

I 上分攻略 高考物理

右加速,1~2 s 向右减速,2 s 时速度刚好减为 0,2 s 内物体一直向右运动, **B 正确**;第 3 s 内,物体从静止开始向右做匀加速运动,根据牛顿第二定律可得物体的加速度为 $a = \frac{F}{m} = 1 \text{ m/s}^2$,第 3 s 末速度为 $v = at_3 = 1 \text{ m/s}$,第 2 s 末物体的速度为零,第 3 秒内物体的位移为 $x = \frac{1}{2}at_3^2 = 0.5 \text{ m}$, **C 错误, D 正确**.

方法总结 $F-t$ 图像类问题,转化为 $a-t$ 图像,可再作出 $v-t$ 图像,从而分析物体的运动.

6. CD 【解析】由题图乙结合题意可得,游客下落 x_1 过程做自由落体运动,在 P 点时位移为 x_1 ,根据自由落体运动的规律有 $x_1 = \frac{1}{2}gt^2$,解得 $t = \sqrt{\frac{2x_1}{g}}$, **A 错误**;由题图乙可知,当位移为 x_2 时,游客的速度最大,根据 $v^2 = 2ax$ 可得 $ax = \frac{v^2}{2}$,故 $0 \sim x_2$ 过程图像与坐

关键点: 由解析式找面积的含义

标轴所围的面积为 $S = \frac{x_1 + x_2}{2}g = \frac{v_m^2}{2}$,可得 $v_m = \sqrt{(x_1 + x_2)g}$, **B 错误**; Q 点是最低点,加速度最大,由题图乙可得 $S = \frac{x_1 + x_2}{2}g = \frac{v_m^2}{2} =$

$\frac{1}{2}a_m(x_3 - x_2)$,解得 $a_m = \frac{x_1 + x_2}{x_3 - x_2}g$, **C 正确**;在位移为 x_2 时,有 $k(x_2 - x_1) = mg$,根据牛顿第二定律,在 Q 点有 $k(x_3 - x_1) - mg = ma_m$,联立得 $x_1^2 + x_3^2 = 2x_2x_3$, **D 正确**.

7. D 【解析】物块做初速度为零的匀加速直线运动,根据 $x = \frac{1}{2}at^2$,可得 $\frac{x}{t} = \frac{1}{2}at$,则题图甲的斜率 $k_{\text{甲}} = \frac{1}{2}a$,根据 $v^2 = 2ax$,可

关键点: 通过对应的函数关系式,找斜率的含义

得图乙的斜率 $k_{\text{乙}} = 2a$,则 $k_{\text{乙}} = 4k_{\text{甲}}$, **A 错误**;由题图乙可得 $k_{\text{乙}} =$

$\frac{20}{2} \text{ m/s}^2 = 10 \text{ m/s}^2$,由 $k_{\text{乙}} = 2a$,解得 $a = 5 \text{ m/s}^2$,根据牛顿第二定律可得 $F = ma = 0.5 \times 5 \text{ N} = 2.5 \text{ N}$, **B 错误**;第 2 s 末的速度为 $v = at = 5 \times 2 \text{ m/s} = 10 \text{ m/s}$, **C 错误**;设前 2 m 所需时间为 t_1 ,则 $x_1 = \frac{1}{2}at_1^2$,得 $t_1 = \sqrt{\frac{2x_1}{a}} = \sqrt{\frac{2 \times 2}{5}} \text{ s} = \frac{2\sqrt{5}}{5} \text{ s}$,前 2 m 的中间时刻的速度为 $v_1 = a \frac{t_1}{2} = 5 \times \frac{\sqrt{5}}{5} \text{ m/s} = \sqrt{5} \text{ m/s}$, **D 正确**.

方法总结 特殊图像类问题,通过对应的函数关系式,找斜率和截距的含义,从而找对相应的物理量,再进一步分析物体的运动情况.

8. BD 【解析】小球上升过程中有 $mg + kv = ma$,解得 $a = g + \frac{kv}{m}$,下降

过程有 $mg - kv = ma'$,解得 $a' = g - \frac{kv}{m}$,因此图线 1 为小球上升过程

易错点: 上升和下降过程中阻力方向变化

中的图像, **A 错误**; $v = 0$ 时小球上升到最高点,此时小球只受到重力,加速度为重力加速度,即 $a_0 = g$, **B 正确**;小球抛出时初速度大小为 v_2 ,有 $a_2 = g + \frac{kv_2}{m}$,图线的斜率大小为 $\frac{k}{m} = \frac{a_2 - a_0}{v_2}$,小球落回

抛出点时速度大小为 v_1 ,有 $a_1 = g - \frac{kv_1}{m}$,解得 $v_1 = \frac{a_0 - a_1}{a_2 - a_0}v_2$, **C 错误**;

上升过程取极短时间,由动量定理有 $-mg\Delta t - kv\Delta t = m\Delta v$,求和得

关键点: 微元法

$-\sum mg\Delta t - \sum kv\Delta t = \sum m\Delta v$,其中 $\sum kv\Delta t = \sum k\Delta x$,整理得 $-mgt_1 - kx = 0 - mv_2$,同理,下降到抛出点过程有 $\sum mg\Delta t - \sum kv\Delta t = \sum m\Delta v$,整理得 $mgt_2 - kx = mv_1 - 0$, x 为上升和下降到抛出点过程中的位移

大小,综合解得 $t = t_1 + t_2 = \frac{v_1 + v_2}{g} = \frac{a_2 - a_1}{a_0(a_2 - a_0)}v_2$, **D 正确**.

专题 4 曲线运动

考向 14 运动合成与分解

1. B 【解析】设水流速度为 v ,第一次以最短时间过河,则船头正对河对岸,有 $v_1 = v \tan \theta$,若 $\theta < 45^\circ$,则 $v_1 < v$,即第一次划船速度可

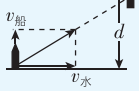
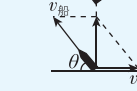
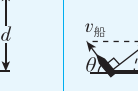
关键点: 船速垂直于河岸

能小于水流速度, **A 错误**;第二次以最短位移过河,则船头方向与 AB 垂直,则有 $v_2 = v \sin \theta < v$,即第二次划船速度一定小于水流速度,

关键点: AB 不与河岸垂直,则 $v_{\text{船}} < v_{\text{水}}$, $v_{\text{船}}$ 垂直于 AB ,合速度沿 AB 方向

B 正确;两次划船速度的大小之比为 $v_1 : v_2 = 1 : \cos \theta$, **C 错误**;两次划船的合速度大小分别为 $v_{\text{合}1} = \frac{v}{\cos \theta}$, $v_{\text{合}2} = v \cos \theta$,两次划船位移相同,则两次过河时间之比为 $t_1 : t_2 = v_{\text{合}2} : v_{\text{合}1} = \cos^2 \theta : 1$, **D 错误**.

