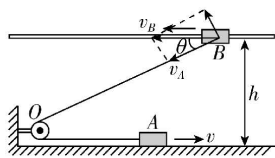


2. CD 【解析】水滴随 B 物体一起向左水平运动,其脱离 B 物体后做平抛运动, **A 错误**. 水滴与 B 分离时的速度和 B 物体速度相同,如图所示,由运动的合成与分解可知 $v_B = \frac{v_A}{\cos \theta} = \frac{v}{\cos \theta}$,当 $\theta = 30^\circ$ 时, $v_B = \frac{2\sqrt{3}v}{3}$,故 $v_B = \frac{2\sqrt{3}}{3}v$, **B 错误**. 水滴脱离 B 物体后竖直方向做自由落体运动,由 $h = \frac{1}{2}gt^2$ 可得 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$, **C 正确**. 水

滴落地时竖直方向的速度为 $v_y = \sqrt{2gh}$,落地时的速度大小为

$$v_1 = \sqrt{v_B^2 + v_y^2} = \sqrt{\frac{4v^2}{3} + 2gh}, \text{D 正确.}$$



第3章 圆周运动

第1节 匀速圆周运动快慢的描述

刷基础

1. BD 【解析】做匀速圆周运动的物体线速度方向不断变化,一定有加速度,因此合力不可能为0,故 **A 错误**;根据 $v = \frac{\Delta l}{\Delta t}$,可知做匀速圆周运动的物体在相等的时间内运动的弧长相等,转过的角度相等,位移大小相等,但位移方向不一定相同,故 **B 正确, C 错误**;由匀速圆周运动特点可知,做匀速圆周运动的物体线速度大小不变,故 **D 正确**.

注意说明 做匀速圆周运动的物体线速度大小不变,方向时刻改变,角速度不变,周期不变.

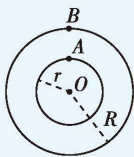
2. C

模型构建

同轴转动

(1) 特点:角速度相同、周期相同、转速相同、转动方向相同;

(2) 线速度大小与半径成正比: $\frac{v_A}{v_B} = \frac{r}{R}$.



【解析】由题意可知, M 、 N 两点为同轴转动,所以角速度相等,故 **A、B 错误**; M 点的转动半径小于 N 点的转动半径,根据 $v = \omega r$ 可知 M 点的线速度比 N 点的线速度小,故 **C 正确, D 错误**.

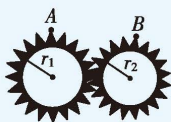
3. AD

模型构建

齿轮传动

(1) 特点:齿轮边缘线速度大小相等,转动方向相反;

(2) 角速度与半径成反比: $\frac{\omega_A}{\omega_B} = \frac{r_2}{r_1}$.



【解析】在齿轮传动中,三个齿轮的边缘线速度大小相等,故小齿轮边缘的 A 点和大齿轮边缘的 B 点线速度大小之比为 $1:1$,故 **A 正确**;三个齿轮边缘线速度大小相等,根据 $v = \omega r$ 可知,角速度 $\omega_A : \omega_B = \frac{v}{r_A} : \frac{v}{r_B} = 3:1$,故 **B 错误**;根据 $T = \frac{2\pi r}{v}$ 可知,周期之比为 $\frac{T_A}{T_B} = \frac{r_A}{r_B} = \frac{1}{3}$,故 **C 错误**;根据 $n = f = \frac{1}{T}$ 可知,转速之比为 $\frac{n_A}{n_B} = \frac{T_B}{T_A} = \frac{3}{1}$,故 **D 正确**.

方法总结 解决此类问题时需区分题目属于哪种传动模型.若为同轴转动,则各点角速度相等;若为链条(齿轮或传送带)传动,则链条(齿轮或传送带)边缘上各点的线速度大小相等;若靠摩擦传动,则相切点线速度大小相等.

4. C 【解析】刀盘工作时的角速度为 $\omega = 2\pi n = \frac{2\pi \times 5}{60} \text{ rad/s} =$

易错点: 注意单位

$\frac{\pi}{6} \text{ rad/s}$, **A 错误**;刀盘边缘的线速度大小约为 $v = \omega r = \frac{\pi}{6} \times$

$8 \text{ m/s} = 4.2 \text{ m/s}$, **B 错误**;刀盘旋转的周期为 $T = \frac{2\pi}{\omega} = 12 \text{ s}$,

C 正确;刀盘上所有刀片的角速度都相同,各刀片末端的半径也相同,根据公式 $v = \omega r$ 可知,各刀片末端的线速度大小相等,但是方向不同,故线速度不同, **D 错误**.

易错点: 线速度为矢量,既有大小,又有方向

5. D 【解析】由几何知识可知,小球做匀速圆周运动的半径为

关键点: 小球与手为同轴转动

$r = \sqrt{L^2 + R^2}$,则小球做匀速圆周运动的线速度大小为 $v = \omega r = \omega \sqrt{L^2 + R^2}$, **D 正确**.

刷易错

★易错点 忽略圆周运动问题的周期性

6. AD 【解析】飞镖水平抛出后做平抛运动,在水平方向做匀速直线运动,则有 $t = \frac{L}{v_0}$,故 **A 正确**;分析可知,飞镖击中 P 点时,

P 点恰好在圆盘最下端,有 $2r = \frac{1}{2}gt^2$,解得圆盘的半径 $r = \frac{gL^2}{4v_0^2}$,

故 **B 错误**;飞镖击中 P 点,则 P 点转过的角度满足 $\theta = \omega t = \pi + 2k\pi (k=0, 1, 2, \dots)$,可得 $\omega = \frac{(2k+1)\pi v_0}{L} (k=0, 1, 2, \dots)$,则

圆盘转动角速度的最小值为 $\frac{\pi v_0}{L}$,故 **C 错误**; P 点随圆盘转动

的线速度大小 $v = \omega r = \frac{(2k+1)\pi v_0}{L} \times \frac{gL^2}{4v_0^2} = \frac{(2k+1)\pi gL}{4v_0} (k=0, 1,$

$2, \dots)$,当 $k=2$ 时, $v = \frac{5\pi gL}{4v_0}$,故 **D 正确**.

关键点拨 飞镖做平抛运动的同时,圆盘上的 P 点做匀速圆周运动,恰好击中 P 点,说明 P 点正好在圆盘最下端被击中,则 P 点转过的角度满足 $\theta = \pi + 2k\pi (k=0, 1, 2, \dots)$,根据平抛运动水平位移求得飞镖击中 P 点的时间,与 P 点转动到圆盘最下端所用的时间相等这一条件联立可解答本题.

易错分析 此类问题易由于考虑不到圆周运动具有周期性造成漏解.在解题时要先根据周期性写出圆周运动物理量表达式的通式,再根据题目要求进行判定.

刷提升

1. BD 【解析】由题可知,货物与滚筒间不打滑,所以货物的线速度与滚筒的线速度大小相等,滚筒内外两端的角速度大小相等,由于外侧比内侧半径大,故外侧比内侧线速度大,故 **A 错误, B 正确**;单个圆锥形滚筒滚动时内外两端角速度大小

相等,即 $\frac{\omega_1}{\omega_2}=\frac{1}{1}$,故 C 错误;单个圆锥形滚筒滚动时内外两端角速度大小相等,线速度大小之比 $\frac{v_1}{v_2}=\frac{\omega R_1}{\omega R_2}=\frac{r_1}{r_2}$,可得内外两端横截面的半径之比 $\frac{R_1}{R_2}=\frac{r_1}{r_2}$,故 D 正确。

2. B 【解析】磁头在内圈磁道与外圈磁道为同轴转动,角速度 ω 相等,由于外圈磁道的半径大于内圈磁道的半径,根据 $v=\omega r$,可知线速度大小不相等,A 错误;计算机每秒最多可以从一个盘面上读取 n 个字节,每个扇区可以记录 b 个字节,则一个扇区通过磁头所用时间至少为 $\frac{b}{n}$,计算机读完整个硬盘的时间至少为 $\frac{mab}{n}$,B 正确,C 错误;每一个扇区所占的圆心角为 $\frac{2\pi}{n}$,则硬盘转动的角速度至多为 $\omega=\frac{\theta}{t}=\frac{\frac{2\pi}{n}}{\frac{mab}{n}}=\frac{2\pi n}{ab}$,D 错误。

→ 关键点: 同轴转动角速度相等

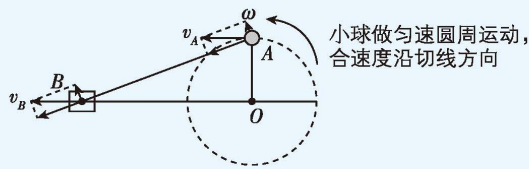
可知线速度大小不相等,A 错误;计算机每秒最多可以从一个盘面上读取 n 个字节,每个扇区可以记录 b 个字节,则一个扇区通过磁头所用时间至少为 $\frac{b}{n}$,计算机读完整个硬盘的时间至少为 $\frac{mab}{n}$,B 正确,C 错误;每一个扇区所占的圆心角为 $\frac{2\pi}{n}$,则硬盘转动的角速度至多为 $\omega=\frac{\theta}{t}=\frac{\frac{2\pi}{n}}{\frac{mab}{n}}=\frac{2\pi n}{ab}$,D 错误。

则硬盘转动的角速度至多为 $\omega=\frac{\theta}{t}=\frac{\frac{2\pi}{n}}{\frac{mab}{n}}=\frac{2\pi n}{ab}$,D 错误。

3. C

题图剖析

分别找出小球、滑块的合速度,沿杆和垂直于杆进行分解,沿杆方向速度相同。



【解析】当连杆 AO 与 OB 垂直时,由几何关系可知 $\angle ABO=30^\circ$,将滑块的速度 v_B 、小球速度 v_A 均沿杆 AB 方向和垂直于杆 AB 方向分解,有 $v_B \cos 30^\circ=v_A \cos 30^\circ$,因为 $v_A=\omega L$,联立

解得 $v_B=\omega L$,故选 C。

4. AC

思路引导 齿与齿之间的距离相等,故齿数与轮的周长成正比,而周长 $L=2\pi r$,所以不同轮的半径之比等于齿数之比。

【解析】A 轮分别与 C 轮、D 轮组合,该车可有两种速度,B 轮分别与 C 轮、D 轮组合,该车又有两种速度,所以该车可变换四种不同挡位,故 A 正确,B 错误;该传动装置中边缘的线速度大小相等,当 A 轮与 C 轮组合时,两轮边缘的线速度大小相等,两轮的角速度之比为 $\omega_A:\omega_C=r_C:r_A=N_C:N_A=16:48=1:3$,故 C 正确,D 错误。

关键点拨 同轴转动、皮带传动、齿轮传动的比较

同轴转动	皮带传动	齿轮传动
角速度、周期相同	轮缘线速度大小相等	轮缘线速度大小相等
转动方向相同	转动方向相同或相反	转动方向相反
线速度与半径成正比, $\frac{v_A}{v_B}=\frac{r}{R}$	角速度与半径成反比, $\frac{\omega_A}{\omega_B}=\frac{r}{R}$	角速度与半径成反比, $\frac{\omega_A}{\omega_B}=\frac{r}{R}$

5. D

【解析】小球 A 和 B 点的运动为同轴转动,所以 A、B 具有相同的角速度,即 $\omega_A=\omega_B$,根据 $v=r\omega$ 知,A 的线速度大于 B 点的线速度,故 A、B 错误;当物块以速度 v 向右运动至杆与水平方向夹角为 θ 时,B 点的线速度等于物块的速度在垂直于轻杆方向上的分速度,即 $v_B=v_2=v \sin \theta$,则小球 A 转动的角速度 $\omega_A=\omega_B=\frac{v_B}{r_{OB}}=\frac{v \sin^2 \theta}{h}$,小球 A 的线速度大小 $v_A=L\omega_A=\frac{vL \sin^2 \theta}{h}$,故 C 错误,D 正确。

→ 突破点: 关联速度

小球 A 的线速度大小 $v_A=L\omega_A=\frac{vL \sin^2 \theta}{h}$,故 C 错误,D 正确。

方法总结

本题为圆周运动和关联速度的综合,注意将物块的速度沿杆方向和垂直于杆方向分解,在垂直于杆方向上的速度等于 B 点绕 O 点转动的线速度,根据 $v=r\omega$ 求出杆转动的角速度,再根据杆的角速度和小球 A 的转动半径求出小球 A 的线速度大小。

6. BD

【解析】小球做平抛运动,由 $H=\frac{1}{2}gt^2$ 可得小球下落的时间为 $t=\sqrt{\frac{2H}{g}}$,小球的初速度大小为 $v_0=\frac{R}{t}=R\sqrt{\frac{g}{2H}}$,故 A 错误,B 正确;在小球下落的这段时间内,圆盘转过的角度为 $\theta=2n\pi+\frac{3\pi}{2}(n=0,1,2,\dots)$,所以圆盘的角速度大小为 $\omega=\frac{\theta}{t}=\frac{4n\pi+3\pi}{2}\sqrt{\frac{g}{2H}}(n=0,1,2,\dots)$,当 $n=0$ 时, $\omega=\frac{3\pi}{2}\sqrt{\frac{g}{2H}}$,当 $n=1$ 时, $\omega=\frac{7\pi}{2}\sqrt{\frac{g}{2H}}$,故 C 错误,D 正确。

→ 关键点: 注意圆盘顺时针转动

当 $n=0$ 时, $\omega=\frac{3\pi}{2}\sqrt{\frac{g}{2H}}$,当 $n=1$ 时, $\omega=\frac{7\pi}{2}\sqrt{\frac{g}{2H}}$,故 C 错误,D 正确。

教材变式

本题目由教材 P65 第 6 题演变而来,两者的区别在于:教材中的条件为“小球抛出的方向与 OA 平行”,而本题的条件为“小球抛出的方向与 OB 垂直”,比教材中的题目稍微复杂。

7. B

【解析】圆盘转两圈时,小球 C 下降的位移为 $x=2\times 2\pi R=4\pi R$,根据位移—时间公式有 $x=\frac{1}{2}\times \frac{1}{3}gt^2$,解得圆盘转两圈所用的时间为 $t=2\sqrt{\frac{6\pi R}{g}}$,A 错误;此时小球 C 的速度大小为 $v=\frac{1}{3}gt=\frac{2}{3}\sqrt{6\pi gR}$,则圆盘和小球 A 的角速度大小为 $\omega=\frac{v}{R}=\frac{2}{3}\sqrt{\frac{6\pi g}{R}}$,B 正确,C 错误;小球 B 的角速度大小也为 $\frac{2}{3}\sqrt{\frac{6\pi g}{R}}$,D 错误。

→ 关键点: 圆盘和小球 A、B 为同轴转动,圆盘的角速度与小球 A、B 的角速度相等

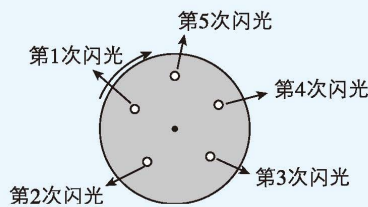
则小球 B 的线速度大小为 $v_B=\omega\cdot 2R=\frac{4}{3}\sqrt{6\pi gR}$,D 错误。

