$，解得 $R=100\ \Omega$ 时变压器输出功率最大，滑片继续下滑，变压器输出功率减小，**B 错误**，**C 正确**. 由 $U_2=E_{效}-I_2r_{效}$ 知$\frac{\Delta U}{\Delta I}=r_{效}=125\ \Omega$，**D 错误**.

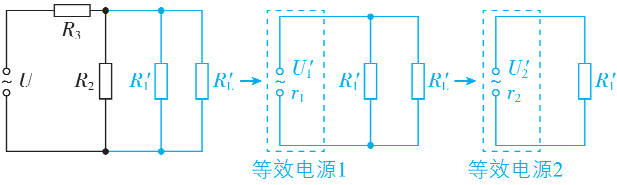


4. **D**　【解析】设最大阻值为 40 Ω 的滑动变阻器 R_3 滑片与最左端之间的电阻阻值为 R，则滑动变阻器接入电路的等效电阻 $R_3'=\frac{R\cdot(40-R)}{R+40-R}\ \Omega=\frac{R\cdot(40-R)}{40}\ \Omega$，将滑动变阻器 R_3 的滑片从左端滑至 c 点的过程中 R_3'先增大后减小，副线圈的等效电阻 $R_{效}=\frac{U_1}{I_1}=\frac{\frac{n_1}{n_2}U_2}{\frac{n_2}{n_1}I_2}=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2\cdot\frac{U_2}{I_2}=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2\cdot\left[R_2+\frac{R\cdot(40-R)}{40}\right]\ \Omega$，$R_{效}$先增大后减小，因此等效总电阻 $R_{总}=R_1+R_{效}$也先增大后减小，总电流 $I_1=\frac{U}{R_{总}}$，故原线圈电流 I_1 先减小后增大，定值电阻 R_1 消耗的电功率 $P_1=I_1^2R_1$，故 R_1 消耗的电功率先减小后增大，**A 错误**；理想变压器输出功率等于等效电阻 $R_{效}$的功率（关键：理想变压器的输出功率等于输入功率，也等于负载电阻总的消耗功率），电源等效内阻为 $R_1=10\ \Omega$，而 $R_{效}=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2\cdot\left[R_2+\frac{R\cdot(40-R)}{40}\right]\ \Omega=\left[40+\frac{R\cdot(40-R)}{10}\right]\ \Omega$，因此 $R_{效}$最小值为 40 Ω，大于 R_1，根据电源输出功率规律“外电阻大于内阻时，外电阻越大，输出功率越小”可知，由于 $R_{效}$先增大后减小，因此输出功率先减小后增大，**B 错误**；原线圈电流 I_1 先减小后增大，原线圈电压 $U_1=U-I_1R_1$，故 U_1 先增大后减小，**C 错误**；原线圈电压 $U_1=U-I_1R_1$，$U_1=\frac{n_1}{n_2}U_2$，$I_1=\frac{n_2}{n_1}I_2$，故$\frac{n_1}{n_2}U_2=U-\frac{n_2}{n_1}I_2R_1$，即 $U_2=\frac{n_2}{n_1}U-\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2I_2R_1$，$\left|\frac{\Delta U_2}{\Delta I_2}\right|=R_1\cdot\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2=10\times\left(\frac{110}{220}\right)^2\ \Omega=2.5\ \Omega$，**D 正确**.

关键点拨　等效电路中理想变压器的输出功率问题，可类比于纯电阻电路中电源的最大输出功率图像分析，如图所示.



5. D　【解析】将理想变压器及两副线圈回路视为等效电阻，由$\frac{U_0^2}{R_{等}}=\frac{U_1^2}{R_1}+\frac{U_2^2}{R_L}$，$\frac{U_0}{n_0}=\frac{U_1}{n_1}=\frac{U_2}{n_2}$，有$\frac{1}{R_{等}}=\frac{n_1^2}{n_0^2}\cdot\frac{1}{R_1}+\frac{n_2^2}{n_0^2}\cdot\frac{1}{R_L}$，令$R_1'=\frac{n_0^2}{n_1^2}R_1$，$R_L'=\frac{n_0^2}{n_2^2}R_L$，作出等效电路图如图所示，$P$ 上滑，R_1 变大、R_1' 变大，根据串反并同，灯泡将变亮，R_2 消耗的功率将增大，**A、B 错误**；将交流电源、R_2、R_3 作为等效电源 1，电源电压有效值为 $U=\frac{120\sqrt{2}}{\sqrt{2}}\ \text{V}=120\ \text{V}$，则 $U_1'=\frac{R_2}{R_2+R_3}U=80\ \text{V}$，$r_1=\frac{R_2R_3}{R_2+R_3}=8\ \Omega$，$R_1=2\ \Omega$ 时，$R_1'=R_L'=8\ \Omega$，$R_{并}=\frac{R_1'R_L'}{R_1'+R_L'}=4\ \Omega$，则 $U_0=\frac{U_1'}{r_1+R_{并}}R_{并}=\frac{80}{3}\ \text{V}$，变压器输入功率为 $P_{入}=\frac{U_0^2}{R_{并}}=\frac{1\,600}{9}\ \text{W}$，**C 错误**；将等效电源 1、$R_L'=8\ \Omega$ 作为等效电源 2，则有 $U_2'=\frac{R_L'U_1'}{r_1+R_L'}=40\ \text{V}$，$r_2=\frac{r_1R_L'}{r_1+R_L'}=4\ \Omega$，$R_1=1\ \Omega$ 时，$R_1'=4\ \Omega=r_2$，R_1 消耗的电功率最大，$P_{1m}=\frac{U_2'^2}{4r_2}=100\ \text{W}$，**D 正确**.