关键点拨 小船渡河的情况

最短时间	最短位移	
	$v_{\text{船}} > v_{\text{水}}$	$v_{\text{船}} < v_{\text{水}}$
		
$t_{\min} = \frac{d}{v_{\text{船}}}$	$l_{\min} = d, \cos \theta = \frac{v_{\text{水}}}{v_{\text{船}}}$	$l_{\min} = d \cdot \frac{v_{\text{水}}}{v_{\text{船}}}, \cos \theta = \frac{v_{\text{水}}}{v_{\text{船}}}$

2. B 【解析】 P 点沿绳子方向的分速度和小船沿绳子方向的分速度相等,但垂直于绳子方向的分速度小于小船垂直于绳子方向的分速度

关键点: 沿绳方向速度相同

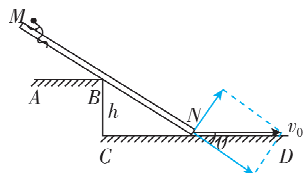
分速度,即合速度方向斜向上,如 B 选项所示. **B 正确**.

方法总结 绳联问题

通过绳相连的物体,沿绳方向速度相同,解题过程:找出合速度;分解合速度(沿绳和垂直于绳方向分解);通过沿绳方向速度相等列方程.

- 3. C** 【解析】将 N 端的速度 v_0 进行分解,设此时 v_0 与杆的夹角为 θ ,如图所示,则人的速度等于 v_0 沿杆的分量,即 $v_A = v_0 \cos \theta$,根据几何关系可得 $\cos \theta = \frac{2h}{\sqrt{(2h)^2 + h^2}} = \frac{2}{5}\sqrt{5}$,解得 $v_A = \frac{2}{5}\sqrt{5}v_0$, **C 正确**.

关键点:沿杆方向速度相同



方法总结 杆联问题

通过杆相连的物体,沿杆方向速度相同,解题过程:找出合速度;分解合速度(沿杆和垂直于杆方向分解);通过沿杆方向速度相等列方程.

- 4. BD** 【解析】设轻杆与竖直方向的夹角为 θ ,甲球的速度为 v_1 ,则甲球在沿杆方向的分速度为 $v_{1\text{杆}} = v_1 \cos \theta$,乙球的速度为 v_2 ,则乙球在沿杆方向的分速度为 $v_{2\text{杆}} = v_2 \sin \theta$,而 $v_{1\text{杆}} = v_{2\text{杆}}$,当乙球距离

关键点:沿杆方向速度相同

起点 3 m 时,有 $\cos \theta = \frac{\sqrt{7}}{4}$, $\sin \theta = \frac{3}{4}$,联立可得此时甲、乙两球的速度大小之比为 $\frac{v_1}{v_2} = \frac{3\sqrt{7}}{7}$, **A 错误, B 正确**;当甲球即将落地时,

有 $\theta = 90^\circ$,此时甲球的速度达到最大,而乙球的速度为零, **C 错误, D 正确**.

- 5. B** 【解析】物块 A 与小球 B 通过彼此之间的接触面发生速度关联,物块 A 的实际运动速度平行于斜面向下,小球 B 的实际运动速度垂直于轻杆向上,将 A 与 B 的实际运动速度沿平行于接触面(即竖直方向)以及垂直于接触面(即水平方向)进行分解, A 与 B 垂直于接触面方向的速度大小相等,则 $v_B \sin 2\theta = v \cos \theta$,解得 $v_B = \frac{v}{2 \sin \theta}$, **B 正确**.

方法总结 面联问题

通过面相连的物体,沿垂直于切面的方向速度相同,解题过程:找出两物体的合速度;分解合速度(沿面和垂直于面方向分解);通过垂直于切面方向速度相等列方程.

考向 15 抛体运动问题

- 1. C** 【解析】青蛙做平抛运动,竖直方向有 $h = \frac{1}{2}gt^2$,水平位移设为 x ,则初速度 $v = \frac{x}{t} = x\sqrt{\frac{g}{2h}}$,若以最小的初速度完成跳跃,即 v

最小,则应该使 x 最小、 h 最大,故青蛙应跳到荷叶 c 上, **C 正确**.

- 2. D** 【解析】网球两次在空中均只受重力,做匀变速运动, **A 正确**;设 A、A' 两点距离为 h ,第二次网球过 A 点后做平抛运动,有 $h =$

关键点:找位移的等量关系

$\frac{1}{2}gt_1^2$, $x = v_x t_1$,解得水平方向的速度为 $v_x = x\sqrt{\frac{g}{2h}}$,结合 $A'B =$

$2A'D$,可得第二次网球过 A 点的速度大小为 $v_x = \frac{1}{2}v_0$,则初速度

大小为 $v_2 = \frac{v_x}{\cos 53^\circ} = \frac{5v_0}{6}$, **B 正确**;第二次击出时,网球初速度竖直

分量 $v_y = v_2 \sin 53^\circ = \frac{2}{3}v_0$,网球从 C 点到 A 点的时间为 $t_2 = \frac{v_y}{g} =$

$\frac{2v_0}{3g}$, A、C 两点间的水平距离为 $\Delta x = v_x t_2 = \frac{v_0^2}{3g}$, **C 正确**;网球第二次

击出时有 $\frac{1}{4}h = \frac{v_y^2}{2g}$,即 $h = \frac{v_y^2}{2g} \times 4 = \frac{8v_0^2}{9g}$,第一次击出后网球落在 B

关键点: C 到 A, 竖直方向上为竖直上抛

点,竖直方向的速度为 $v_{By} = \sqrt{2gh} = \frac{4}{3}v_0$,又水平方向的速度为

$v_{Bx} = v_0$,故网球在 B 点的速度大小为 $v_B = \sqrt{v_{Bx}^2 + v_{By}^2} = \frac{5}{3}v_0$, **D 错**

误. D 符合题意.

关键点拨 斜抛运动:可以分解为水平方向上的匀速直线运动和竖直方向上的竖直上抛运动;小球从最高点以后的运动过程为平抛运动.