素养

8. B

题图剖析

每相邻两次闪光之间,圆盘转过 $\frac{4}{5}$ 圈。



高中必刷题 物理

【解析】根据题意可知,白点转动的频率为 $f_0 = 20 \text{ Hz}$,在暗室中用每秒闪光 25 次的频闪光源照射圆盘,频闪光源的频率 $f' = 25 \text{ Hz}$,由于 $f_0 < f' < 2f_0$,所以观察到白点逆时针旋转,相对频率为 $f'' = f' - f_0 = 25 \text{ Hz} - 20 \text{ Hz} = 5 \text{ Hz}$,故白点逆时针旋转的周期为 $T'' = \frac{1}{f''} = \frac{1}{5} \text{ s} = 0.2 \text{ s}$, **B 正确**。

9. C 【解析】车轮有 3 根辐条,相邻两根辐条夹角为 $\frac{2\pi}{3}$,如果 $\frac{1}{24} \text{ s}$ 车轮刚好转过 $\frac{2\pi}{3}$,那么我们会觉得车轮没有转,或者 $\frac{1}{24} \text{ s}$ 刚好转过 $\frac{2\pi}{3}$ 的整数倍,那么我们也会觉得车轮没有转,

易错点:容易忽视圆周运动的周期性

同理,若 $\frac{1}{24} \text{ s}$ 车轮转过的角度比 $\frac{2\pi}{3}$ 小一些,则会感觉车轮在倒转, **A 错误**;当感觉车轮不转动时,说明在 $\frac{1}{24} \text{ s}$ 内,每根辐条转过的角度应满足 $\theta = k \cdot \frac{2\pi}{3} (k=1, 2, 3, \dots)$,此时车轮转速为 $n = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{\theta}{2\pi t} = \frac{24\theta}{2\pi} = 8k \text{ r/s} (k=1, 2, 3, \dots)$, **B 错误**;若看到画面上有 6 根辐条,则说明每次切换画面时,即在 $\frac{1}{24} \text{ s}$ 内,每根辐条转过的角度为 $\frac{\pi}{3}$ 的奇数倍,则有 $\theta_1 = (2k+1) \cdot \frac{\pi}{3} (k=0, 1, 2, \dots)$,此时车轮角速度为 $\omega_1 = \frac{\theta_1}{t} = 8(2k+1) \cdot \pi \text{ rad/s} (k=0, 1, 2, \dots)$,则车速为 $v = \omega_1 r = 4(2k+1) \pi \text{ m/s} (k=0, 1, 2, \dots)$,当 $k=1$ 时,可得 $v = 12\pi \text{ m/s}$, **C 正确, D 错误**。

第2节 科学探究:向心力

课时1 向心力

刷基础

1. D 【解析】向心力总是沿半径指向圆心,其大小随着线速度大小的变化而变化,方向时刻变化,向心力一定是一个变力,向心力可以是某一个力,也可以是某几个力的合力,还可以是某一个力的分力,它是效果力,向心力的方向始终与速度方向垂直,只改变速度的方向,不改变速度的大小,故 **A、B、C 错误, D 正确**。

2. C 【解析】物块做匀速圆周运动,向心力大小始终不变,根据牛顿第二定律,在 c 点有 $mg - F_{Nc} = F_{向}$,解得 $F_{Nc} = mg - F_{向}$,在 d 点有 $F_{Nd} - mg = F_{向}$,解得 $F_{Nd} = F_{向} + mg \neq F_{Nc}$,故 **A、D 错误**;物块所受合外力提供向心力,大小不变,但方向始终变化,故 **B 错误**;物块所受重力和支持力始终在竖直方向,而向心力方向始终指向圆心,只有在 $c、d$ 两点,仅靠重力和支持力的合力就可以提供向心力,而在 $c、d$ 两点外,物块都要受摩擦力,才能使合外力指向圆心,故 **C 正确**。

3. A 【解析】小球做匀速圆周运动,合力完全提供向心力,锥形圆筒内壁光滑,对小球受力分析,可知小球受重力和支持力,则小球所受重力和支持力的合力提供向心力。故选 **A**。

4. (1) B (2) — (3) 3:1

【解析】(1)探究向心力与质量、运动半径、角速度之间的关系时,先控制其他物理量不变,分别探究向心力与其中一个物理量的关系,采用的实验方法是控制变量法。

(2)若要探究向心力的大小 F 与运动半径 r 的关系,需要控

制质量和角速度一定,可以将相同的小球分别放在挡板 C 和挡板 B 处,将传动皮带置于第一层。

(3)小明同学将质量为 m_1 和 m_2 的小球分别放在 $B、C$ 位置,则小球做圆周运动的半径之比为 $r_1 : r_2 = 2 : 1$,传动皮带位于第三层,此时左右塔轮边缘的线速度大小相等,则小球的角速度之比为 $\omega_1 : \omega_2 = R_3 : 3R_3 = 1 : 3$,当塔轮匀速转动时,

关键点:线速度大小相等时,角速度与转动半径成反比

通过左右两标尺露出的格子数得到左右两小球所受向心力的大小之比为 $2 : 3$,则有 $F_1 : F_2 = 2 : 3$,根据 $F = m\omega^2 r$,可得

$$m_1 : m_2 = \frac{F_1}{\omega_1^2 r_1} : \frac{F_2}{\omega_2^2 r_2} = 3 : 1.$$

方法总结 当一个因素与多个因素有关时,探究该因素与其中某个因素的关系时,通常用控制变量法。

5. (2) $\frac{d}{\Delta t}$ (3) 最大值 (4) 0.06 0.8

【解析】(2)钢球通过光电门的时间极短,用钢球通过光电门的平均速度代替瞬时速度,则钢球通过光电门的速度表达式

$$v = \frac{d}{\Delta t}.$$

(3)钢球摆动过程中受力分析如图所示,有

$$F_T - F_1 = m \frac{v^2}{r}, F_1 = mg \cos \theta, \text{故 } F_T = mg \cos \theta +$$

$$\frac{mv^2}{r}, \text{由于钢球向最低点运动过程中速度增大,}$$

θ 减小,到达最低点时速度最大,故在最低点细线拉力 F_T 最大。

(4)钢球摆至最低点时,细线的拉力 $F_T = mg + \frac{mv^2}{r}$,当钢球速度为零时,拉力与重力大小相等,结合图线可知 $mg = 0.588 \text{ N}$,

关键点:纵轴的截距等于重力大小

解得 $m = 0.06 \text{ kg}$,由斜率 $k = \frac{m}{r} = \frac{0.888 - 0.588}{4} \text{ kg/m}$,解得 $r = 0.8 \text{ m}$ 。

方法总结 图像类问题,找对应的函数关系式,结合函数关系式得到相应的斜率和截距的含义。

6. C 【解析】过山车恰好能通过半径为 R_1 的轨道的最高点,则

关键点:重力提供向心力

在最高点,由牛顿第二定律得 $mg = m \frac{v^2}{R_1}$,解得 $v = \sqrt{gR_1}$,以

同样速度通过半径为 R_2 的轨道的最高点时,设轨道对过山车的压力为 F_N ,有 $mg + F_N = m \frac{v^2}{R_2}$,又 $R_1 = 3R_2$,解得 $F_N =$

$2mg$,根据牛顿第三定律可知,过山车对轨道的压力大小 $F'_N = 2mg$,故 **C 正确**。

7. B 【解析】由胡克定律可得,系统稳定后每根橡皮筋弹力大小均为 $F = k(3l_0 - l_0) = 2kl_0$,相邻橡皮筋夹角为 120° ,则每个小球所受的合力大小为 $F_{合} = 2kl_0$,根据牛顿第二定律可得

$$F_{合} = m \frac{4\pi^2}{T^2} \times 3l_0, \text{解得 } T = 2\pi \sqrt{\frac{3m}{2k}}, \text{故选 B}.$$

关键点:水平桌面光滑,橡皮筋对小球的合力提供向心力

刷易错

★易错点 混淆圆周运动中能突变的物理量

8. A 【解析】由于悬线与钉子接触时小球在水平方向上不受

力,故悬线碰到钉子后的瞬间,小球的线速度不能发生突变,

B 错误;角速度 $\omega = \frac{v}{r}$,由于小球做圆周运动的半径变为原来的一半,则角速度变为原来的两倍,**A 正确**;根据牛顿第二定律有 $T - mg = m \frac{v^2}{r}$,解得 $T = m \frac{v^2}{r} + mg$,可知小球做圆周运动的半径越小,悬线越容易断,钉子越远离 O 点,悬线越容易断,**C 错误**;由向心加速度 $a = \frac{v^2}{r}$,可知小球的向心加速度变为原来的两倍,**D 错误**.

教材变式 本题目由教材 P72 第 7 题演变而来,教材中的题目考查了悬线碰到钉子时各物理量变为多少,本题延伸考查了钉子的位置与线断的容易程度的关系.

易错分析 小球运动到悬点正下方时悬线碰到钉子,对小球受力分析,受到重力和悬线的拉力作用,两力均沿竖直方向,它们的合力提供向心力,与小球运动的线速度方向垂直,只改变线速度的方向,不改变线速度的大小. 本题应该先分析清楚不变的物理量,再代入公式进行推导. 在这类题目中,易误认为角速度不变而造成错解.

刷提升

1. AD 【解析】物体做匀速圆周运动,合力提供向心力,在最低点根据牛顿第二定律有 $F_1 - mg = \frac{mv^2}{r}$,可知支持力大于重力,物体处于超重状态,在最高点根据牛顿第二定律有 $mg - F_2 = \frac{mv^2}{r}$,可知支持力小于重力,物体处于失重状态,从最低点运动到最高点的过程中,支持力先大于重力,后小于重力,则物体先处于超重状态,后处于失重状态,**A 正确, B 错误**;木板由最低点运动到最高点的过程中,重力、支持力和摩擦力的合力提供向心力,向心力始终指向圆心且大小不变,木板由最低点运动到最高点的过程中,向心力的竖直分量先向上减小后向下增大,则物体所受木板的支持力逐渐减小,向心力的水平分量先增大后减小,则摩擦力先增大后减小,**C 错误, D 正确**.

方法总结 将做圆周运动的物体受到的合力正交分解:平行速度方向的力,即切向力,改变物体速度的大小;垂直速度方向的力(指向圆心),只改变物体速度的方向,不改变速度的大小.

2. D 【解析】由题意,可得直升机做匀速圆周运动的半径为 $r = \sqrt{s^2 - h^2}$,则周期为 $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi \sqrt{s^2 - h^2}}{v}$,**A 错误**;直升机做匀速圆周运动的过程中,竖直面内受重力、升力的作用,二者的合力提供直升机所需的向心力,**B 错误**;直升机做匀速圆周运动,其获得的升力在竖直方向上的分力大小等于 mg ,水平方向的分力提供向心力,**C 错误**;主旋翼所在平面与水平面的夹角 θ 满足关系式 $F_{\text{升}} \cos \theta = mg, F_{\text{升}} \sin \theta = m \frac{v^2}{r}$,其中 $r =$

易错点: 主旋翼所在平面与升力方向垂直

$\sqrt{s^2 - h^2}$,整理有 $\tan \theta = \frac{v^2}{g \sqrt{s^2 - h^2}}$,**D 正确**.

3. ABD

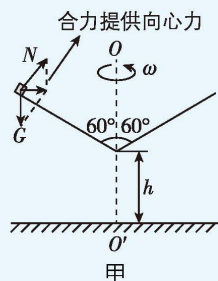
思路导引 (1)角速度比较小时,绳子处于松弛状态,重力和支持力的合力提供向心力;
(2)角速度较大时,绳子上有拉力,拉力、重力和支持力三者的合力提供向心力;
(3)角速度增大到一定程度后,绳子断裂,重力和支持力的合力提供向心力.

【解析】若绳伸直且拉力恰好为零,由支持力和重力的合力提供向心力,圆环圆心、小球、圆环最低点组成等边三角形,则有 $N_1 \sin 30^\circ = mg, N_1 \cos 30^\circ = m\omega_1^2 r, r = R \cos 30^\circ$,联立解得 $\omega_1 = \sqrt{\frac{2g}{R}}$;若绳的拉力恰好为 $2mg$,有 $N_2 \cos 30^\circ + T_1 \cos 30^\circ = m\omega_2^2 r, N_2 \sin 30^\circ = mg + T_1 \sin 30^\circ$,联立解得 $\omega_2 = \sqrt{\frac{6g}{R}}$. 圆环角速度 $\omega = \sqrt{\frac{g}{R}} < \omega_1$ 时,绳子处于松弛状态,小球受到 2 个力的作用,**A 正确**;圆环角速度 $\omega = \sqrt{\frac{3g}{R}}$ 时,由于 $\omega_1 < \sqrt{\frac{3g}{R}} < \omega_2$,则绳子有拉力,小球受到 3 个力的作用,**B 正确**;圆环角速度 $\omega = 2\sqrt{\frac{g}{R}} < \omega_2$ 时,绳子没有断,**C 错误**;圆环角速度 $\omega > \sqrt{\frac{6g}{R}}$ 时,绳子断裂,小球受到 2 个力的作用,**D 正确**.

刷素养

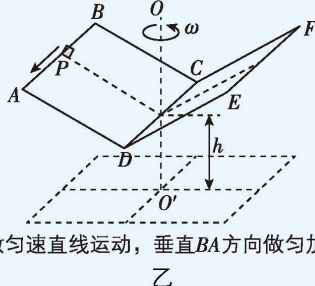
4. BD

思路导引 (1)二面体匀速转动时,小物体的受力分析如图甲所示;



(2)二面体停止转动后,小物体的运动情况如图乙所示.

二面体停止转动后,小物体做类平抛运动



沿BA方向做匀速直线运动,垂直BA方向做匀加速直线运动

【解析】小物体恰好在 $ABCD$ 面上没有相对滑动,根据受力分析可得 $N \sin 60^\circ = mg, N \cos 60^\circ = m\omega^2 L \sin 60^\circ$,联立解得 $\omega = \frac{10\sqrt{6}}{3} \text{ rad/s}$,故 **A 错误, B 正确**;若“V”形二面体突然停止转动,小物体做类平抛运动,设小物体在二面体上运动的时间为 t ,运动的初速度大小为 v_0 ,加速度大小为 a ,沿 PA 方向运动的距离为 $\frac{L}{2}$,沿 AD 方向向下运动的距离为 y ,则有 $\frac{L}{2} =$

$$v_0 t, y = \frac{1}{2} a t^2, mg \cos 60^\circ = ma, \text{ 又因为 } v_0 = \omega \cdot L \sin 60^\circ = \frac{10\sqrt{6}}{3} \times$$

$$0.1 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ m/s} = \frac{\sqrt{2}}{2} \text{ m/s}, \text{ 联立解得 } y = 1.25 \text{ cm} < L, \text{ 故小物体会从 } AD \text{ 边离开二面体, 故 C 错误, D 正确.}$$

从 AD 边离开二面体, 故 **C 错误, D 正确.**

课时2 向心加速度

刷基础

1. B 【解析】匀速圆周运动的向心加速度大小不变, 方向时刻发生变化, **A 错误**; 向心加速度是描述线速度方向变化快慢的

物理量, **B 正确**; 向心加速度方向总是与速度方向垂直, 向心加速度不改变物体的速率, **C 错误**; 由 $a = \omega^2 r$ 可知, 只有当角速度一定时, 向心加速度才与半径成正比, **D 错误**.