6. C　【解析】设原线圈电流为 I_1、两端电压为 U_1，副线圈电流为 I_2、两端电压为 U_2，电源电压有效值为 $E=6\ \text{V}$，根据理想变压器规律$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}=\frac{1}{3}$，$\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}=3$，即 $U_2=3U_1$，$I_1=3I_2$，原线圈回路满足 $E=I_1R_0+U_1$，代入得 $U_2=(18-9I_2)\ \text{V}$（关键：原线圈回路中，U_1 为路端电压，E 为电源电动势，I_1 为干路电流，R_0 为电源内阻），滑片上移过程中，滑动变阻器接入电路的阻值 R 增大，副线圈回路总电阻增大，将变压器与负载等效为 $R'=\frac{n_1^2}{n_2^2}R$，则 R' 增大，根据 $I_1=\frac{E}{R_0+R'}$，I_1 减小，由$\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$可知，副线圈电流 I_2 减小，电流表示数减小，由 $U_2=(18-9I_2)\ \text{V}$ 可知 I_2 减小时 U_2 增大，即电压表示数增大，**A 正确**；由 $U_2=(18-9I_2)\ \text{V}$ 可得，变化量满足$\frac{\Delta U}{\Delta I}=\left|\frac{\Delta U_2}{\Delta I_2}\right|=9\ \Omega$，**B 正确**；滑片处于正中间时 $R=5\ \Omega$，副线圈回路满足 $U_2=I_2R$，联立 $U_2=(18-9I_2)\ \text{V}$ 解得 $I_2=\frac{9}{7}\ \text{A}\approx1.29\ \text{A}$，**C 错误**；等效电阻 $R'=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2R=\frac{R}{9}$，变压器输出功率等于等效电阻 R' 的功率，即 $P=\left(\frac{E}{R_0+R'}\right)^2R'$，当 $R'=R_0=1\ \Omega$ 时输出功率最大，此时$\frac{R}{9}=1\ \Omega$，解得 $R=9\ \Omega$，最

大功率 $P_{max}=\frac{E^2}{4R_0}=\frac{6^2}{4\times1}$ W=9 W，**D 正确**.

7. **C** 【解析】由变压器电压与匝数的关系得 V_2 示数 $U_2=\frac{n_2}{n_1}U_1$，电压表 V_1 示数 $U_1'=\frac{1}{n_1}U_1$（关键：V_1 所在副线圈为单匝线圈），由题图可得 $U_2>U_1'$，**A 错误**；根据电压关系 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$，由闭合电路欧姆定律可得 U_1 满足 $U_1=U-I_1R_1$，U_2 满足 $U_2=I_2R_2$，再联立电流关系 $\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$，可得 $U=I_1R_1+I_1\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2R_2$，则原线圈电流 $I_1=\frac{U}{R_1+\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2R_2}$，增大 R_2，则 I_1 减小，根据 $P=I_1^2R_1$ 可得 R_1 的功率减小，**B 错误**；增大 R_2 后 I_1 减小，由 $U_1=U-I_1R_1$ 可知 U_1 增大，V_1 示数 $U_1'=\frac{1}{n_1}U_1$ 增大，又 $U_2=\frac{n_2}{n_1}U_1$，因此 U_2 也增大，即 V_2 示数增大，两电压表示数均增大，**C 正确**；由 B 选项分析，可将变压器与负载等效为一个电阻 $R=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2R_2$，$R_2$ 的功率等于原线圈输入功率，可将 R_1 与交流电源等效为一个新的电源，原线圈输入功率为新电源输出功率，等效电源输出功率在 $R_1=R$ 时最大，因此增大 R_2 时，若 $R=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2R_2$ 初始小于 R_1，R_2 功率会先增大，不是一定减小，**D 错误**.

关键点