- 3. AC** 【解析】A 做平抛运动,加速度为 g , B 所受的合力为重力沿

斜面向下的分力,加速度为 $a = \frac{mg \sin \theta}{m} = g \sin \theta$, A 与 B 的加速度

大小之比为 $g : a = 1 : \sin \theta$, **A 正确**;设斜面高度为 h ,对 A 有 $h =$

$\frac{1}{2}gt_1^2$,对 B,沿斜面向下做匀加速直线运动,有 $\frac{h}{\sin \theta} = \frac{1}{2}g \sin \theta \cdot$

t_2^2 ,可得 $t_1 : t_2 = \sin \theta : 1$, **B 错误**;由 $x = v_0 t$, A 与 B 在 x 轴方向的

位移大小之比为 $x_1 : x_2 = t_1 : t_2 = \sin \theta : 1$, **C 正确**; A 的水平位移

大小为 x_1 , B 的水平位移大小为 $x_B = \sqrt{x_2^2 + \left(\frac{h}{\tan \theta}\right)^2} > x_2$, A 与 B

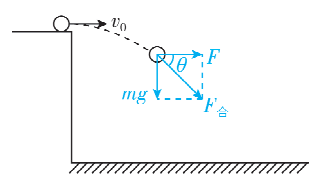
易错点: B 的水平位移不是沿 x 轴方向的位移

的水平位移大小之比不等于 $\sin \theta : 1$, **D 错误**.

关键点拨 类平抛运动的特点:沿初速度方向不受力,做匀速直线运动,垂直于初速度方向受恒定外力,做匀加速直线运动.

- 4. D** 【解析】小球在竖直方向的运动为自由落体运动,设小球下

突破点: 小球在竖直方向上只受重力作用



落的时间为 t_1 ,有 $h = \frac{1}{2}gt_1^2$,代入

数据解得 $t_1 = 2.5$ s,故 **A 错误**;运动 $t = 0.5$ s 后,小球竖直方向上

的速度为 $v_y = gt = 5 \text{ m/s}$, 此时速度与水平方向的夹角 α 满足 $\tan \alpha = \frac{v_y}{v_0} = 1$, 可得 $\alpha = 45^\circ$, 受风力之后小球的受力如图所示, 根据几何关系有 $\tan \theta = \frac{mg}{F} = 1$, 可得 $\theta = 45^\circ$, 由此可知, 施加风力之后, 小球的速度与加速度方向相同, 且所受合外力恒定, 即球受到风力作用后, 在落地前做匀加速直线运动, 故 **B 错误**; 受风力作用之后小球在水平方向做加速度为 $a = \frac{F}{m} = 10 \text{ m/s}^2$ 的匀加速直线运动, 落地时水平方向的速度大小为 $v_x = v_0 + a(t_1 - t) = 25 \text{ m/s}$, 从一开始, 小球在竖直方向上做匀加速直线运动, 落地时竖直方向的速度大小为 $v_y = gt_1 = 25 \text{ m/s}$, 则落地瞬间小球速度大小为 $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 25\sqrt{2} \text{ m/s}$, 故 **D 正确**; 小球的机械能的变化量等于除重力之外的其他外力做的功, 施加风力之后, 小球在水平方向上的位移为 $x = v_0(t_1 - t) + \frac{1}{2}a(t_1 - t)^2 = 30 \text{ m}$, 则风力做功为 $W = Fx = 150 \text{ J}$, 即从抛出至落地的过程中, 小球的机械能增加 150 J , 故 **C 错误**.

- 5. B 【解析】** 运动员做平抛运动, 设水平位移为 x , 竖直位移为 y , 则有 $x = v_0 t$, $y = \frac{1}{2}gt^2$, 由几何关系得 $\tan \theta = \frac{y}{x}$, 解得 $t = \frac{2v_0 \tan \theta}{g}$, **A 错误, B 正确**; 运动员的速度偏向角正切值 $\tan(\alpha + \theta) = \frac{v_y}{v_x} = \frac{gt}{v_0}$, 解得 $\tan(\alpha + \theta) = 2 \tan \theta$, 所以 α 不随 v_0 的变化而变化, **C、D 错误**.

快解 由平抛运动的推论知, 运动员落在同一斜面上, 速度偏向角与时间无关, **C、D 错误**.

- 6. A 【解析】** 由题意可知, 小球落到斜面上时, 将速度进行分解, 如图所示, 设小球从抛出到落到斜面上所用的时间为 t , 则小球落到斜面上时, 竖直方向的速度为 $v_y = gt$, 初速度为 $v_0 = \frac{v_y}{\tan \theta} = \frac{gt}{\tan \theta}$, 下落的高度为 $y = \frac{1}{2}gt^2$, 水平位移的大小为 $x = v_0 t = \frac{gt^2}{\tan \theta}$, 又 $\tan \theta = \frac{h-y}{x}$, 解得 $t = \sqrt{\frac{2h}{3g}}$, **A 正确, B、C、D 错误**.

- 7. B 【解析】** 设该运动员落到斜坡上经历的时间为 t , 由平抛运动的规律可得, 水平方向上的位移 $x = v_0 t$, 竖直方向的位移 $y = \frac{1}{2}gt^2$, 由几何关系可得 $x = \frac{h-y}{\tan 53^\circ}$, 运动员落到斜坡上时速度 v 满足 $v^2 = v_0^2 + (gt)^2$, 整理可得 $v = \sqrt{\frac{9h^2}{16t^2} + \frac{73g^2 t^2}{64} - \frac{9gh}{16}}$, 当 $\frac{9h^2}{16t^2} = \frac{73g^2 t^2}{64}$ 时, **关键点: 找出 v 的函数关系式**

速度 v 最小, 最小值为 $v_{\min} = \sqrt{2 \times \sqrt{\frac{9h^2}{16t^2} \times \frac{73g^2 t^2}{64} - \frac{9gh}{16}}} =$

$$\frac{1}{4} \sqrt{(3\sqrt{73}-9)gh}, \text{ B 正确.}$$

方法总结 求速度的最小值, 找出速度的函数表达式, 通过函数求极值的方法, 找最小值.

- 8. D 【解析】** 由平抛运动的规律可知, 小球从 A 点到 B 点的运动时间 $t = \frac{x}{v_0} = 0.4 \text{ s}$, 小球在 B 点时沿竖直方向的分速度大小 $v_y = gt$, 设小球运动到 B 点时的速度方向与水平方向的夹角为 θ , 有 $\tan \theta = \frac{v_y}{v_0}$, 小球从 A 点运动到 C 点的过程中机械能守恒, 有 $mg \left[\frac{1}{2}gt^2 + R(1 - \cos \theta) \right] = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$, 由向心力公式有 $F_N - mg = m \frac{v^2}{R}$, 解得 $F_N = 4.3 \text{ N}$, 根据牛顿第三定律可知, 小球在 C 点时对轨道的压力大小为 4.3 N , **D 正确**.