2. B 【解析】速度是矢量, 物体从 A 运动到 B , Δv 由 v_A 指向 v_B , 作矢量图时需将各矢量的起始点移至同一点, 故 **C、D 错误**; 做匀速圆周运动的物体加速度指向圆心, 故 **B 正确, A 错误**.

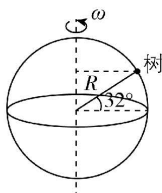
3. B 【解析】根据题意可知角速度 $\omega = 2\pi n = 314 \text{ rad/s}$, 则距离溜溜球中心 1 cm 处的点向心加速度大小 $a_n = \omega^2 r = 314^2 \times 0.01 \text{ m/s}^2 \approx 986 \text{ m/s}^2$, 接近 1000 m/s^2 , 故 **B 正确**.

关键点拨 解答本题需要掌握向心加速度的计算公式:

$$a_n = \frac{v^2}{r} = r\omega^2 = \frac{4\pi^2}{T^2} r = \omega v.$$

4. B 【解析】如图所示, 地球自转周期 $T = 24 \text{ h}$, 该树做圆周运动的半径 $r = R \cos 32^\circ$,

则该树的向心加速度大小 $a_n = \frac{4\pi^2 r}{T^2} \approx 2.9 \times 10^{-2} \text{ m/s}^2$, 故 **B 正确**.



5. D

思路导引 b 、 c 为同轴转动, 角速度相同; a 、 b 为齿轮传动, 线速度大小相等.

【解析】由于 b 、 c 点所在的两轮同轴转动, 则 b 、 c 角速度相等, 根据 $v = \omega r$ 可知, c 点的线速度大于 b 点的线速度, **A 错误**; a 、 b 点所在的两轮靠齿轮传动, 两轮边缘上的线速度大小相等, 根据 $\omega = \frac{v}{r}$, 可知 a 点的角速度小于 b 点的角速度, **B 错误**; a 、 b 点的线速度大小相等, 做圆周运动的半径之比为 $2:1$, 根据 $a_n = \frac{v^2}{r}$, 可知 a 、 b 点的向心加速度大小之比为 $1:2$, **C 错误**; b 、 c 点的角速度相等, 根据 $a_n = \omega^2 r$, 可知 b 、 c 点的向心加速度大小之比为 $1:4$, 所以 a 、 c 点的向心加速度大小之比为 $1:8$, **D 正确**.

方法总结 若比较同轴转动问题的向心加速度, 可利用公式 $a_n = \omega^2 r$ 分析 a_n 与 r 的关系; 若比较皮带传动问题的向心加速度, 可利用公式 $a_n = \frac{v^2}{r}$ 分析 a_n 与 r 的关系.

6. D 【解析】质点运动过程中的速度大小不变, 方向时刻改变, **A 错误**; 质点的角速度 $\omega = \frac{\theta}{t} = \frac{\pi}{3} \text{ rad/s}$, 轨迹圆的半径

$$r = \frac{l}{\theta} = 0.5 \text{ m}, \text{ 故质点在 } A \text{ 点的向心加速度大小 } a = \omega^2 r = \frac{\pi^2}{18} \text{ m/s}^2, \text{ B 错误; 质点做匀速圆周运动的速度大小 } v = \omega r =$$

$$\frac{\pi}{6} \text{ m/s}, \text{ 根据几何关系, 质点从 } A \text{ 到 } B \text{ 的速度变化量大小 } \Delta v =$$

$$v = \frac{\pi}{6} \text{ m/s}, \text{ 质点从 } A \text{ 到 } B \text{ 的平均加速度大小 } \bar{a} = \frac{\Delta v}{t} = \frac{\pi}{6} \text{ m/s}^2,$$

关键点: 注意平均加速度的方向与 Δv 的方向相同, 而不是指向圆心

C 错误, D 正确.

7. B 【解析】链球经过 A 点时速度 v 的方向沿轨迹切线方向, **A 错误, B 正确**; 链球经过 A 点时向心力 F_n 的方向指向圆心 O , **C、D 错误**.

关键点拨 做匀速圆周运动的物体, 其合力提供向心力, 线速度大小不变, 只有向心加速度, 向心加速度方向总是指向圆心; 变速圆周运动除有向心加速度外还存在切向加速度, 以改变线速度的大小, 其合加速度方向指向轨迹圆的内侧, 但不指向圆心.

8. A 【解析】当行车突然停止运动时, 铸件做圆周运动, 根据牛顿第二定律有 $F_T - mg = m \frac{v^2}{L}$, 代入数据解得 $F_T = 2.6 \times 10^4 \text{ N}$, 根据牛顿第三定律有 $F_T' = F_T = 2.6 \times 10^4 \text{ N}$, **A 正确**.

9. BC 【解析】冰面对运动员的作用力在竖直方向上的分力与重力平衡, 水平方向上的分力提供向心力, 则冰面对运动员的作用力大于重力, **A 错误**; 对运动员受力分析, 根据牛顿第二定律有 $F_n = \frac{mg}{\tan \theta} = m \frac{v^2}{R}$, 可得其转弯时的速度大小为 $v =$

$$\sqrt{\frac{gR}{\tan \theta}}, \text{ B 正确; 运动员转弯时的速度大小为 } v = \sqrt{\frac{gR}{\tan \theta}}, \text{ 变}$$

形可得 $\tan \theta = \frac{gR}{v^2}$, 若 v 变大, 则 $\tan \theta$ 减小, 蹬冰角 θ 减小, **C 正确**; 运动员做匀速圆周运动, 他所受合外力始终指向圆心, 大小不变, 方向变化, **D 错误**.

10. D 【解析】导弹沿切线方向的速度为 $v \cos \theta$, 沿法向的速度为 $v \sin \theta$; 沿切线方向做匀速圆周运动, 对应的向心加速度为 $a_n = \frac{(v \cos \theta)^2}{R}$, 故沿法向满足 $t = \frac{2v \sin \theta}{g - a_n}$, 又 $s = v \cos \theta \cdot t$, 联立解得 $s = \frac{2v^2 \sin \theta \cos \theta}{g - \frac{v^2 \cos^2 \theta}{R}}$, 故选 **D**.

刷易错

★易错点1 误认为球体上各点做圆周运动的圆心为球心

11. B 【解析】过 A 、 B 分别向 $O_1 O_2$ 作垂线, 与 $O_1 O_2$ 的交点即为 A 、 B 做圆周运动的圆心, 向心加速度指向圆心而非球心, **D 错误**; A 、 B 两点均绕 $O_1 O_2$ 转动, 具有相同的角速度, 由几何知识知, A 的转动半径大, 由 $v = \omega r$ 知, A 的线速度大, 由 $a = \omega^2 r$ 知, A 的向心加速度大, **A、C 错误, B 正确**.

易错分析 球体绕过直径的轴做圆周运动时, 球体上各点转动的角速度相同 (轴上的点除外), 各点做圆周运动的圆心并不都是球心, 过各点向轴作垂线, 与轴的交点为各点做圆周运动的圆心.

★易错点2 误认为容器各处支持力与竖直方向夹角相同

12. B 【解析】圆心一定在圆周所在平面内, 小球通过 a 、 b 两处做匀速圆周运动的圆心均不为 O 点, **A 错误**; 设小球通过 a 、 b 两处时所受支持力方向与竖直方向的夹角为 θ , 根据牛顿第二定律得 $mg \tan \theta = m \omega^2 r$, 解得 $\omega = \sqrt{\frac{g \tan \theta}{r}}$, a 处 θ 小, 半径 r 大, 所以角速度的大小关系为 $\omega_a < \omega_b$, **B 正确**; 由 $mg \tan \theta = m a$

得 $a = g \tan \theta$, 则向心加速度的大小关系为 $a_a < a_b$, **C 错误**; 由 $F_n = mg \tan \theta$ 得向心力的大小关系为 $F_a < F_b$, **D 错误**.

易错分析 本题容易和圆锥摆模型混淆, 而先入为主地认为 a 、 b 在同一个斜面上, 小球所受支持力与竖直方向夹角相同, 从而认为加速度大小相等, 误选 C.

刷提升

1. D 【解析】摄像机在弯道上运动的速度大小不断增加, 方向不断变化, 则速度不断变化, 故 **A 错误**; 当运动员加速通过弯道时, 摄像机与运动员保持同步运动, 则摄像机也要加速转弯, 摄像机所受合外力方向与速度方向夹角为锐角, 可知合外力大致方向为 F_1 , 故 **B 错误**; 摄像机与运动员保持同步运动, 则摄像机的角速度与运动员的角速度相等, 故 **C 错误**; 根据 $a = \omega^2 r$, 摄像机的转动半径大于运动员的, 可知摄像机的向心加速度大于运动员的向心加速度, 故 **D 正确**.

2. C 【解析】B 点和 C 点同轴转动, 角速度相同, 但半径不同,

突破点: 同轴转动, 角速度相同

根据 $v = \omega r$ 可知, B 点和 C 点的线速度大小不相等, **A 错误**; A 点和 B 点同链条传动, 线速度大小相等, 根据 $v = \frac{2\pi r}{T}$ 可知, A

突破点: 链条传动, 线速度大小相同

点和 B 点周期不同, B 点和 C 点同轴转动, 角速度相同, 周期相同, 故 A 点和 C 点的周期不同, **B 错误**; 根据 $a = \omega^2 r$, 可得 $a_B : a_C = r_2 : r_3$, **C 正确**; A 点和 B 点同链条传动, 线速度大小相等, 根据 $v = \omega r$, 可得 $v_A : v_C = v_B : v_C = r_2 : r_3$, **D 错误**.

3. C 【解析】设拨浪鼓的半径为 r , 绳长为 L , 绳与竖直方向的夹角为 φ , 小球做匀速圆周运动, 则有 $mg \tan \varphi = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 (L \sin \varphi +$

$r)$, 可得 $\frac{g}{\left(\frac{2\pi}{T} \right)^2} = L \cos \varphi + \frac{r}{\tan \varphi}$, 可知 L 越长, φ 越大, **A、D 错误**;

设球到悬点的竖直距离为 h , 则有 $mg \tan \varphi = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 (h \tan \varphi + r)$, 可得 $\frac{g}{\left(\frac{2\pi}{T} \right)^2} = h + \frac{r}{\tan \varphi}$, 可知 φ 越大, 球到悬点的竖直距离

越大, **B 错误, C 正确**.

4. (1) $\sqrt{\frac{2g}{R}}$ **(2)** $\sqrt{\frac{10g}{7R}} \leq \omega \leq \sqrt{\frac{3g}{R}}$

思路导引 (1) 摩擦力为零时, 重力和支持力的合力提供向心力;

(2) 摩擦力向上最大时, 向心力最小 (竖直方向合力为零, 水平方向合力提供向心力);

(3) 摩擦力向下最大时, 向心力最大 (竖直方向合力为零, 水平方向合力提供向心力).

【解析】(1) 由题意可知, 摩擦力恰好为零时, 由支持力与重力的合力提供小物块做匀速圆周运动的向心力, 受力分析如图 1 所示, 可得 $mg \tan \theta = m \omega_0^2 R \sin \theta$, 解得

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{2g}{R}}.$$

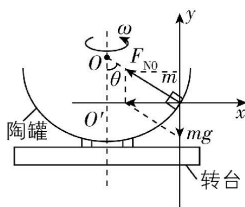


图 1

(2) 当 $\omega > \omega_0$ 时, 重力与支持力的合力不足以提供小物块做圆周运动所需的向心力, 摩擦力方向沿陶罐壁切线方向向下, 当角速度达到最大时, 摩擦力向下达到最大值, 如图 2 所示, 设此时角速度为 ω_1 , 水平方向有 $F_N \cos 30^\circ + f_m \cos 60^\circ =$

$m \omega_1^2 R \sin 60^\circ$, 在竖直方向有 $mg + f_m \sin 60^\circ = F_N \sin 30^\circ$, 其中

$$f_m = \mu F_N, \text{ 联立解得 } \omega_1 = \sqrt{\frac{3g}{R}};$$

当 $\omega < \omega_0$ 时, 重力与支持力的合力大于小物块做圆周运动所需向心力, 则摩擦力方向沿陶罐壁切线方向向上, 当角速度最小时, 摩擦力向上达到最大值, 如图 3 所示, 设此时角速度为 ω_2 , 水平方向有 $F_N' \cos 30^\circ - f_m' \cos 60^\circ = m \omega_2^2 R \sin 60^\circ$, 在竖直方向有 $mg =$

$$F_N' \sin 30^\circ + f_m' \sin 60^\circ, \text{ 其中 } f_m' = \mu F_N', \text{ 联立得 } \omega_2 = \sqrt{\frac{10g}{7R}}.$$

若要小物块与陶罐保持相对静止, 则转台转动角速度的取值

$$\text{范围为 } \sqrt{\frac{10g}{7R}} \leq \omega \leq \sqrt{\frac{3g}{R}}.$$

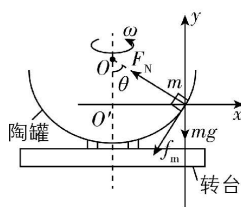


图 2

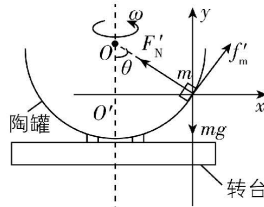


图 3

刷素养

5. C 【解析】因为 A、B 两点同轴转动, 所以 A、B 两点的角速度是相等的, 故 **B 错误**; A、B 两点做圆周运动的圆心都是 O 点, 半径分别是 OA 和 OB, 由余弦定理可得 $OB^2 = OA^2 + AB^2 - 2OA \cdot AB \cos 120^\circ$, 解得 $OB = \sqrt{13}a$, 由 $v = r\omega$ 可知, 角速度一定, 线速度大小之比等于半径之比, 故 A、B 两点线速度大小之比为 $1 : \sqrt{13}$, 故 **A 错误**; 由向心加速度 $a = r\omega^2$ 可知, A、B 两点向心加速度大小之比为 $1 : \sqrt{13}$, 故 **C 正确**; B 点的向心加速度沿着 OB 指向 O 点, 故 **D 错误**.

第 1~2 节综合训练

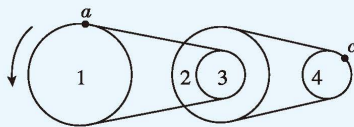
刷综合

1. A 【解析】一起匀速绕圈的过程属于同轴转动, 角速度相等, 根据 $v = \omega r$, $a = \omega^2 r$, 由于最外侧的同学做圆周运动的半径最大, 所以线速度最大, 向心加速度最大, 故 **A 正确, B、C 错误**; 根据 $F_{\text{向}} = m\omega^2 r$, 由于不清楚同学的质量大小关系, 所以最内侧同学的向心力不一定最小, 故 **D 错误**.

2. AC 【解析】由于匀速转动摇柄, 则 a 点的周期保持不变, **A 正确**; b 点的线速度大小不变, 方向改变, **B 错误**; 纺轮和纺锤为皮带传动, 边缘线速度大小相等, 即 $v_b = v_c$, 又 $r_b > r_c$, 根据 $v = \omega r$ 可知 $\omega_b < \omega_c$, 根据 $\omega = 2\pi n$, 可得 $n_b < n_c$, 摇柄和纺轮为同轴转动, 角速度相同, 即 $\omega_a = \omega_b$, 根据 $\omega = 2\pi n$, 可得 $n_a = n_b$, 故 $n_a = n_b < n_c$, 即纺锤的转速大于摇柄的转速, **C 正确**; 根据 $a = \omega^2 r$, $\omega_a = \omega_b$, $r_a < r_b$, 可得 $a_a < a_b$, 根据 $a = \frac{v^2}{r}$, $v_b = v_c$, $r_b > r_c$, 可得 $a_c > a_b$, 故 $a_a < a_c$, **D 错误**.