- 9. C 【解析】** 小球做平抛运动, 根据 $h = \frac{1}{2}gt^2$ 可知, 两过程中小球运动时间相同, **A 错误**; 根据 $\Delta v = gt$, 由于运动时间相同, 所以速度变化量也相同, **B 错误**; 设小球先后两次运动的水平位移分别为 x_1 和 x_2 , 由几何关系可知 $x_1 = R - \sqrt{R^2 - h^2}$, $x_2 = R + \sqrt{R^2 - h^2}$, 根据平抛运动规律, 可知 $x_1 = v_1 t$, $x_2 = v_2 t$, $h = \frac{1}{2}gt^2$, 联立可得 $v_1 + v_2 = 2R\sqrt{\frac{g}{2h}}$, **C 正确**; 若小球撞击 C 点时的速度方向与球面垂直, 则 C 点速度方向的反向延长线过圆心 O , 根据平抛运动的推论, 速度的反向延长线一定过水平位移的中点, 而 O 点不可能是水平位移的中点, 与假设相矛盾, 所以小球撞击 C 点时的速度方向与球面不垂直, **D 错误**.

- 10. D 【解析】** 网球做平抛运动, 竖直方向上有 $y_{OA} = \frac{1}{2}gt_A^2$, $y_{OB} = \frac{1}{2}gt_B^2$, 因 $OA = AB$, 故 $t_B = \sqrt{2}t_A$, 又水平方向上 $x = v_0 t_A$, $x = v_0 t_B$, 联立得 **关键点: 通过竖直位移确定时间关系**

立得击中 B 点的网球水平射出时的速度为 $v_{B0} = \frac{\sqrt{2}}{2}v_0$, **A、B 错误**; 要使原来击中 A 点的网球能击中 B 点, 运动时间变为原来的 $\sqrt{2}$ 倍, 所以水平距离也应变为原来的 $\sqrt{2}$ 倍, 即网球发球机应沿 OP 方向后退 $(\sqrt{2}-1)L$, **C 错误**; 要使原来击中 B 点的网球能击中 A 点, 运动时间变为原来的 $\frac{\sqrt{2}}{2}$ 倍, 所以水平距离也应变为原来的 $\frac{\sqrt{2}}{2}$ 倍, 即网球发球机应沿 OP 方向前进 $\left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2}\right)L$, **D 正确**.

- 11. AD 【解析】** 设 OO' 水平距离为 s , 飞镖的初速度为 v_0 , 击中墙面的速度为 v , 速度与竖直方向的夹角为 θ , 则 $\tan \theta = \frac{v_x}{v_y} = \frac{v_0}{gt}$, $s = v_0 t$, 联立解得 $v_0 = \sqrt{g s \tan \theta}$, 由于从同一位置 O 抛出, 故 s 相

同, $\theta_B > \theta_A$, 所以 $v_{OB} > v_{OA}$, **A 正确**; 击中墙面的速度大小为 $v = \frac{v_0}{\sin \theta} = \frac{\sqrt{gs \tan \theta}}{\sin \theta} = \sqrt{\frac{gs}{\sin \theta \cos \theta}} = \sqrt{\frac{2gs}{\sin 2\theta}}$, 由于 $\sin 120^\circ = \sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$, 则 $v_A = v_B$, **B 错误**; 竖直方向有 $h = \frac{1}{2}gt^2$, 解得 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$, 故两只飞镖的运动时间一定不相等, **C 错误**; 根据任意时刻速度的反向延长线一定经过此时沿抛出方向水平总位移的中点可知, 插在墙上的两只飞镖的反向延长线与 OO' 一定交于同一点, **D 正确**.

12. C 【解析】沙包被抛出后做平抛运动, 时间为 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$, 则教师抛出的沙包到达 C 点的时间较长, 可知教师应先抛出沙包才能与学生抛出的沙包在 C 点相遇, 若教师远离学生几步, 竖直高度并未发生变化, 故仍需要教师先抛出沙包, **A、D 错误**; 两沙包到 C 点的速度方向与竖直方向的夹角满足 $\tan \alpha = \frac{v_0}{v_y} = \frac{v_0}{\sqrt{2gh}}$, 则满足 $\frac{v_1}{\sqrt{2gH_{AC}}} = \frac{v_2}{\sqrt{2gH_{BC}}}$ 时, 两沙包到 C 点时的速度方向与竖直方向的夹角相等, **B 错误**; 已知高度差 H_{AC} 和 H_{BC} , 则教师抛出的沙包满足 $H_{AC} = \frac{1}{2}gt_1^2$ 且 $x_{AC} = v_1t_1$, 学生抛出的沙包满足 $H_{BC} = \frac{1}{2}gt_2^2$, 且 $x_{BC} = v_2t_2$, 故可由 $l_{AB} = \sqrt{(x_{BC} + x_{AC})^2 + (H_{AC} - H_{BC})^2}$, 求解 A、B 两点的距离, **C 正确**.

13. D 【解析】甲黄豆在 P 点的速度与乙黄豆在最高点的速度都等于各自运动过程中水平方向的分速度, 二者整个运动过程的水平位移和时间均相同, 故水平分速度相等, 则甲黄豆在 P 点的速度与乙黄豆在最高点的速度相等, **A 错误**; 设 $PM = MN = h$, 甲、乙两黄豆自射出后经时间 t 相遇, 对于甲黄豆有 $h = \frac{1}{2}gt^2$, 对于乙黄豆, 根据斜抛运动的对称性可知其从最高点 (设为 Q) 到 N 的运动时间为 $\frac{t}{2}$, 上升的最大高度为 $h' = \frac{1}{2}g\left(\frac{t}{2}\right)^2 = \frac{1}{4}h$, **B 错误**; 根据平抛运动规律的推论知, 甲黄豆到达 N 点时速度方向与水平方向的夹角 α_1 的正切值为位移方向与水平方向的夹角 θ_1 的正切值的 2 倍, 即 $\tan \alpha_1 = 2 \tan \theta_1 = 2 \frac{h}{h} = 2$, 乙黄豆到达 N 点时速度方向与水平方向的夹角 α_2 的正切值为相对于 Q 点的位移方向与水平方向的夹角 θ_2 的正切值的 2 倍, 即 $\tan \alpha_2 = 2 \tan \theta_2 = 2 \frac{h'}{h} = 1$, 联立解得 $\tan \alpha_1 = 2 \tan \alpha_2$, **C 错误**; 设甲、乙两黄豆在 N 点时的水平分速度大小均为 v_0 , 速度大小分别为 v_1 、 v_2 , 结合 C 项中分析可得 $v_1 = \sqrt{v_0^2 + (2v_0)^2} = \sqrt{5}v_0$, $v_2 = \sqrt{v_0^2 + v_0^2} = \sqrt{2}v_0$, 解得 $v_1 : v_2 = \sqrt{5} : \sqrt{2}$, **D 正确**.

14. AC 【解析】由平抛运动规律有 $x = v_0t$, $y = \frac{1}{2}gt^2$, 箭能命中目标的条件是 $H - h < y < H$, 解得这两支箭的初速度满足 $x \sqrt{\frac{g}{2H}} < v_0 < x \sqrt{\frac{g}{2(H-h)}}$, **A 正确, B 错误**; 船通过箭飞行的轨道平面需要的时间为 $\frac{L}{v}$, 第一支箭最早可以在船头到此轨道平面之前 $\sqrt{\frac{2H}{g}}$ 射出, 第二支箭最晚要在船尾到此轨道平面之前 $\sqrt{\frac{2(H-h)}{g}}$ 射出, 所以发射这两支箭的最大时间间隔为 $t_m = \frac{L}{v} + \sqrt{\frac{2H}{g}} - \sqrt{\frac{2(H-h)}{g}}$, **C 正确, D 错误**.

考向 16 圆周运动问题

1. A 【解析】大齿轮的线速度大小为 $v_1 = \frac{2\pi R_1}{t}$, 由题意, 大齿轮和中齿轮为同缘转动, 线速度大小相等, 即 $v_2 = v_1 = \frac{2\pi R_1}{t}$, 中齿轮和小齿轮是同轴传动, 角速度相等, 根据 $\omega = \frac{v}{r}$ 可得 $\frac{v_2}{R_2} = \frac{v_3}{R_3}$, 联立解得 $v_3 = \frac{2\pi R_1 R_3}{R_2 t}$, **A 正确**.

2. A 【解析】卷轴与细管同轴转动, 角速度相同, 当以速度 v 匀速拉动细绳, 且插销恰好位于端盖处时, 插销做匀速圆周运动的线速度大小为 $v_1 = \frac{l}{r}v$, 卷轴转动不停止时, 弹簧最大伸长量为 $\frac{l}{2}$, 根据牛顿第二定律有 $k \frac{l}{2} = m \frac{v_1^2}{l}$, 联立解得 $v = r \sqrt{\frac{k}{2m}}$, **A 正确**.

3. B 【解析】小物块绕 OO' 轴上等高位置做匀速圆周运动, 一定受重力、支持力, 可能受摩擦力, 若摩擦力为 0, 由牛顿第二定律得 $mg \tan 60^\circ = m\omega^2 R \sin 60^\circ$, 解得 $\omega = \sqrt{\frac{2g}{R}}$, 线速度大小为 $v = \omega R \sin 60^\circ = \sqrt{\frac{2g}{R}} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}R = \sqrt{\frac{3gR}{2}}$, 当小物块所受摩擦力不为 0 时, 角速度不等于 $\sqrt{\frac{2g}{R}}$, 小物块的线速度也不等于 $\sqrt{\frac{3gR}{2}}$, **A 错误, B 正确**; 当小物块所受摩擦力为 0 时, 其所受合力的大小为 $\sqrt{3}mg$, 所受陶罐壁弹力大小等于 $2mg$, 当所受摩擦力不为 0 时不成立, **C、D 错误**.

4. C 【解析】人做匀速圆周运动, 受力分析可知, 人在 A 位置处受到的摩擦力沿斜面向上, 根据牛顿第二定律有 $f_A - mg \sin \alpha = m\omega^2 R$, 人恰好不从圆盘滑出去, 可知 $f_A = \mu mg \cos \alpha = 2.5mg \sin \alpha$, **关键点: 人恰好不滑出去 → 摩擦力恰好达到最大静摩擦力**

解得 $m\omega^2 R = 1.5mg \sin \alpha$, 可知人在 B 位置处受到的摩擦力方向 **突破点: 人在 B 点的重力的分量不足以提供向心力** 沿斜面向下, 根据牛顿第二定律有 $mg \sin \alpha + f_B = m\omega^2 R$, 解得 $f_B = 0.5mg \sin \alpha$, A 点与 B 点人所受到的摩擦力大小之差为 $f_A - f_B =$

2. $5mgsin\alpha - 0.5mgsin\alpha = 2mgsin\alpha$, A、B 错误;人在 A 位置时,根据牛顿第二定律有 $f_A - mgsin\alpha = m\frac{v^2}{R}$,解得 $v = \sqrt{\frac{3gRsin\alpha}{2}}$, C 正确;因为人做匀速圆周运动,从 A 运动到 B,由动能定理有 $W_f - mg \cdot 2Rsin\alpha = 0$,解得 $W_f = 2mgRsin\alpha$, D 错误.

重难专项 5 竖直面内的圆周运动

1. D 【解析】小车做曲线运动,运动方向与轨迹相切,小车在 A、B 两点时,两点分别为轨道的最低点和最高点,切线沿水平方向,则小车运动方向沿水平方向,方向相同,小车的速率即速度大小也相同,所以小车在 A、B 两点速度相同, A 错误;小车做曲线运动,运动方向时刻改变,动量为矢量,方向与速度方向相同,所以

关键点: 动量为矢量,既有大小,又有方向

小车的动量大小不变,方向时刻改变, B 错误;小车在运动过程中动能不变,重力势能变化,所以机械能变化, C 错误;小车在 A、C 点时,根据牛顿第二定律有 $N - mg = m\frac{v^2}{r}$,解得 $N = mg + m\frac{v^2}{r}$,由题图可得小车在 A 点对应的圆周运动的半径更小,相同速率下,向心力更大,所以小车在 A 点时轨道对小车的支持力更大,而小车在 B、D 点时,根据牛顿第二定律有 $mg - N = m\frac{v^2}{r}$,解得 $N = mg - m\frac{v^2}{r}$,明显小于 A 点对应支持力,则根据牛顿第三定律可知,小车在 A 点时对轨道的压力最大, D 正确.

关键点拨 小车通过轨道最高点时,合力向下,支持力小于重力;小车通过轨道最低点时,合力向上,支持力大于重力.