3. BD

题图剖析



轮 1 和轮 3 为皮带传动, 轮边缘线速度大小相等;
轮 2 和轮 3 为同轴转动, 角速度相同;
轮 2 和轮 4 为皮带传动, 轮边缘线速度大小相等.

高中必刷题 物理

【解析】由题图可知,轮1和轮3是皮带传动,则 $v_1 = v_3$,轮2和轮3是同轴转动,则 $\omega_2 = \omega_3$,根据 $v = \omega r$,且 $r_2 = 2r_3$,则 $v_2 = 2v_3$,轮2和轮4是皮带传动,则 $v_2 = v_4$,联立可知 $v_a : v_c = v_1 : v_4 = 1 : 2$,故 **A 错误**;根据 $\omega = \frac{v}{r}$,且 $r_1 = 2r_4$,则 $\omega_1 : \omega_4 = 1 : 4$,故 **B 正确**;

根据 $a = \omega^2 r$,可知 $a_1 : a_4 = 1 : 8$,故 **C 错误, D 正确**.

4. **A** 【解析】设三个小球的质量均为 m ,小车突然停止运动, C 受到小车右侧壁的作用停止运动,则此时细绳张力与 C 的重力大小相等,即 $F_c = mg$, A 和 B 由于惯性,会向右摆动,做圆周运动,根据牛顿第二定律可得 $F - mg = \frac{mv^2}{L}$,则此时悬挂 A 、 B

→ **关键点**: 最低点竖直方向上的合力提供向心力

的细绳张力大小为 $F_A = F_B = F = mg + m \frac{v^2}{L}$,代入数据解得 $F_A : F_B : F_c = 3 : 3 : 2$,故选 **A**.

5. **BD** 【解析】该盒子做匀速圆周运动,向心力大小不变,方向总是指向圆心,时刻发生改变, **A 错误**;在最高点时盒子与小球之间恰好无作用力,对小球有 $mg = \frac{mv^2}{R}$,解得 $v = \sqrt{gR}$,则盒子做匀速圆周运动的周期 $T = \frac{2\pi R}{v} = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$, **B 正确**;盒子在最低点时,对小球有 $F - mg = \frac{mv^2}{R}$,解得 $F = 2mg$,由牛顿第三定律可知,小球对盒子的作用力大小 $F' = F = 2mg$, **C 错误**;盒子在与 O 点等高的右侧位置时,以小球为研究对象,竖直方向受力平衡,可得 $F_y = mg$,水平方向有 $F_x = \frac{mv^2}{R} = mg$,盒子对小球的作用力大小 $F_1 = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{2}mg$,由牛顿第三定律可知,小球对盒子的作用力大小 $F'_1 = F_1 = \sqrt{2}mg$, **D 正确**.

6. **A** 【解析】当小球运动到最低点时,凹槽对小球的支持力最大,对小球,有 $N - mg = m \frac{v^2}{r}$,解得 $N = mg + m \frac{v^2}{r} > mg$,根据牛顿第三定律可知小球对凹槽的压力大小 $N' = N$,对凹槽分析可知 $N' + Mg = F_N$,可知此时 $F_N > Mg + mg$, **A 正确**;设小球运动到最高点时和凹槽圆心的连线与竖直方向的夹角为 θ ,在最高点有 $N_1 = mg \cos \theta$,此时小球所受的支持力小于 mg , **C 错误**;小球在最高点时,对凹槽分析可知 $N'_1 \cos \theta + Mg = F'_N$,其中 $N'_1 = N_1$,即 $F'_N = mg \cos^2 \theta + Mg < Mg + mg$,当 $\theta = 90^\circ$ 时, F'_N 有最小值 Mg , **B 错误**;由前面分析可知, **D 错误**.

7. **C** 【解析】 a 球在水平方向上受细线 Oa 、 ab 的拉力,细线 Oa 的拉力向左,细线 ab 的拉力向右; b 球受细线 ab 向左的拉力, **A 正确**.由题意可知, a 、 b 球的轨迹半径之比为 $1 : 2$,两球绕轴做匀速圆周运动,角速度相等,根据向心加速度 $a = \omega^2 r$ 可知, a 和 b 向心加速度大小之比等于半径之比,即 $1 : 2$,则对 a 球,有 $F_1 - F_2 = m\omega^2 r_a$,对 b 球,有 $F_2 = m\omega^2 r_b$,又 $r_b = 2r_a$,解得 Oa 和 ab 两细线的拉力大小之比为 $F_1 : F_2 = 3 : 2$,故 **B、D 正确, C 错误**.本题选择说法不正确的,故选 **C**.

8. (1) $\frac{2\sqrt{15}}{3} \text{ rad/s}$ (2) $\frac{2\sqrt{15}}{3} \text{ rad/s} \leq \omega \leq 2\sqrt{15} \text{ rad/s}$

【解析】(1)当芯片恰好不滑动时,对芯片受力分析,设漏斗对芯片的支持力为 N ,在竖直方向有 $N \sin \theta = mg$,在水平方向有 $F_n = N \cos \theta = m\omega^2 r$,其中 $r = L \sin \theta$,解得 $\omega = \frac{2\sqrt{15}}{3} \text{ rad/s}$,

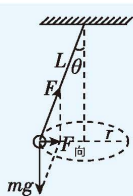
故为保证芯片不沿漏斗下滑,芯片做匀速圆周运动的角速度至少为 $\frac{2\sqrt{15}}{3} \text{ rad/s}$.

(2)当摩擦力沿漏斗向上、角速度最小时,此时在竖直方向上有 $N_{\min} \sin \theta + f_{\min} \cos \theta = mg + Mg \cos \theta$,在水平方向有 $F_n = N_{\min} \cos \theta + Mg \sin \theta - f_{\min} \sin \theta = m\omega_{\min}^2 r$,其中 $f_{\min} = \mu N_{\min}$,解得 $\omega_{\min} = \frac{2\sqrt{15}}{3} \text{ rad/s}$;

当摩擦力沿漏斗向下、角速度最大时,此时在竖直方向上有 $N_{\max} \sin \theta = f_{\max} \cos \theta + mg + Mg \cos \theta$,在水平方向有 $F'_n = N_{\max} \cos \theta + Mg \sin \theta + f_{\max} \sin \theta = m\omega_{\max}^2 r$,其中 $f_{\max} = \mu N_{\max}$,解得 $\omega_{\max} = 2\sqrt{15} \text{ rad/s}$,所以角速度的取值范围为 $\frac{2\sqrt{15}}{3} \text{ rad/s} \leq \omega \leq 2\sqrt{15} \text{ rad/s}$.

方法总结 圆锥摆模型的特点

向心力 $F_{\text{向}} = mg \tan \theta = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r$,
且 $r = L \sin \theta$, 则 $v = \sqrt{gL \tan \theta \sin \theta}$, $\omega = \sqrt{\frac{g}{L \cos \theta}}$, $T = 2\pi \sqrt{\frac{L \cos \theta}{g}}$.



刷素养

9. $\frac{\omega^2 L^2}{2g}$

【解析】取 O 点左侧横管中的水为研究对象,有 $(p_0 + \rho gh)S - p_0 S = m\omega^2 R$,其中 $m = \rho SL$,且横管中各处水的向心力与该处离 O 点的距离成正比,所以可用 $\frac{L}{2}$ 代替这部分水做圆周运动的半

→ **突破点**: 横管中的水同轴转动,角速度相同,根据 $F = m\omega^2 r$ 判断向心力大小与半径的关系

径,即 $R = \frac{L}{2}$,解得 $h = \frac{\omega^2 L^2}{2g}$.

第3节 离心现象

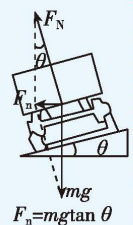
刷基础

1. **AC**

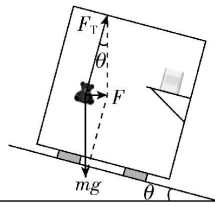
模型构建

火车转弯模型

- (1) $mg \tan \theta = m \frac{v^2}{R}$, $v = \sqrt{gR \tan \theta}$,与内外轨无挤压;
- (2) $v > \sqrt{gR \tan \theta}$,挤压外轨;
- (3) $v < \sqrt{gR \tan \theta}$,挤压内轨.



【解析】设玩具小熊的质量为 m ,则玩具小熊受到的重力 mg 、细线的拉力 F_T 的合力提供玩具小熊随列车做水平面内圆周运动的向心力 F ,如图所示,有 $mg \tan \theta = ma$,可知列车在转弯过程中的向心加速度大小为 $a = g \tan \theta$,方向与水平面平行, **B 错误**;列车的向心加速度大小 $a = g \tan \theta$,则列车做圆周运动的向心力由列车的重力与轨道的支持力的合力提供,故列车的轮缘对轨道无侧向挤压作用, **A 正确**;水杯的向心加速度大小 $a = g \tan \theta$,则水杯做圆周运动的向心力由水杯的重力与桌面的支持力的合力提供,则



水杯与桌面间无摩擦, **C 正确**; 在杯内水面取一微小质量元, 此质量元受到的重力与支持力的合力产生的加速度大小为 $a = g \tan \theta$, 可知水杯内水面与水平方向的夹角等于 θ , 即与桌面平行, **D 错误**.

2. (1) 45 m (2) $5\sqrt{5}$ m/s

模型构建

水平路面车辆转弯模型

路面水平时, 车辆转弯所需的向心力由摩擦力提供, 由于车辆侧向无滑动, 故沿半径方向的摩擦力为静摩擦力, 当车速过快时所需向心力变大, 最大静摩擦力不足以提供所需向心力, 车辆会发生侧向滑动, 可能导致侧翻, 故车辆安全转弯具有速度上限.

【解析】(1) 汽车在水平路面上转弯, 由静摩擦力提供向心力, 则有 $f = m \frac{v^2}{R}$, 又因为 $f \leq f_{\max} = \mu mg$,

$$\text{联立解得 } R \geq \frac{v^2}{\mu g} = \frac{15^2}{0.5 \times 10} \text{ m} = 45 \text{ m},$$

可知弯道的最小半径为 45 m.

(2) 要使汽车通过此弯道时不产生侧向摩擦力, 则汽车受到的重力和支持力的合力提供向心力, 有 $mg \tan \theta = \frac{mv_1^2}{r}$,

$$\text{解得 } v_1 = \sqrt{gr \tan \theta} = \sqrt{10 \times 250 \times 0.05} \text{ m/s} = 5\sqrt{5} \text{ m/s}.$$

教材变式 本题目由教材 P80 第 7 题演变而来, 教材中的题目考查了要使车轮与路面之间的横向(即垂直于前进方向)摩擦力等于零, 汽车转弯时的车速应为多少, 本题延伸考查了求路面水平时弯道的最小半径.

3. **B** 【解析】速度大小为 $v_1 = 10$ m/s 时, 车对桥顶的压力为车重的 $\frac{3}{4}$, 根据牛顿第三定律可知, 此时桥顶对车的支持力为车重的 $\frac{3}{4}$, 则由牛顿第二定律得 $mg - \frac{3}{4}mg = m \frac{v_1^2}{r}$, 设车速为 v_2 时汽车对桥顶的压力恰好为零, 此时根据牛顿第二定律有 $mg = m \frac{v_2^2}{r}$, 联立解得 $v_2 = 20$ m/s, 故 **B 正确**.

4. (1) 1.2 m (2) 5 580 N (3) 7 740 N

【解析】(1) 人和车离开平台后做平抛运动, 则有 $h = \frac{1}{2}gt^2$, $s = vt$, 解得 $s = 1.2$ m.

(2) 在 A 点时, $v_y = gt$, $v_A = \sqrt{v^2 + v_y^2}$, 设人和车在 A 点的速度与水平面的夹角为 θ , 则 $\tan \theta = \frac{v_y}{v}$, 设在 A 点圆弧轨道对人和车的支持力为 N , 根据牛顿第二定律有 $N - mg \cos \theta = m \frac{v_A^2}{R}$, 解得

$N = 5 580$ N, 根据牛顿第三定律可知, 在 A 点人和车对轨道的压力大小为 5 580 N.

(3) 设在 O 点圆弧轨道对人和车的支持力为 N' , 根据牛顿第二定律有 $N' - mg = m \frac{v^2}{R}$, 解得 $N' = 7 740$ N, 根据牛顿第三定律可知, 在 O 点人和车对轨道的压力大小为 7 740 N.

5. **D** 【解析】向心力是效果力, 不是受到的力, 故 **A 错误**; 发生侧滑是因为运动员的速度过大, 所需要的向心力过大, 运动员受到的合力小于所需要的向心力, 故 **B 错误**; 如果在 O 点

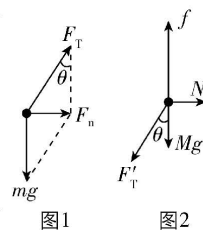
发生侧滑, 若运动员水平方向不受任何外力, 将沿 Oa 方向做离心运动, 实际上运动员要受摩擦力作用, 所以滑动的方向在 Oa 右侧与 Ob 之间, 故 **C 错误**, **D 正确**.

6. **C** 【解析】脱水的原因是因为水受到的合力小于所需的向心力, **A 错误**; 衣物在竖直面内做圆周运动, 当衣物运动到最低点 b 时, 向心加速度方向为竖直向上, 处于超重状态, 由合外力提供向心力可知, 衣物在 b 点受到筒壁的作用力最大, 脱水效果最好, **B 错误**; 在最低点时, 衣物受到筒壁的作用力最大, 根据牛顿第二定律有 $F_N - mg = m\omega^2$, 解得 $\omega = 5$ rad/s, **C 正确**; 衣物通过与圆心等高点时向心力大小为 $F_n = m\omega^2 = 37.5$ N, 即滚筒对衣物水平方向的分力大小为 37.5 N, 则滚筒对衣物的作用力大小为 $F = \sqrt{F_n^2 + (mg)^2} \approx 48$ N, 结合牛顿第三定律可知, 衣物对滚筒的作用力大小为 48 N, **D 错误**.

刷易错

★易错点 1 圆周运动所在平面、圆心的确定易出错

7. **B** 【解析】匀速转动时, 配重受到的合力提供配重做匀速圆周运动的向心力, 其大小不变, 但方向时刻变化, 故配重受到的合力改变, 故 **A 错误**; 以配重为研究对象, 受到重力和拉力, 设配重的质量为 m , 如图 1 所示, 竖直方向根据平衡条件可得 $F_T \cos \theta = mg$, 水平方向由牛顿第二



定律可得 $F_n = mg \tan \theta = m(2\pi n)^2 r$, 其中 $r = L \sin \theta + r_0$, 转速增大, 配重做圆周运动所需的向心力增大, 分析可知 θ 增大, F_T 增大, 设腰带的质量为 M , 对腰带进行受力分析如图 2 所示, 水平方向根据平衡条件可得 $N = F'_T \sin \theta$, 又 $F'_T = F_T$, 若增大转速, F'_T 和 θ 都增大, 则腰带受到腰的弹力变大, 根据牛顿第三定律可知, 腰受到腰带的弹力变大, 故 **B 正确**; 计数器显示在

1 min 内圈数为 120, 可得周期为 $T = \frac{1}{120} \text{ min} = \frac{60}{120} \text{ s} = 0.5 \text{ s}$, 角

速度 $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0.5} \text{ rad/s} = 4\pi \text{ rad/s}$, 故 **C 错误**; 根据图 1 结合

牛顿第二定律可得 $mg \tan \theta = m\omega^2 r$, 而配重做圆周运动的半径为 $r = r_0 + L \sin \theta$, 计算可知 θ 不等于 37° , 故 **D 错误**.