2. (1) $Pt - mgh - \frac{1}{2}mv_0^2$ (2) $\frac{v_0^2}{g}$

【解析】(1)从开始运动到经过 A 点过程中,根据动能定理得 $Pt - mgh - W_f = \frac{1}{2}mv_0^2 - 0$,解得 $W_f = Pt - mgh - \frac{1}{2}mv_0^2$;

(2)假设圆弧的半径为 R,赛车在最高点 A 时重力和弹力的合力提供向心力,由牛顿第二定律得 $mg - N = m\frac{v_0^2}{R}$,当 $N = 0$ 时,圆弧的半径最小,解得等效圆弧的半径最小值为 $R = \frac{v_0^2}{g}$.

关键点: 支持力为 0 时,向心力最大,半径最小

3. ACD 【解析】当 $v^2 = 0$ 时,向心力为 0, $F_{T1} = mg$,结合题图乙可知 $F_{T1} = 10\text{ N}$,可得 $m = 1\text{ kg}$, A 正确;当 $v^2 = 10\text{ m}^2/\text{s}^2$ 时,由题图乙可知 $F_{T2} = 30\text{ N}$,根据牛顿第二定律,可得 $F_{T2} - mg = m\frac{v^2}{r}$,解得 $r = 0.5\text{ m}$, B 错误;小球做完整的圆周运动时,在最高点的临界速度

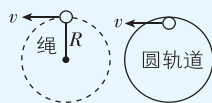
关键点: 小球通过最高点的临界情况为在最高点拉力为 0,重力提供向心力

满足 $mg = m\frac{v_{\text{临}}^2}{r}$,解得 $v_{\text{临}} = \sqrt{5}\text{ m/s}$,小球从最低点运动至最高点过程,由动能定理可得 $\frac{1}{2}mv_{\text{临}}^2 - \frac{1}{2}mv_{\text{最低点}}^2 = -2mgr$,解得 $v_{\text{最低点}}^2 =$

关键点: 单个物体考虑动能定理

$25\text{ m}^2/\text{s}^2$, C 正确;当 $v^2 = 30\text{ m}^2/\text{s}^2$ 时,根据动能定理有 $\frac{1}{2}mv_{\text{最高点}}^2 - \frac{1}{2}mv^2 = -2mgr$,又 $F_{\text{绳}} + mg = m\frac{v_{\text{最高点}}^2}{r}$,联立解得 $F_{\text{绳}} = 10\text{ N}$,即小球通过最高点时受到轻绳拉力的大小为 10 N, D 正确.

关键点拨 绳球模型



小球在最高点时,绳子只能提供拉力, $mg + F_{\text{绳}} = \frac{mv^2}{R}$;

小球通过最高点的临界特征为: $F_{\text{绳}} = 0$, $mg = m\frac{v_{\text{min}}^2}{R}$,通过最高点的的速度为 $v_{\text{min}} = \sqrt{gR}$.

4. D 【解析】小球在最高点 b 时,重力和细线拉力的合力提供向心力,加速度向下,小球处于失重状态, A 错误;小球在 a、c 两个位置时,细线拉力均处于水平方向,以人为研究对象,在竖直方向上根据平衡条件可得台秤对人的支持力大小为 $F_N = Mg = 500\text{ N}$,

关键点: 求压力需要分析人竖直方向受力

由牛顿第三定律可知人对台秤的压力大小为 500 N,则台秤示数为 500 N, B 错误;小球运动到点 c 时,绳子对小球的弹力水平向左,则绳子对人的拉力水平向右,所以台秤对演员的摩擦力水平向左, C 错误;设小球运动到最低点时速度大小为 v' ,小球从最高

关键点: 求摩擦力需要分析人水平方向受力

点运动到最低点的过程,由机械能守恒定律得 $\frac{1}{2}mv'^2 = \frac{1}{2}mv^2 + mg \cdot 2R$,小球在最低点时,由牛顿第二定律得 $T - mg = m\frac{v'^2}{R}$,小球

在最高点时,由牛顿第二定律得 $mg = m\frac{v^2}{R}$,以人为研究对象,由

关键点: 小球恰好做完整的圆周运动,则最高点绳子拉力为 0,重力提供向心力

平衡条件得 $Mg + T = F_{N1}$,解得台秤对人的支持力大小为 $F_{N1} = 800\text{ N}$,由牛顿第三定律可知,人对台秤的压力大小为 800 N,则台秤的示数为 800 N, D 正确.

5. D 【解析】小球恰好通过最高点时满足 $mg = m\frac{v'^2}{r}$,根据动能定理有

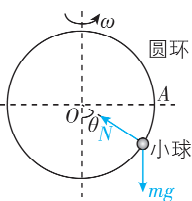
$mg \cdot 2r = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv'^2$,解得 $v_0 = \sqrt{5gr}$,若 $v = 2\sqrt{gr} < \sqrt{5gr}$,小球不能通过圆环最高点, A 错误;若 $v = 2\sqrt{gr}$,在最低点根据牛顿第二定律有 $F - mg = m\frac{v^2}{r}$,解得 $F = 5mg$, B 错误;若 $v = \sqrt{3gr} < \sqrt{5gr}$,设小球脱离圆环的位置与圆心的连线与水平方向的夹角为 θ ,则有 $mgsin\theta = m\frac{v'^2}{r}$,根据动能定理有 $-mgr(1 + sin\theta) = \frac{1}{2}mv'^2 - \frac{1}{2}mv^2$,解得 $sin\theta = \frac{1}{3}$, C 错误, D 正确.

6. D 【解析】小球在图示位置时的受力分析如图所示,小球所受

合外力提供向心力,即 $F_{\text{合}} = mg \tan \theta = m\omega^2 r$,

$r = R \sin \theta$, 联立以上两式解得 $\omega = \sqrt{\frac{g}{R \cos \theta}}$,

A、B 错误;若小球位于 A 点,则圆环对小球的支持力提供向心力,圆环对小球的静摩擦力与重力等大反向,即 $N = m\omega^2 R$, $\mu N \geq mg$, 联立解得 $\omega \geq \sqrt{\frac{g}{\mu R}}$, C 错误, D 正确。