易错分析 本题易出现的错误有两处: 一是由于不能正确确定配重做圆周运动所在的平面及圆心位置而出错, 二是对腰带受力分析出错, 导致求解腰所受腰带的弹力出错.

★易错点 2 在圆周运动中, 速度不同时, 最大静摩擦力会随着支持力的变化而变化

8. **ABD** 【解析】当系统向心力由重力与支持力的合力提供时, 有 $mg \tan \theta = m \frac{v^2}{R}$, 解得 $v = \sqrt{gR \tan \theta}$, **A 正确**; 若 $v >$

$\sqrt{gR \tan \theta}$, 则自行车有向外滑动的趋势, 所以系统受到来自赛道路面的摩擦力沿赛道路面指向内侧, **B 正确**; 系统即将向外滑动时, 速度最大, 有 $N \cos \theta = f \sin \theta + mg$, $N \sin \theta + f \cos \theta = m \frac{v_m^2}{R}$,

$$f = \mu N, \text{ 解得 } v_m = \sqrt{gR \cdot \frac{\sin \theta + \mu \cos \theta}{\cos \theta - \mu \sin \theta}}, \text{ C 错误, D 正确.}$$

易错分析 注意自行车受到的静摩擦力是变化的, 列式时, 摩擦力要用含 N 的表达式表示.

刷提升

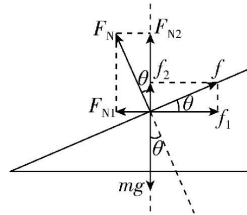
1. C 【解析】设臂长为 R , 在起抛处, 手臂与竖直方向的夹角为 θ , 则在起抛处, 沿手臂方向, 根据牛顿第二定律有 $F_1 - mg \cos \theta = m \frac{v^2}{R}$, 垂直手臂方向有 $F_2 = mg \sin \theta$, 手对秧苗的作用力大小 $F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} > mg$, 故 A 错误; 秧苗在最低点 C 处, 由牛顿第二定律有 $F' - mg = m \frac{v^2}{R}$, 可知手对秧苗的作用力大于秧苗的重力, 秧苗处于超重状态, 故 B 错误; 依题意, O 与 P 间的竖直距离一定, 在竖直方向, 秧苗 A 做竖直上抛运动, 秧苗 B 做自由落体运动, 所以秧苗 B 用时短, 先经过 P 点, 故 C 正确; 秧苗 A 在最高点有水平方向的速度, 故 D 错误。

2. C 【解析】用离心机处理血液, 红细胞做离心运动是因为受到的合力不足以提供所需的向心力, 不存在离心力, B 错误; 离心机的转速越大, 则角速度越大, 做圆周运动需要的向心力越大, 试管底部对血液的弹力越大, 根据牛顿第三定律可知, 试管底部受到的压力越大, A 错误; 转速越大, 做圆周运动需要的向心力越大, 越容易发生离心运动, 实现血浆、白细胞和红细胞的分离, C 正确; 若在天宫空间站上利用此装置进行实验, 由于离心现象与重力无关, 仍能实现血液成分的分层, D 错误。

→ 关键点: 弹力提供了整体所需要的向心力

知, 试管底部受到的压力越大, A 错误; 转速越大, 做圆周运动需要的向心力越大, 越容易发生离心运动, 实现血浆、白细胞和红细胞的分离, C 正确; 若在天宫空间站上利用此装置进行实验, 由于离心现象与重力无关, 仍能实现血液成分的分层, D 错误。

3. AD 【解析】根据题意可知, 小物块做匀速圆周运动, 对小物块受力分析, 可知它受到重力、支持力、摩擦力, 采用正交分解法, 如图所示, 水平方向有 $f \cos \theta - F_N \sin \theta = m \frac{v^2}{R}$, 竖直方向有 $f \sin \theta + F_N \cos \theta = mg$, 联立解得 $f = m \frac{v^2}{R} \cos \theta + mg \sin \theta > mg \sin \theta$, $F_N = mg \cos \theta - m \frac{v^2}{R} \sin \theta < mg \cos \theta$, 故 A 正确, B 错误; 当最大静摩擦力等于滑动摩擦力时, 小物块放在甲板上恰能与甲板保持相对静止, 满足 $f = \mu F_N$, 结合 $f = m \frac{v^2}{R} \cos \theta + mg \sin \theta$,



→ 关键点: 静摩擦力达到最大

$F_N = mg \cos \theta - m \frac{v^2}{R} \sin \theta$, 解得 $v = \sqrt{\frac{\mu - \tan \theta}{1 + \mu \tan \theta} g R}$, 故 C 错误, D 正确。

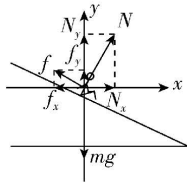
刷素养

4. AD 【解析】根据题意可知, y 轴与火车前进方向一致, 且该方向车速始终为 $v = 118 \text{ km/h}$, 即沿 y 轴方向合力为零, 则在 MN 路段火车沿 y 轴的加速度始终为零, 故 A 正确; 手机平放在火车卧铺床位上, z 轴垂直床位即车厢底板, 根据题意, 当火车刚好经过弯道的 P 点时, P 点附近火车的运动可视为水平面内圆周运动的一部分, 火车此时做匀速圆周运动, 此时向心加速度 $a = \frac{v^2}{R}$, 向心加速度等于 x、z 轴方向加速度的矢量和, 根据矢量合成规律可知, 此时有 $a_z = a_x \tan \theta$, 根据题图 3 有 $a_x = a_0$, 解得 $a_z = a_0 \tan \theta$, 即在 MN 路段火车沿 z 轴的加速度不是始终为零, 故 B 错误; P 点附近火车的运动可视为水平面内圆周运动的一部分, 结合前面分析可得 $a \cos \theta = a_0$, 解得 $\frac{a_0}{\cos \theta} = \frac{v^2}{R}$, 故 C 错误, D 正确。

专题 6 水平面内的圆周运动的临界问题

刷题型

1. B 【解析】对游客受力分析如图所示, 分别沿水平和竖直方向列方程, 水平方向 $f_x - N_x = m \omega^2 r$, 竖直方向 $f_y + N_y = mg$, 则随着魔盘转速缓慢增大, 游客需要的向心力增大, 但必须保证竖直方向受力平衡, 因为重力不变, 则 f 、 N 两个力只能一个增大一个减小, 结合水平方向方程, 只能 f 增大, N 减小, 故 A 错误, B 正确; 滑动之前, 游客在竖直方向受力平衡, 水平方向的向心力由合外力提供, 随着转速缓慢增大, 需要的向心力增大, 即合外力增大, 故 C 错误; 游客受到魔盘的支持力和摩擦力的合力, 即为游客受到魔盘的作用力, 将其在水平和竖直方向正交分解, 竖直方向的分力与重力等大反向, 保持不变, 水平方向的分力提供向心力, 随着转速缓慢增大而增大, 所以游客受到魔盘的作用力缓慢增大, 故 D 错误。



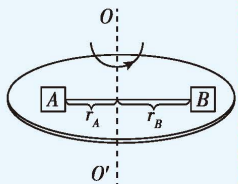
2. C 【解析】根据题意可知, P、Q 随转台转动, 它们的角速度相同, 设为 ω , 由公式 $v = \omega r$ 可得 $v_P : v_Q = 1 : 2$, P、Q 所需要的向心力由静摩擦力提供, 则有 $f = m \omega^2 r$, 可得 $\frac{f_P}{f_Q} = \frac{m_P r_P}{m_Q r_Q} = \frac{1}{1}$, 故 A、B 错误; 由于最大静摩擦力等于滑动摩擦力, 则有 $f_m = \mu mg$, 可得 $\frac{f_{Pm}}{f_{Qm}} = \frac{\mu_P m_P}{\mu_Q m_Q} = \frac{4}{1}$, 可知 P 的最大静摩擦力大于 Q 的, 由于 P 所受的静摩擦力等于 Q 所受的静摩擦力, 若转台转动的角速度缓慢增大, 则 Q 一定比 P 先开始滑动, 开始滑动时, 两滑块受到的摩擦力大小均为 $f_1 = \mu_Q m_Q g$, P 能达到的最大向心加速度为 $a_m = \frac{f_1}{m_P} = \frac{1}{4} \mu_P g$, 故 D 错误, C 正确。

3. AC

模型构建

圆盘转动模型 (两物体在转轴两侧)

在 $m_A = m_B$ 、 $\mu_A = \mu_B$ 、 $r_A < r_B$ 的条件下, 当 B 受到的摩擦力达到最大静摩擦力后, 随着转速的增大, 物体 A 受到的静摩擦力先减小再反向增大直到整体发生滑动。整体即将滑动时, 两物体受到的摩擦力均达到最大, 且两物体向同一方向滑动。



【解析】由于 A、B 都做匀速圆周运动, 合力提供向心力, 根据牛顿第二定律得 $F = m \omega^2 r$, 角速度相等, B 的转动半径较大, 所需向心力较大, 故所受合力较大, 故 A 正确; 由于最初圆盘转动角速度较小, A、B 随圆盘做圆周运动所需向心力较小, 可由 A、B 与盘面间静摩擦力提供, 静摩擦力均指向圆心, 由于 B 所需向心力较大, 当 B 与盘面间静摩擦力达到最大值时 (此时 A 与盘面间静摩擦力还没有达到最大), 若继续增大转速, 则 B 有离心趋势, 从而拉紧细线, 使细线上出现张力, 转速越大, 细线上张力越大, 当 A 与盘面间静摩擦力也达到最大时, A、B 将开始滑动, A 由于细线拉力作用, A 将靠近圆心,

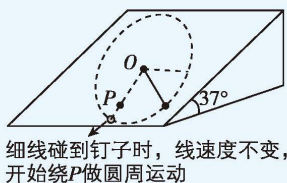
→ 关键点: 细线有拉力后, 随转速增大, A 与盘面间的静摩擦力先减小后反向增大

所以 A 受到的摩擦力先指向圆心, 后背离圆心, 而 B 受到的摩擦力一直指向圆心, 故 B 错误, C 正确; A、B 与圆盘恰好保

持相对静止时,根据牛顿第二定律,对A有 $T - f_m = m\omega_m^2 R$,对B有 $T + f_m = m\omega_m^2 \cdot 2R$,联立得A、B两物块与圆盘保持相对静止的最大角速度为 $\omega_m = \sqrt{\frac{2f_m}{mR}}$,故D错误。

4. C

题图剖析



【解析】不计细线与钉子相碰时的能量损失,当细线碰到钉子的瞬间,小球的线速度保持不变,由于半径变小,由 $v = \omega r$ 可

突破点: 小球从以O为圆心做圆周运动变为以P为圆心做圆周运动

知角速度突然增大,A、B错误;设小球运动到最低点时的速度为 v ,未钉钉子时,由牛顿第二定律得 $F_1 - mg \sin 37^\circ = m \frac{v^2}{L}$,其中 $F_1 = 1.8mg$,钉钉子后,由牛顿第二定律得 $F_2 - mg \sin 37^\circ = m \frac{v^2}{L - OP}$,由题意知 $F_2 \leq 3mg$,可得 $OP \leq \frac{1}{2}L$,故C正确,D错误。

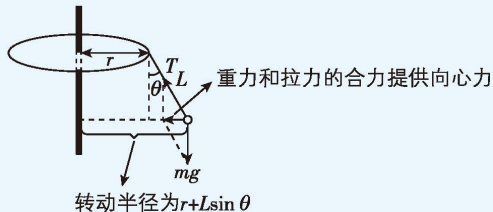
5. BD 【解析】题图甲中,根据牛顿第二定律有 $F_{向} = mg \tan \theta = ma = m \frac{v^2}{l \sin \theta}$,解得 $a = g \tan \theta$, $v = \sqrt{gl \tan \theta \sin \theta}$,故A、B的向心加速度一样大,又 $l_A > l_B$,故 $v_A > v_B$,A错误,B正确;题图乙中设摆绳与竖直方向的夹角为 α ,由牛顿第二定律有 $m'g \tan \alpha = m'\omega'^2 l' \sin \alpha$,化简得 $\frac{g}{l' \cos \alpha} = \omega'^2$,又 $l' \cos \alpha = h$,解得 $\omega = \sqrt{\frac{g}{h}}$,C、D两球具有相同的摆高,故 $\omega_C = \omega_D$,C错误;题图乙中小球的向心加速度为 $a' = g \tan \alpha$,由题图乙可知 $\alpha_C > \alpha_D$,所以 $a_C > a_D$,D正确。

教材变式 本题目由教材P80第6题演变而来,教材中的题目考查了两个摆长不同的圆锥摆的摆球在同一水平面内做匀速圆周运动,本题除了考查教材中的模型外,还考查了两个摆长不同、摆角相同的圆锥摆的摆球在不同水平面内做匀速圆周运动。

6. B

模型构建

圆锥摆模型



【解析】匀速转动时,游客和座椅在水平面内做匀速圆周运动,所受到的合力指向圆心,必沿水平方向,故A正确;当theta稳定时,有 $mg \tan \theta = m\omega^2(r + L \sin \theta)$,得 $\omega = \sqrt{\frac{g \tan \theta}{r + L \sin \theta}}$,故B

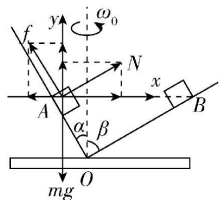
错误;因游客和座椅所受重力和拉力的合力提供向心力,所以所受合力必指向圆心,转速缓慢增大,角theta总小于 90° ,故C正确;转速缓慢增大,钢绳上拉力的竖直分量大小始终等于重力大小,保持不变,故D正确。故B符合题意。

7. BC 【解析】对小球受力分析,根据牛顿第二定律得 $mg \tan \theta = m\omega^2 L \sin \theta$,增加绳长之后, $mg \tan \theta < m\omega^2 L \sin \theta$,此时小球有离心趋势,小球挤压外侧管壁,外侧管壁向斜下方挤压小球,给小球一个斜向下的压力,A错误;仅增加绳长, $m\omega^2 L \sin \theta$ 增大,若仍保持小球与玻璃管间无压力,需减小 ω ,B正确;仅减小 ω , $mg \tan \theta > m\omega^2 L \sin \theta$,小球有向心趋势,挤压内侧管壁,小球将受到玻璃管斜向上方的支持力,C正确;根据 $mg \tan \theta = m\omega^2 L \sin \theta$ 可知,仅减少小球质量,对小球的运动无影响,小球不会受到玻璃管的作用力,D错误。

8. (1) 1:3 (2) $\frac{4\sqrt{3}}{9}mg$,方向沿着器壁向上 (3) 9:1

【解析】(1) 设A、B离转台的高度均为 h ,由题意可知A、B同轴转动,则 $\omega_A = \omega_B = \omega$, $\alpha = 30^\circ$, $\beta = 90^\circ - \alpha = 60^\circ$,根据牛顿第二定律分析可得 $a = \omega^2 r$,则 $\frac{a_A}{a_B} = \frac{r_A}{r_B} = \frac{h \tan \alpha}{h \tan \beta} = \frac{1}{3}$ 。