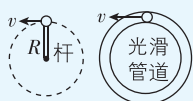
7. AC 【解析】由题图乙可知,当 $v_N^2 = c$ 时,小球经过 M 点时对管道作用力 $F=0$, A 正确;由题图乙可知,当 $v_N^2 = \sqrt{2}c$ 时,小球经过 M 点时对管道作用力 $F>0$,即 F 的方向竖直向上,小球对外管道壁有压力,对内管道壁无压力, B 错误;设小球做圆周运动的半径为 R,从最高点 M 到最低点 N,由动能定理得 $2mgR = \frac{1}{2}mv_N^2 - \frac{1}{2}mv_M^2$,当 $v_N^2 = c$ 时,代入上式可得 $v_M^2 = c - 4gR$,此时小球经过 M 点时对管道作用力为 $F=0$,则有 $mg = m \frac{v_M^2}{R} = m \frac{c - 4gR}{R}$,解得 $R = \frac{c}{5g}$, C 正确;小球经过 M 点时,由向心力公式有 $mg + F' = m \frac{v_M^2}{R}$,由

牛顿第三定律有 $F' = F$,结合 $2mgR = \frac{1}{2}mv_N^2 - \frac{1}{2}mv_M^2$,当 $v_N^2 = 0$ 时, $F = -b$,解得 $m = -\frac{b}{5g}$, D 错误。

【关键点】小球对管道作用力为 0,则重力提供向心力

【方法总结】物体通过圆周最低点、最高点时,利用合力提供向心力列牛顿第二定律方程;物体从某一位置到另一位置的过程中,用动能定理找出两位置间的速度关系;求对轨道的压力时,转换研究对象,先求物体所受支持力,再根据牛顿第三定律求出压力。

【关键点拨】杆球模型



小球在最高点时,杆既可以提供拉力,也可以提供支持力, $mg \pm F_{\text{杆}} = m \frac{v^2}{R}$.

小球恰好通过最高点时, $v=0$, $F_{\text{杆}} = mg$.

8. D 【解析】鼓形轮的角速度为 $\omega = \frac{v}{2R}$, A 错误;小球 C 所需的向心力大小为 $F = m \frac{v^2}{2R}$,若 $F = m \frac{v^2}{2R} > mg$,则杆对小球 C 的作用力竖直向下, B 错误;对于小球 D,竖直方向有 $F_y = mg$,水平方向有 $F_x = m \frac{v^2}{2R}$,则杆对小球 D 的作用力大小为 $F_D = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{m^2 \frac{v^2}{2R} + m^2 g^2}$, C 错误, D 正确。

【关键点】竖直方向合力为 0,水平方向合力为向心力

$\sqrt{(mg)^2 + \left(m \frac{v^2}{2R}\right)^2}$, C 错误;对于小球 A,根据牛顿第二定律可得 $F_A - mg = m \frac{v^2}{2R} > 0$,可知杆对小球 A 的作用力一定大于 mg , D 正确。

【关键点】合力指向圆心

D 正确。

重难点专项 6 水平面内的圆周运动

1. C 【解析】汽车在转弯过程中受到重力、支持力和摩擦力的作用,向心力只是效果力, A 错误;汽车在转弯过程中,加速度方向

【关键点】向心力是效果力,可以由重力、弹力、摩擦力等任何一力提供,也可以由几个力的合力或分力提供

时刻发生变化,不是做匀变速曲线运动, B 错误;指向圆心的最大静摩擦力提供向心力时,向心力最大,由牛顿第二定律可得

$\mu mg = m \frac{v_m^2}{r}$,则汽车在转弯过程中的最大允许速度为 $v_m = \sqrt{\mu gr} = \sqrt{0.3 \times 10 \times 6} \text{ m/s} = 3\sqrt{2} \text{ m/s}$, C 正确;汽车在泊车过程中摩擦力

不仅要改变汽车的速度大小,还要改变汽车的速度方向,所以摩擦力

【易错点】不能只考虑滑动摩擦力

的方向不是总与运动方向相反, D 错误。

【易错警示】忽视汽车所需的向心力由指向圆心的静摩擦力提供而错选 D。汽车除了受到与运动方向相反的滑动摩擦力外,还受到指向圆心的静摩擦力,摩擦力的合力与运动方向不在一条直线上。

2. A 【解析】对题图甲中 A、B 分析,设绳与竖直方向的夹角为 θ ,绳长为 l ,小球的质量为 m ,小球 A、B 到悬点 O 的竖直距离为 h ,

则 $mg \tan \theta = m\omega^2 l \sin \theta$,解得 $\omega = \sqrt{\frac{g}{l \cos \theta}} = \sqrt{\frac{g}{h}}$,所以小球 A、B

【关键点】确定向心力和圆轨道半径

的角速度相等, A 正确, B 错误;对题图乙中 C、D 分析,设绳与竖直方向的夹角为 α ,小球的质量为 m ,绳上拉力大小为 T ,则有

$T \cos \alpha = mg$,解得 $T = \frac{mg}{\cos \alpha}$,所以小球 C、D 受到绳的拉力大小相等, D、C 错误。

关键点拨 圆锥摆模型

向心力 $F_{\text{向}} = mg \tan \theta = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r$,且 $r = L \sin \theta$,联立解得 $v = \sqrt{gL \tan \theta \sin \theta}$, $\omega = \sqrt{\frac{g}{L \cos \theta}}$.

【关键点】确定向心力和轨道平面半径



3. D 【解析】飞椅匀速旋转的过程中,游客所受合力提供向心力,不为零, A 错误;设转盘的半径为 R ,则游客做匀速圆周运动的轨道半径 $r = R + L \sin \theta$,对游客有 $mg \tan \theta = m\omega^2 r$,即 $g \tan \theta = \omega^2 (R + L \sin \theta)$,整理可得 $\cos \theta = \frac{g}{\omega^2 (L + \frac{R}{\sin \theta})}$,可知 θ 与 m 无关, B、C 错误, D 正确。

【关键点】确定向心力和轨道平面半径

【方法总结】物体通过圆周最低点、最高点时,利用合力提供向心力列牛顿第二定律方程;物体从某一位置到另一位置的过程中,用动能定理找出两位置间的速度关系;求对轨道的压力时,转换研究对象,先求物体所受支持力,再根据牛顿第三定律求出压力。

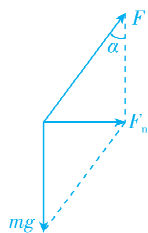
误;飞椅匀速旋转的角速度越大,角度 θ 就越大,向心力 $mg \tan \theta$ 越大,游客所受的合力越大,D 正确。

4. C 【解析】A、B 两球受到重力和支持力的作用,向心力是指向圆心的合力,不能说受到向心力,A 错误;A、B 两球受到的支持力方向垂直于内壁斜向上,不是指向圆周的圆心,B 错误;对两球进行受力分析,根据牛顿第二定律,有 $\frac{mg}{\tan \alpha} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$,可得 $T = 2\pi \sqrt{\frac{r \tan \alpha}{g}}$,

关键点:重力和支持力指向圆心的合力提供向心力

可知轨道半径 r 越大,周期越大,故 A 球的转动周期大于 B 球的转动周期,C 正确;对两球受力分析,支持力在竖直方向的分力与重力平衡,可知 A、B 球受到的漏斗壁的支持力大小均为 $F_N = \frac{mg}{\sin \alpha}$,由牛顿第三定律可知,A、B 球对漏斗壁的压力大小均为 $\frac{mg}{\sin \alpha}$,D 错误。

5. BD 【解析】杂技演员和摩托车做匀速圆周运动,合外力不为零,A 错误;作出受力图如图所示,则合力提供向心力,根据牛顿第二定律得 $mg \tan \alpha = m \frac{v^2}{R}$,解得 $v = \sqrt{gR \tan \alpha}$,H 越高,R 越大,则 v 越



大,B 正确;根据题意,由平衡条件可得 $F = \frac{mg}{\cos \alpha}$,

关键点:竖直方向合力始终为 0,故不同位置支持力大小相同

由牛顿第三定律可知,摩托车对侧壁的压力大小 $F' = F = \frac{mg}{\cos \alpha}$,则摩托车对侧壁的压力 F' 与 H 无关,C 错误;由牛顿第二定律有 $mg \tan \alpha = m \omega^2 R$,解得 $\omega = \sqrt{\frac{g \tan \alpha}{R}}$,D 正确。

方法总结 圆锥筒问题中, θ 不变,物体对侧壁的压力不变,做匀速圆周运动的加速度不变,h 越高,r 越大,物体做匀速圆周运动的周期越大,角速度越小,线速度越大。

6. D 【解析】离轴 OO' 最远的陶屑其受到的静摩擦力为最大静摩擦力,根据牛顿第二定律得 $\mu mg = m \omega^2 R$,则陶屑做圆周运动的最大半径为 $R = \frac{\mu g}{\omega^2}$, μ 与 ω 均一定,则 R 为定值,即离轴最远的陶屑距离不超过 R,D 正确;因与台面相对静止的这些陶屑的角速度相同,与台面相对静止的陶屑离轴 OO' 的距离与陶屑质量无关,只要在台面上不发生相对滑动的位置都有陶屑,A、B、C 错误。

7. D 【解析】PQ 间的距离为 $2l_0$,而弹簧的原长为 l_0 ,故弹簧的弹力为 $F = kl_0$,根据合力与分力构成的矢量三角形分析可知,静摩擦力沿轨迹切线时具有最小值,与弹簧弹力沿轨迹切线方向的分力平衡,为 $f_{\min} = F \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}kl_0}{2}$,此时物块随圆盘转动需要的向心力由弹力沿半径方向的分力提供 $F_{n1} = m \omega^2 \cdot 2l_0 = F \sin 30^\circ =$

$\frac{kl_0}{2}$,解得 $\omega = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{k}{m}}$,A 错误;当 $\omega = \sqrt{\frac{k}{3m}}$ 时,可得物块随圆盘转动需要的向心力为 $F_{n2} = m \omega^2 \cdot 2l_0 = \frac{2kl_0}{3}$,由力的三角形可知静摩

擦力不等于弹簧的弹力,B 错误;当 $\omega = \sqrt{\frac{k}{2m}}$ 时,可得两物块随圆盘转动需要的向心力大小为 $F_{n3} = m \omega^2 \cdot 2l_0 = kl_0$,由力的三角形可知静摩擦力等于 $kl_0 < \sqrt{3}kl_0$,此时两物块还未与圆盘发生相对滑动,两物块所受的合力大小均为 kl_0 ,C 错误;静摩擦力达到最大时,恰好最大静摩擦力与弹力垂直,此时 $F_{n4} = m \omega^2 \cdot 2l_0 = \frac{kl_0}{\cos 60^\circ} = 2kl_0$,解得 $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$,D 正确。

关键点拨 如果除摩擦力以外还有其他力,如绳两端连接物体随水平面转动,其中一个物体存在一个恰不向内滑动的临界条件和一个恰不向外滑动的临界条件,分别为静摩擦力达到最大且静摩擦力的方向沿半径背离圆心和沿半径指向圆心。

8. BC 【解析】物块在圆盘上受到重力、圆盘的支持力和摩擦力,合力提供向心力,可知当物块转到圆盘的最低点,所受的静摩擦力沿斜面向上达到最大时,角速度最大,由牛顿第二定律得

关键点:转动过程中,物块在最低点摩擦力最大

$\mu mg \cos 30^\circ - mg \sin 30^\circ = m \omega_0^2 L$,解得 $g = 4 \omega_0^2 L$,物块在最高点时,假设摩擦力沿盘面向上,根据牛顿第二定律有 $mg \sin 30^\circ - F_f = m \omega_0^2 L$,解得 $F_f = m \omega_0^2 L$,假设正确,摩擦力方向沿盘面向上,A 错误,B 正确;第一宇宙速度符合 $mg = m \frac{v^2}{R}$,解得 $v = \sqrt{gR} = 2 \omega_0 \sqrt{RL}$,C 正确;由该行星表面的物体受到的万有引力提供重力有 $G \frac{Mm}{R^2} = mg$,联立可求得该行星的质量为 $M = \frac{gR^2}{G} = \frac{4 \omega_0^2 R^2 L}{G}$,所以密度为 $\rho = \frac{M}{V} = \frac{M}{\frac{4}{3} \pi R^3} = \frac{3 \omega_0^2 L}{G \pi R}$,D 错误。

9. ABC 【解析】小环的运动可以分解为水平方向的圆周运动和沿轨道斜向下的匀加速直线运动,小环运动过程中重力做正功,速度逐渐增大,水平方向的分速度也增大,向心加速度逐渐增大,故在运动过程中小环加速度越来越大,A 正确;小环的运动可等效为沿长为 $2\pi nr$ 、高度为 nd 的倾斜光滑轨道的运动,在整个运动过程中小环的路程为 $s = n \sqrt{(2\pi r)^2 + d^2} > 2\pi nr$,根据运动学公式可得 $s = \frac{1}{2} at^2$,等效加速度为 $a = g \sin \theta = \frac{gd}{\sqrt{(2\pi r)^2 + d^2}}$,联立解得小环从顶端到底端的运动时间为 $t = \sqrt{\frac{2n(4\pi^2 r^2 + d^2)}{gd}}$,B、C 正确,D 错误。