(2) 设B不受摩擦力时,角速度为 ω_0 ,B的质量为 m_B ,对B,根据牛顿第二定律可得 $\frac{m_B g}{\tan \beta} = m_B \omega_0^2 h \tan \beta$,解得 $\omega_0 = \frac{1}{\tan \beta} \sqrt{\frac{g}{h}} = \sqrt{\frac{g}{3h}}$,设此时A所受的支



持力为 N ,摩擦力为 f ,以沿着器壁向上为正方向,假设摩擦力沿器壁向上,受力分析如图,对A有 $N \cos \alpha - f \sin \alpha = m\omega_0^2 h \tan \alpha$, $N \sin \alpha + f \cos \alpha = mg$,联立解得 $f = \frac{4\sqrt{3}}{9}mg$,假设成立,摩擦力方向沿着器壁向上。

(3) 设A、B同时不受摩擦力时,对应的高度分别为 h_A 、 h_B ,此时转台的角速度为 ω_1 ,对A有 $\frac{mg}{\tan \alpha} = m\omega_1^2 h_A \tan \alpha$,解得 $h_A = \frac{g}{\omega_1^2 \tan^2 \alpha}$,对B有 $\frac{m_B g}{\tan \beta} = m_B \omega_1^2 h_B \tan \beta$,解得 $h_B = \frac{g}{\omega_1^2 \tan^2 \beta}$,联立解得 $\frac{h_A}{h_B} = \frac{9}{1}$ 。

关键点拨 此题需注意与飞车走壁问题和没有摩擦力作用的情况进行区分。

刷难关

1. CD 【解析】两物块随圆盘一起做匀速圆周运动,加速度方向不断变化,均做非匀变速曲线运动,A错误;根据 $F_n = m\omega^2 r$,因为两物块的角速度大小相等,转动半径相等,质量相等,则两物块所需向心力相等,B错误;对A、B整体分析,有 $f_B = 2m\omega^2 r$,对A分析,有 $f_A = m\omega^2 r$,可知圆盘对B的摩擦力是

突破点: 运用整体法与隔离法分析

B对A的摩擦力的2倍,C正确;B刚要滑动时,对A、B整体分析,有 $\mu_B \cdot 2mg = 2m\omega_B^2 r$,解得 $\omega_B = \sqrt{\frac{\mu_B g}{r}}$,对A分析,有 $\mu_A mg = m\omega_A^2 r$,解得 $\omega_A = \sqrt{\frac{\mu_A g}{r}}$,若B先滑动,可知B先达到临界角速度,即B的临界角速度较小,可知 $\mu_B < \mu_A$,D正确。

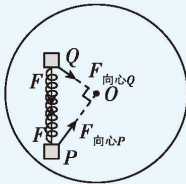
2. BCD 【解析】由题意可知,弹簧均处于原长状态时,小球做

圆周运动的半径为 $r_1 = \frac{\sqrt{3}}{3}L$, 当小球在弹簧均处于 2 倍原长时, 小球做圆周运动的半径为 $r_2 = \frac{2\sqrt{3}}{3}L$, 设轴线与圆锥筒侧边的夹角为 θ , 根据牛顿第二定律有 $\frac{mg}{\tan \theta} = m\omega^2 r_1$, $\frac{mg}{\tan \theta} + 2kL \cos 30^\circ = m\omega^2 r_2$, 由题意可知 $\theta = 30^\circ$, 联立解得 $L = \frac{3g}{\omega^2}$, $k = \frac{m\omega^2}{3}$, 故 **A 错误, B 正确**; 弹簧处于 2 倍原长时, 根据牛顿第二定律可知, 小球的向心加速度大小为 $a = \omega^2 r_2 = 2\sqrt{3}g$, 故 **C 正确**; 当小球在弹簧均处于 n 倍原长时, 小球做圆周运动的半径为 $r_n = \frac{\sqrt{3}}{3}nL$, 根据牛顿第二定律有 $\frac{mg}{\tan \theta} + 2k(n-1)L \cos 30^\circ = m\omega_n^2 r_n$, 解得 $\omega_n = \omega$, 即这三个小球在筒内任意的水平面(在弹簧的弹性限度内)内均可以角速度 ω 匀速旋转, 故 **D 正确**.

3. ACD

题图剖析

F 、 f 的合力提供向心力(图中未画出 f)

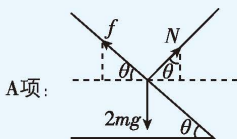


角速度不同, 向心力大小不同, f 方向不同

【解析】由于物块 P 随圆盘一起做匀速圆周运动, 则其所受合力提供向心力, 即合力始终指向圆心, 故 **A 正确**; Q 随圆盘一起做匀速圆周运动, 弹簧弹力与静摩擦力的合力提供向心力, 由于圆盘转动的角速度不同, 则 Q 做圆周运动所需的向心力大小不同, 由于弹簧长度不变, 弹簧的弹力不变, 所以圆盘对 Q 的静摩擦力方向随 ω 的变化而变化, 故 **B 错误**; 当 $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ 时, 向心力大小为 $F_n = m\omega^2 \cdot OP$, 由几何知识可知 $OP = \sqrt{3}L_0$, $\angle OPQ = 30^\circ$, 弹簧弹力大小为 $kx = kL_0$, 由力的关系结合数学知识可知 $f^2 = (kx)^2 + F_n^2 - 2kx \cdot F_n \cos \angle OPQ$, 解得 $f = kx = kL_0$, 故 **C 正确**; 同理, 当圆盘对物块 P 的静摩擦力大小为 $\frac{1}{2}kL_0$ 时, 有 $f'^2 = (kx)^2 + F_n'^2 - 2kx \cdot F_n' \cos \angle OPQ$, 其中 $F_n' = m\omega^2 \cdot OP$, 联立解得 $\omega = \sqrt{\frac{k}{2m}}$, 故 **D 正确**.

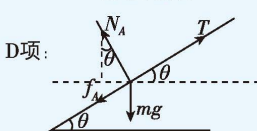
4. AB

题图剖析



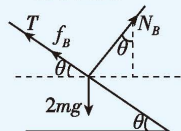
A项:

A的受力情况:



D项:

B的受力情况:



【解析】轻绳有张力之前, 对 B 物体进行受力分析, 水平方向

有 $f \cos \theta - N \sin \theta = 2m\omega^2 r$, 竖直方向有 $f \sin \theta + N \cos \theta = 2mg$, 解得 $f = 2m\omega^2 r \cos \theta + 2mg \sin \theta$, $N = 2mg \cos \theta - 2m\omega^2 r \sin \theta$, 可知随 ω 的增大, f 增大, N 减小, 故 **A 正确**; 轻绳即将有张力时, 对 B 物体受力分析, 在水平方向有 $\mu N \cos \theta - N \sin \theta = 2m\omega_1^2 r$, 竖直方向有 $\mu N \sin \theta + N \cos \theta = 2mg$, 代入数据解得 $\omega_1 = \frac{\sqrt{5}}{4} \text{ rad/s}$,

故 **B 正确**; 在 ω 逐渐增大的过程中, A 物体先有向下滑动的趋势, 后有向上滑动的趋势, 其所受静摩擦力先沿锥体表面向上增大, 后沿锥体表面向上减小, 再沿锥体表面向下增大, 故 **C 错误**; ω 增大到 A 、 B 整体将要滑动时, B 有向下滑动的趋势, A 有向上滑动的趋势, 对 A 物体, 水平方向有 $(T - \mu N_A) \cos \theta - N_A \sin \theta = m\omega_2^2 r$, 竖直方向有 $(T - \mu N_A) \sin \theta + N_A \cos \theta = mg$, 对 B 物体, 水平方向有 $(T + \mu N_B) \cos \theta - N_B \sin \theta = 2m\omega_2^2 r$, 竖直方向有 $(T + \mu N_B) \sin \theta + N_B \cos \theta = 2mg$, 联立解得 $\omega_2 = \sqrt{\frac{165}{28}} \text{ rad/s}$, 故 **D 错误**.

5. (1) ① 2.5 N ② 5 rad/s (2) $\frac{5}{9} \text{ m} \leq L'_2 \leq \frac{5}{3} \text{ m}$

思路导引

(1) P 做圆锥摆运动, 对 P 受力分析, 得到绳子拉力; 通过绳子拉力, 得到 Q 受到的摩擦力;
(2) 找 L'_2 的取值范围, 即找向心力的取值范围.

【解析】(1) ① 对 P 受力分析, 如图所示,

竖直方向受力平衡, 有 $T \cos 37^\circ = m_1 g$, 可得 $T = 2.5 \text{ N}$,

对 Q , 最大静摩擦力 $f_m = \mu m_2 g = 5 \text{ N}$, 由于 $T = 2.5 \text{ N} < f_m$, 则 Q 静止, 故 Q 受到的摩擦力大小 $f = T = 2.5 \text{ N}$.

② 对 P , 有 $m_1 g \tan 37^\circ = m_1 \omega_1^2 r$, $r = L_1 \sin 37^\circ$, 可得 $\omega_1 = 5 \text{ rad/s}$.

(2) 因为 $\theta = 37^\circ$, 所以拉力 $T' = \frac{m'_1 g}{\cos \theta} = 10 \text{ N}$,

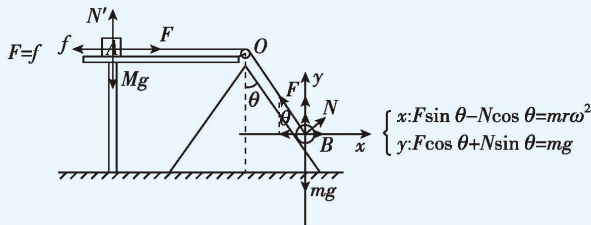
Q 受到的摩擦力沿 OQ 连线向外且最大时, 向心力最小, 转动半径最小, 此时 Q 恰好不向内滑动, 有 $T' - f_m = m_2 \omega_2^2 L'_{2\min}$,

Q 受到的摩擦力沿 OQ 连线向内且最大时, 向心力最大, 转动半径最大, 此时 Q 恰好不向外甩出, 有 $T' + f_m = m_2 \omega_2^2 L'_{2\max}$,

解得 $L'_{2\min} = \frac{5}{9} \text{ m}$, $L'_{2\max} = \frac{5}{3} \text{ m}$, 故 $\frac{5}{9} \text{ m} \leq L'_2 \leq \frac{5}{3} \text{ m}$.

6. (1) 5 rad/s (2) 3.84 N 9.62 N (3) $\sqrt{30} \text{ rad/s}$

题图剖析



【解析】(1) 小球恰好飞离圆锥体时, 圆锥体对小球的支持力恰好为零, 对小球受力分析, 由牛顿第二定律得 $mg \tan 37^\circ = m\omega_0^2 r$, 又 $r = L \sin 37^\circ$, 联立解得 $\omega_0 = 5 \text{ rad/s}$.

(2) 小球以角速度 $\omega = 3 \text{ rad/s}$ 转动时, 竖直方向有 $F \cos 37^\circ + N \sin 37^\circ = mg$, 水平方向有 $F \sin 37^\circ - N \cos 37^\circ = m\omega^2 r$, 其中 $r = L \sin 37^\circ$,

解得 $F=9.62\text{ N}$, $N=3.84\text{ N}$.

(3) 物块 A 受到的最大静摩擦力为 $f=\mu Mg=15\text{ N}$,

→ **关键点:** 保持静止的临界条件为摩擦力达到最大静摩擦力

小球 B 恰好飞离圆锥体时细线的拉力为 $F'=\frac{mg}{\cos 37^\circ}=12.5\text{ N}$,

由于 $f>F'$, 所以当物块 A 受到的静摩擦力最大时, 小球 B 转动的角速度最大, 此时小球 B 已飞离圆锥体, 且细线拉力 $F''=f$, 设此时细线与竖直方向的夹角为 α , 则

$$F''\cos\alpha=mg, F''\sin\alpha=m\omega_{\max}^2 r_1,$$

又 $r_1=L\sin\alpha$, 联立解得 $\omega_{\max}=\sqrt{30}\text{ rad/s}$.

专题 7 竖直面内的圆周运动的临界问题

刷题型

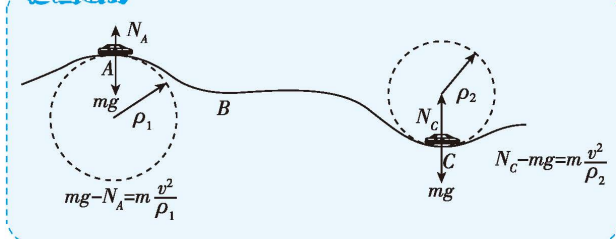
1. C 【解析】由题意, 游客在 P 点时恰好脱离滑道, 则游客在 P

→ **关键点:** 重力沿径向的分力恰好提供向心力

点时, 有 $mg\cos\alpha=m\frac{v^2}{R}$, 解得 $v=\sqrt{gR\cos\alpha}$, C 正确.

2. C

题图剖析



【解析】汽车经过 A 处时, 加速度向下, 处于失重状态, 经过 C 处时, 加速度向上, 处于超重状态, A 错误; 因汽车在 B、C 两处处于超重状态, 根据 $F=mg+m\frac{v^2}{R}$, C 处的曲率半径小于 B

处的, 可知汽车经过 C 处时最容易爆胎, B 错误; 汽车在 A 处容易脱离路面, 则在 A 处汽车对路面的压力恰为零时恰不脱离路面, 此时有 $mg=m\frac{v_1^2}{\rho_1}$, 解得 $v_1=\sqrt{g\rho_1}$, 可知为了保证汽车

在 A 处不脱离路面, 该车的速率不得超过 $\sqrt{g\rho_1}$, C 正确;

汽车经过 C 处时, 由牛顿第二定律得 $N_C-mg=m\frac{v^2}{\rho_2}$, 可得

$N_C=mg+m\frac{v^2}{\rho_2}$, 由牛顿第三定律可知, 汽车对路面的压力大

小为 $mg+m\frac{v^2}{\rho_2}$, D 错误.

3. C 【解析】若容器在圆周最高点时的速度为 0, 容器受到的重力会使容器竖直向下运动, A 错误; 容器经过圆周最高点时, 水有竖直向下的加速度, 处于失重状态, B 错误; 当容器以

→ **易错点:** 经过最高点时加速度为向心加速度, 指向圆心

3 m/s 的速度通过圆周最高点时, 设细线拉力为 F, 则有 $mg+F=m\frac{v^2}{r}$, 解得 $F=0$, 即细线上拉力恰好为 0, C 正确; 容器通

过圆周最低点时, 合力指向圆心, 有 $F'-mg=m\frac{v'^2}{r}$, 因此容器一定对细线有拉力, D 错误.

关键点拨 绳球模型

实例	图示	受力示意图	力学方程	临界特征
球与绳连接、水流星、沿内轨道运动的小球等			$mg+F_{\text{绳}}=m\frac{v^2}{R}$	$F_{\text{绳}}=0$, $mg=m\frac{v_{\min}^2}{R}$, $v_{\min}=\sqrt{gR}$

4. ABD 【解析】当 $F=0$ 时, 小球经过最高点的速率具有最小值, 由题图乙可知 $v_{\min}^2=a$, 解得小球在最高点的速率最小值为 $v_{\min}=\sqrt{a}$, 此时重力刚好提供所需的向心力, 则有 $mg=m\frac{v_{\min}^2}{R}$, 联立解得小球做圆周运动的半径为 $R=\frac{a}{g}$, A、B 正确, C 错误; 小球经过最高点时, 根据牛顿第二定律可得 $F+mg=m\frac{v^2}{R}$, 可得 $F=\frac{m}{R}\cdot v^2-mg$, 若题图乙中图像的斜率为 k, 则有

→ **关键点:** 找出对应的函数关系式

$k=\frac{m}{R}$, 可得小球质量为 $m=kR=\frac{ka}{g}$, D 正确.

5. (1) 5 m/s (2) 60 N (3) 平抛运动 1 s 10 m

【解析】(1) 若小球恰能做完整的圆周运动, 其在最高点时满足 $mg=m\frac{v_0^2}{L}$,

解得速度大小 $v_0=\sqrt{gL}=5\text{ m/s}$.

(2) 若在最高点时小球的速度大小 $v=10\text{ m/s}$, 则 $T+mg=m\frac{v^2}{L}$,

解得 $T=60\text{ N}$.

(3) 若在最高点小球的速度 $v=10\text{ m/s}$, 绳突然断裂, 则小球将做平抛运动,

竖直方向有 $\frac{1}{2}gt^2=2L$, 解得落地时间 $t=1\text{ s}$,

水平方向小球做匀速直线运动, 水平位移大小为 $x=vt=10\text{ m}$.

6. A 【解析】根据题意有 $mg+\frac{1}{2}mg=m\frac{v^2}{R}$, 假设速度大小为

$\frac{1}{2}v$ 时, 管的内壁对小球有作用力, 则有 $mg-F=m\left(\frac{1}{2}v\right)^2/R$,

解得 $F=\frac{5}{8}mg$, 假设成立, 因此管壁对小球的作用力大小为

$\frac{5}{8}mg$, 方向竖直向上, 故 A 正确.

7. BD 【解析】因小球用轻杆连接, 则在最高点时最小速度为零, 即 v 大于等于零, A 错误; 根据 $F_{\text{向}}=m\frac{v^2}{l}$ 可知, v 越大, 小

球在最高点时所需向心力也越大, B 正确; 当在最高点杆对

→ **易错点:** 注意在最高点弹力的方向可能向上也可能向下, v 大, 向心力大, 不等于弹力大

小球的作用力为零时, 有 $mg=\frac{mv_0^2}{l}$, 解得 $v_0=\sqrt{gl}$, 当 $v>\sqrt{gl}$

时, 小球受杆的拉力作用, 有 $F+mg=m\frac{v^2}{l}$, 则 v 越大, 小球在

最高点时杆对小球的弹力越大, C 错误; 当 $v<\sqrt{gl}$ 时, 小球受

杆的支持力作用, 有 $mg-F=m\frac{v^2}{l}$, 则 v 越小, 小球在最高点

时杆对小球的弹力越大,D 正确.

关键点拨 轻杆模型

实例	图示	受力示意图	力学方程	临界特征
球与杆连接,球在光滑管道中运动等			$mg \pm F_{\text{弹}} = m \frac{v^2}{R}$	① $v=0$, $F_{\text{向}}=0$, $F_{\text{弹}}=mg$; ② $v=\sqrt{gR}$, $F_{\text{弹}}=0$, $F_{\text{向}}=mg$

8. (1) $F_1 = 2mg$, 方向竖直向上 $F_2 = \frac{1}{2}mg$, 方向竖直向上

(2) $\sqrt{2}mg$ (3) $4mg$, 方向竖直向下

【解析】(1) 根据牛顿第二定律, 对甲球有 $F_1 - mg = m\omega^2 \cdot 2L$, 解得 $F_1 = 2mg$, 则轻杆对甲球的作用力 F_1 的大小为 $2mg$, 方向竖直向上, 假设 F_2 的方向竖直向下, 对乙球有 $F_2 + mg = m\omega^2 L$, 解得 $F_2 = -\frac{1}{2}mg$, 则轻杆对乙球的作用力 F_2 的大小为 $\frac{1}{2}mg$, 方向竖直向上.

(2) 根据牛顿第二定律, 对甲球有 $F_{\text{甲}} = m\omega^2 \cdot 2L = mg$, 因为做匀速圆周运动, 所以沿切线方向受力平衡, 有 $F_{\text{甲}t} = mg$, 轻

易错点: 易漏掉杆对甲球竖直方向的力

杆对甲球的作用力 F_3 的大小为 $F_3 = \sqrt{F_{\text{甲}t}^2 + F_{\text{甲}n}^2} = \sqrt{2}mg$.

(3) 根据牛顿第二定律, 对乙球有 $F_4' - F_{\text{乙}} - mg = m\omega^2 L$, 对甲球有 $F_{\text{乙}} - mg = m\omega^2 \cdot 3L$, $F_{\text{乙}} = F_{\text{乙}}'$, 联立解得 $F_4' = 4mg$, 方向竖直向上, 根据牛顿第三定律可知, $F_4 = F_4' = 4mg$, 方向竖直向下.

刷难关

1. ABC 【解析】设绳长为 L , 小球在最高点时, 由牛顿第二定律得 $T_1 + mg = \frac{mv_1^2}{L}$, 可得 $T_1 = \frac{mv_1^2}{L} - mg$, 同理在最低点时, 有 $T_2 = \frac{mv_2^2}{L} + mg$, 可知两图线斜率相等, A 正确; 对图线 B, 当 $v_2^2 = 0$ 时, 有 $mg = a$, 解得 $\frac{a}{m} = g$, B 正确; 只有当 $v_1^2 \geq b$ 时, 小球才能通过最高点, 能做完整的圆周运动, 但不是匀速圆周运动, C 正确, D 错误.

2. C 【解析】小球在最高点时速度最小, 由于在最高点时有支撑物, 可知速度的最小值为零, A 错误. 小球在最高点时, 有 $mg + N = \frac{mv^2}{L}$, 当 $N=0$ 时, $v = \sqrt{gL}$, 若速度大于零小于 \sqrt{gL} , 则圆管对小球的弹力向上, 随速度的增加圆管对小球的弹力减小, B 错误. 当小球以速率 v 经过最低点时, 根据 $N - mg = m \frac{v^2}{L}$, 可得圆管对小球的弹力大小为 $N = mg + m \frac{v^2}{L}$, C 正确. 当小球以速率 v 经过最高点时, 由 B 项分析可知, 若 $v = \sqrt{gL}$, 则圆管对小球的弹力为零; 若 $v > \sqrt{gL}$, 则圆管上壁对小球有向下的弹力, 大小为 $N = m \frac{v^2}{L} - mg$, 若 $v < \sqrt{gL}$, 则圆管下壁对小球有向上的弹力, 大小为 $N = mg - m \frac{v^2}{L}$, D 错误.

3. AB 【解析】A、B 属于同轴转动, 所以 A、B 转动的角速度相等, A 正确; 当球 B 运动到最高点时, 水平转轴 O 对杆的作用力恰好为零, 则杆对两球的作用力大小相等、方向相反, 由于

突破点: 受力分析, 此时两球对杆作用力的合力为零

此时杆对球 A 的弹力向上, 则杆对球 B 的弹力向下, 根据牛顿第三定律可知, 球 B 对杆有向上的弹力, 设此时角速度为 ω , 杆对球 B 的弹力大小为 F , 对球 B 由牛顿第二定律可得 $mg + F = m\omega^2 \cdot 2L$, 对球 A 由牛顿第二定律可得 $F - mg = m\omega^2 \cdot L$, 联立解得 $\omega = \sqrt{\frac{2g}{L}}$, $F = 3mg$, B 正确, D 错误; 球 A 的速度大小为 $v_A = \omega L = \sqrt{2gL}$, C 错误.

4. BD

思路导引 物块与杆相碰有两种情况:

- (1) 杆转得比较慢, 物块落到杆上;
- (2) 杆转得比较快, 转了一圈多碰到物块.

【解析】当杆突然转动时, 小物块做自由落体运动, 假设物块恰好与杆的端点 A 不相碰, 则由几何关系可知, 物块下落的高度 $h = \sqrt{2^2 - (\sqrt{3})^2} \text{ m} = 1 \text{ m}$, 又 $h = \frac{1}{2}gt^2$, 解得物块下落的时间 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \frac{\sqrt{5}}{5} \text{ s}$, 在此时间段内杆转过的角度的正弦值 $\sin \theta = \frac{1}{2}$, 结合题意可得, 杆转过的角度 $\theta = \frac{\pi}{6} + n \cdot 2\pi (n=0, 1)$, 即物块恰好与杆的端点 A 不相碰, 角速度应满足 $\omega = \frac{\theta}{t} = \left(\frac{\sqrt{5}}{6}\pi + n \cdot 2\sqrt{5}\pi\right) \text{ rad/s} (n=0, 1)$, 由上式可知, 如果杆的角速度足够大, 物块仍会与杆相碰, 当 $n=0$ 时, $\omega = \frac{\sqrt{5}}{6}\pi \text{ rad/s}$, 若角速度小于此值, 物块一定与杆相碰, 即为使物块与杆不相碰, 杆转动的角速度最小值为 $\frac{\sqrt{5}}{6}\pi \text{ rad/s}$, B、D 正确.

5. (1) $\sqrt{\frac{2g}{R}}$ (2) $\omega \geq 2\sqrt{\frac{g}{R}}$ (3) $\frac{4\pi}{21}\sqrt{\frac{14R}{g}}$

【解析】(1) 当车轮静止且气嘴灯在最低点时, 设弹簧伸长量为 x_0 , 则 $kx_0 = mg$,

易错点: 注意不要忘记小物块的重力

当车轮匀速转动, 气嘴灯到达最低点时, 弹簧弹力与重力的合力提供小物块所需的向心力, 有 $k(x_0 + d) - mg = m\omega^2 R$,

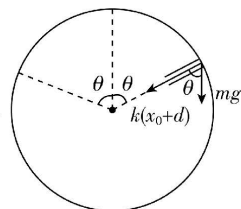
解得 $\omega_1 = \sqrt{\frac{2g}{R}}$.

(2) 由题意知, 气嘴灯到达最高点时刚好发光, 有 $k(x_0 + d) + mg = m\omega^2 R$,

解得 $\omega = 2\sqrt{\frac{g}{R}} > \omega_1$,

则要使车轮匀速转动中气嘴灯一直发光, 角速度 ω 应满足 $\omega \geq 2\sqrt{\frac{g}{R}}$.

(3) 由题可知, $\sqrt{\frac{2g}{R}} < \sqrt{\frac{7g}{2R}} < 2\sqrt{\frac{g}{R}}$, 设其刚好发光的位置与车轮圆心连线跟竖直方向的夹角为 θ , 如图所示, 有 $k(x_0 + d) + mg \cos \theta =$



$$m\omega_2^2 R,$$

$$\text{解得 } \cos \theta = \frac{1}{2}, \text{ 即 } \theta = 60^\circ,$$

$$\text{转动周期 } T = \frac{2\pi}{\omega_2} = 2\pi \sqrt{\frac{2R}{7g}},$$

$$\text{则一个周期内,气嘴灯发光的时间为 } \frac{360^\circ - 2 \times 60^\circ}{360^\circ} T =$$

$$\frac{4\pi}{21} \sqrt{\frac{14R}{g}}.$$

$$6. (1) \sqrt{10} \text{ m/s} \quad (2) 64 \text{ N, 方向竖直向下} \quad (3) (\sqrt{5}-1) \text{ m}$$

【解析】(1) 物块恰好能从轨道 CD 的最高点 D 飞出, 根据牛顿第二定律有 $mg = m \frac{v_D^2}{R}$, 解得 $v_D = \sqrt{10} \text{ m/s}$.

$$(2) \text{从 } A \text{ 点到 } B \text{ 点, 对物块由动能定理得 } -\mu mgL = \frac{1}{2} mv_B^2 - \frac{1}{2} mv_0^2,$$

$$\text{在管道的下端 } B, \text{ 由牛顿第二定律得 } N - mg = m \frac{v_B^2}{R},$$

$$\text{联立解得 } N = 64 \text{ N},$$

由牛顿第三定律得, 物块在 B 点时对管道 BC 的压力大小为 64 N , 方向竖直向下.

$$(3) \text{物块从 } D \text{ 点飞出后做平抛运动, 水平方向有 } x = v_D t,$$

$$\text{竖直方向有 } y = \frac{1}{2} gt^2, \text{ 由几何知识有 } x^2 + y^2 = (2R)^2,$$

$$\text{联立解得 } y = (\sqrt{5}-1) \text{ m}.$$

专题 8 动能定理、机械能守恒定律、功能关系在圆周运动中的应用

刷题型

1. D 【解析】过山车恰好经过 D 点, 在 D 点, 由重力提供向心力, 可得 $mg = m \frac{v_D^2}{R}$, 解得 $v_D = 10 \text{ m/s}$, 从 A 到 D , 由动能定理有 $mgh - \mu mg \cos 45^\circ \cdot \frac{h}{\sin 45^\circ} - mg \cdot 2R = \frac{1}{2} mv_D^2$, 代入数据可得 $h = 50 \text{ m}$, 故 A、B 错误; 过山车从 A 到 G , 由动能定理可得 $mgh - \mu mg \cos 45^\circ \cdot \frac{h}{\sin 45^\circ} - \mu mg \cos 37^\circ \cdot l - \mu mgx - mgl \sin 37^\circ = 0$, 又 $l \cos 37^\circ + x = d$, 代入数据可得 $x = 40 \text{ m}$, $l = 5 \text{ m}$, 故 C 错误, D 正确.

2. BD 【解析】对小球, 在最高点有 $2mg + mg = m \frac{v^2}{r}$, 解得 $v = \sqrt{3gr}$, A 错误; 在最低点有 $9mg - mg = m \frac{v_0^2}{r}$, 由最低点到最高点, 设小球克服空气阻力做的功为 W , 由动能定理有 $-W - mg \cdot 2r = \frac{1}{2} mv^2 - \frac{1}{2} mv_0^2$, 解得 $W = \frac{1}{2} mgr$, B 正确; 设由最高点到最低点, 小球克服空气阻力做的功为 W_1 , 由动能定理有 $mg \cdot 2r - W_1 = \frac{1}{2} mv_1^2 - \frac{1}{2} mv^2$, 由于阻力做功的原因, 小球在后半个圆周运动过程的平均速率小于前半个圆周运动过程的平均速率, 则后半个圆周运动过程受到的平均阻力小, 可得 $W_1 < W$, 解得 $v_1 > \sqrt{6gr}$, 小球再次到达最低点时由牛顿第二定律有 $F_1 - mg = m \frac{v_1^2}{r}$, 可得 $F_1 > 7mg$, 则力传感器的示数大于 $7mg$, C 错误, D 正确.

关键点拨 (1) 动能定理与牛顿运动定律是解决力学问题的两种重要方法, 同一个问题, 用动能定理一般要比用牛顿运动定律更简便. (2) 通常情况下, 若问题涉及时间、加速度或过程的细节, 要用牛顿运动定律, 而曲线运动、变力做功或多过程等问题, 一般要用动能定理.

$$3. (1) \frac{5}{3} \text{ N, 方向竖直向下} \quad (2) 1.35 \text{ m}$$

【解析】(1) 小滑块从 A 到 D , 由动能定理, 有

$$F_0 L - \mu mgL - mg \cdot 2r = \frac{1}{2} mv_D^2 - 0, \text{ 解得 } v_D = 1 \text{ m/s},$$

在 D 点, 假设细管对小滑块的作用力竖直向上, 由牛顿第二定律可得 $mg - F_N = \frac{mv_D^2}{r}$,

$$\text{解得 } F_N = \frac{5}{3} \text{ N},$$

$F_N > 0$, 假设成立.

根据牛顿第三定律可得小滑块对细管的作用力 $F'_N = F_N = \frac{5}{3} \text{ N}$, 方向竖直向下.

$$(2) \text{小滑块从 } A \text{ 到 } E, \text{ 由动能定理有 } F_0 L - \mu mgL = \frac{1}{2} mv_E^2 - 0,$$

$$\text{解得 } v_E = 5 \text{ m/s},$$

小滑块垂直打在斜面上, 且斜面倾角 $\theta = 45^\circ$, 则小滑块打在斜面上时竖直方向速度 $v_y = v_E = 5 \text{ m/s}$,

$$\text{平抛运动时间 } t = \frac{v_y}{g} = 0.5 \text{ s},$$

$$\text{打在斜面上的点与地面的竖直距离 } h' = h - \frac{1}{2} gt^2 = 1.15 \text{ m},$$

$$\text{打在斜面上的点与斜面底端的水平距离 } x' = \frac{h'}{\tan 45^\circ} = 1.15 \text{ m},$$

$$\text{则斜面底端到 } E \text{ 点的水平距离 } x = v_E t - x' = 1.35 \text{ m}.$$

4. B 【解析】小球在运动过程中只有重力做功, 机械能守恒, 因此经过 A 、 B 、 C 三点时机械能相等, A 错误; 小球恰好能通过最高点 A , 则在最高点的向心力由重力提供, 则有 $mg = \frac{mv_A^2}{L}$, 由 A 到 B 和由 A 到 C 的过程, 由动能定理可得 $mgL = E_{kB} - \frac{1}{2} mv_A^2$, $2mgL = E_{kC} - \frac{1}{2} mv_A^2$, 联立有 $\frac{E_{kB}}{E_{kC}} = \frac{3}{5}$, B 正确; 经过 B 、 C 两点时分别有 $T_B = \frac{mv_B^2}{L}$, $T_C - mg = \frac{mv_C^2}{L}$, 解得经过 B 、 C 两点时轻绳的拉力大小之比 $\frac{T_B}{T_C} = \frac{1}{2}$, C 错误; 经过 C 点时, 竖直方向速度为零, 重力的瞬时功率为零, D 错误.

$$5. (1) 40 \text{ N} \quad (2) \frac{1}{4} \text{ kg} \leq m_2 \leq \frac{4}{11} \text{ kg}$$

【解析】(1) 设物块 a 经过 B 点时的速度大小为 v_B , 轨道 BC

$$\text{光滑, 由机械能守恒定律得 } \frac{1}{2} m_1 v_B^2 = \frac{1}{2} m_1 v_C^2 + m_1 gR,$$

设物块 a 刚进入圆弧轨道 BC 时受到的支持力为 F_N , 由牛顿第二定律有 $F_N - m_1 g = m_1 \frac{v_B^2}{R}$, 联立解得 $F_N = 40 \text{ N}$, 由牛顿第三定律可知, 此时物块 a 对轨道的压力大小为 40 N .

(2) 设物块 a 经过 A 点的速度大小为 v_1 时恰能滑到 B 点, 由动能定理有 $-\mu m_1 g x = 0 - \frac{1}{2} m_1 v_1^2$, 解得 $v_1 = \sqrt{2} \text{ m/s}$,
 设物块 a 经过 A 点的速度大小为 v_2 时恰能滑到 C 点, 由动能定理有 $-\mu m_1 g x - m_1 g R = 0 - \frac{1}{2} m_1 v_2^2$, 解得 $v_2 = 2 \text{ m/s}$,
 要使物块 a 能滑上轨道 BC 且不从 C 点滑出, 物块 a 在 A 点的速度 v_A 应满足 $\sqrt{2} \text{ m/s} \leq v_A \leq 2 \text{ m/s}$,
 绳断裂前瞬间两物块的速度大小相等, 都等于 v_A , 绳断前 a 、 b 组成的系统机械能守恒, 有 $m_1 g h = \frac{1}{2} m_1 v_A^2 + \frac{1}{2} m_2 v_A^2 + m_2 g \cdot \frac{h}{\sin \theta}$, 解得 $\frac{1}{4} \text{ kg} \leq m_2 \leq \frac{4}{11} \text{ kg}$.

6. (1) \sqrt{gR} (2) $2mg$, 方向竖直向下 (3) $\frac{1}{6}$ (4) $3mgR$

【解析】(1) 设滑块第一次滑至 C 点时的速度为 v_C , 从 B 到 C 的过程中, 由机械能守恒定律有 $mgR(1 - \cos 60^\circ) = \frac{1}{2} m v_C^2$,
 解得 $v_C = \sqrt{gR}$.

(2) 设滑块第一次经过 C 点时轨道对滑块的支持力大小为 F_N , 在 C 点, 根据牛顿第二定律有 $F_N - mg = m \frac{v_C^2}{R}$,
 解得 $F_N = 2mg$,
 由牛顿第三定律得滑块对轨道 C 点的压力大小 $F'_N = F_N = 2mg$, 方向竖直向下.

(3) 设滑块与水平轨道间的动摩擦因数为 μ , 由动能定理得 $mgR(1 - \cos 60^\circ) - 3\mu mgR = 0$,
 解得 $\mu = \frac{1}{6}$.

(4) 设滑块刚好能通过半圆形轨道的最高点 A 时的速度为 v_A , 在 A 点, 根据牛顿第二定律有 $mg = m \frac{v_A^2}{R}$,
 设弹簧被锁定时具有的弹性势能为 $E_{\text{弹}}$, 滑块从 P 经 C 到 A , 根据功能关系有 $E_{\text{弹}} = 3\mu mgR + 2mgR + \frac{1}{2} m v_A^2$,
 解得 $E_{\text{弹}} = 3mgR$.

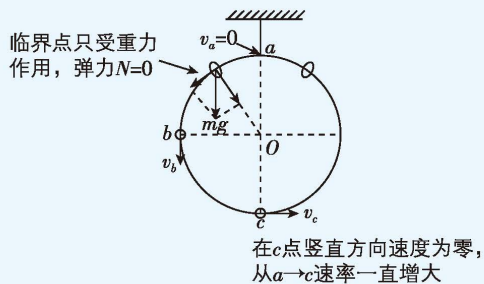
教材变式 本题目由教材 P110 第 10 题演变而来, 教材中题目的模型由弹簧与半圆形管道组合而成, 本题中的模型由弹簧与半圆形轨道组合而成, 两者的区别为管道能提供向外的支持力, 而轨道只能提供向内的支持力.

刷难关

1. A 【解析】盛水容器在最低点, 根据牛顿第二定律有 $F_T - mg = m \frac{v^2}{L}$, 可得 $F_T = \frac{m}{L} \cdot v^2 + mg$, 结合图像可得 $b = mg$, $\frac{m}{L} = \frac{b}{a}$, 解得 $L = \frac{am}{b}$, $g = \frac{b}{m}$, 故 A 正确, B 错误; 由题图乙可得, 当 $F_T = 2b$ 时 $v^2 = a$, C 错误; 盛水容器恰能做完整的圆周运动时, 在最高点有 $mg = m \frac{v'^2}{L}$, 从最高点到最低点, 根据动能定理有 $mg \times 2L = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{1}{2} m v'^2$, 解得 $v^2 = 5a$, 故 D 错误.

2. CD

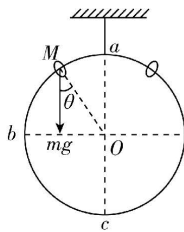
思路导引 小环的运动过程分析如图所示.



【解析】小环从 a 运动到 b 的过程中, 运动到图示位置 M 点, 设大圆环半径为 R , 小环与圆心的连线与竖直方向的夹角为 θ , 对小环, 由动能定理可得 $mgR(1 - \cos \theta) = \frac{1}{2} m v^2 - 0$, 如果小环与大圆环恰好无弹力, 则重力沿径向的分力提供向心力, 有 $mg \cos \theta = m \frac{v^2}{R}$, 解得 $\cos \theta = \frac{2}{3}$, 在该点上方大圆环对小环的弹力方向背离大圆环圆心, 在该点下方大圆环对小环的弹力方向指向大圆环的圆心, 所以小环从 a 运动到 b 的过

程中, 大圆环对小环的弹力不是始终指向大圆环的圆心, A 错误; 小环在 a 点时速度为零, 到 c 点时, 竖直方向速度也为零, 根据 $P = mgv_y$ 可知, 小环的重力的功率先增大后减小, B 错误; 小环运动到 b 点时, 大圆环对小环的弹力提供小环做圆周运动的向心力, 大圆环与小环间的作用力一定不为零, C 正确; 小环运动到大圆环最低点时, 由牛顿第二定律得 $F_1 - mg = m \frac{v_2^2}{R}$, 此时大圆环对小环的作用力最大, 由牛顿第三定律可知小环对大圆环向下的作用力最大, 此过程由动能定理得 $mg \times 2R = \frac{1}{2} m v_2^2$, 由牛顿第三定律得 $F'_1 = F_1$, 大圆环对轻杆作用力的最大值为 $F_2 = 2F'_1 + mg = 11mg$, D 正确.

易错点: 易忽略两个小环同时下滑到最低点



3. CD 【解析】 n 、 p 、 q 三个小球组成的系统机械能守恒, 转动过程中 n 、 p 、 q 三个小球的速度大小相等. 取开始时 n 球所在位置为重力势能零点, 设 q 球到达最低点时速度大小为 v , 从开始释放到 q 球到达最低点的过程中, 根据机械能守恒定律有 $3mgL(1 + \sin 30^\circ) + 2mgL(1 + \sin 30^\circ) = 2mgL(1 + \sin 30^\circ) + mgL(1 + \sin 30^\circ) + \frac{1}{2} (m + 2m + 3m) v^2$, 解得 $v = \sqrt{gL}$, 故 B 错误; 由以上分析可知, 在小球 q 到达最低点的过程中, 小球 p 的重力势能先变大后变小, 动能增加, 可知机械能变化, 故 A 错误; 设小球 q 到达最低点时, 轻杆对 q 的作用力为 F , 由牛顿第二定律得 $F - 3mg = 3m \frac{v^2}{L}$, 解得 $F = 6mg$, 方向竖直向上, 故 C 正确; 设小球 q 到达最低点过程, 轻杆对 q 做的功为 W_F ,

由动能定理得 $3mgL(1+\sin 30^\circ)+W_f=\frac{1}{2}\times 3mv^2$, 解得 $W_f=-3mgL$, 故 **D 正确**.

4. BCD 【解析】小球由 P 点飞出后做斜抛运动, 竖直方向速度为 0 时, 离地面的高度最大, 从 P 到 A 的时间为 $t=\frac{2v_0\sin\theta}{g}$,

最大高度为 $h=\frac{(v_0\sin\theta)^2}{2g}=\frac{v_0^2\sin^2\theta}{2g}$, PA 的水平距离 $x=v_0\cos\theta\cdot t=\frac{v_0^2\sin 2\theta}{g}$, **A 错误, B 正确**; 由能量守恒定律得, 小球在圆弧

形凹槽内由于摩擦产生的热量为 $Q=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}m\left(\frac{v_0}{2}\right)^2=\frac{3mv_0^2}{8}$, **C 正确**; AB 段光滑, 则小球到圆弧形凹槽最低点 B 过程中机械能守恒, 有 $\frac{1}{2}mv_0^2+mgR(1-\cos\theta)=\frac{1}{2}mv_B^2$, 在 B 点

根据牛顿第二定律得 $F_N-mg=m\frac{v_B^2}{R}$, 联立解得 $F_N=mg(3-2\cos\theta)+\frac{mv_0^2}{R}$, **D 正确**.

5. (1) ① $2\sqrt{2}$ m/s ② 9.6 N (2) $x\geq 1.15$ m

【解析】(1) ①滑块从 A 运动到 B , 根据动能定理可得

$$mgx\sin\theta-\mu_1mg\cos\theta\cdot x=\frac{1}{2}mv_B^2,$$

解得 $v_B=2\sqrt{2}$ m/s.

② AB 与圆轨道相切于 B 点, 则 OB 与 OD 的夹角为 37° , 在 B 点, 根据牛顿第二定律可得 $F_N-mg\cos 37^\circ=m\frac{v_B^2}{R}$,

解得 $F_N=9.6$ N,

根据牛顿第三定律可得, 滑块在圆轨道的 B 点时对轨道的压力大小为 9.6 N.

(2) 若滑块恰好通过圆轨道的最高点 C , 有 $mg=m\frac{v_C^2}{R}$,

滑块从 A 运动到 C , 根据动能定理可得

$$mgx_1\sin\theta-\mu_1mg\cos\theta\cdot x_1-mgR(1+\cos 37^\circ)=\frac{1}{2}mv_C^2,$$

解得 $x_1=1.15$ m,

此时满足 $mgx_1\sin\theta+mgR(1-\cos 37^\circ)>\mu_1mg\cos\theta\cdot x_1+\mu_2mgL+mgh$, 即滑块能运动到 F 点,

若 $x<1.15$ m, 则滑块不能通过圆轨道到达 F 点,

综上所述, x 的取值范围为 $x\geq 1.15$ m.

6. (1) 25 N, 方向竖直向下 (2) 0.57 J (3) 1.62 J

【解析】(1) 滑块恰好经过圆轨道的最高点, 则滑块在最高点

的速度 $v_1=0$,

从 C 点到圆轨道的最高点, 由机械能守恒定律有 $mg\cdot 2R=\frac{1}{2}mv_C^2$, 解得 $v_C=\frac{3\sqrt{10}}{5}$ m/s,

在 C 点时, 由牛顿第二定律有 $N_C-mg=m\frac{v_C^2}{R}$, 解得 $N_C=25$ N,

根据牛顿第三定律可知, 滑块对轨道最低点 C 的压力大小为 25 N, 方向竖直向下.

(2) 滑块从 A 运动到 C 过程, 由动能定理有

$$E_p+mg(L_{AB}\sin\theta+R-R\cos\theta)-\mu_1mg\cos\theta\cdot L_{AB}=\frac{1}{2}mv_C^2,$$

解得 $E_p=0.57$ J.

(3) 从圆轨道最高点到 D , 由动能定理有 $mgR(1-\cos\theta)=\frac{1}{2}\times mv_D^2$, 解得 $v_D=0.6$ m/s,

滑块在传送带上运动时, 摩擦力沿传送带向上, 加速度大小

关键点: 滑块相对于传送带向下运动

为 $a=\mu_2g\cos\theta-g\sin\theta=0.48$ m/s²,

滑块减速到零经过的位移大小 $x=\frac{v_D^2}{2a}=0.375$ m $> L_{DE}$, 可知滑块从 E 点离开传送带,

设滑块滑到传送带底端的时间为 t , 由 $L_{DE}=v_Dt-\frac{1}{2}at^2$, 解得 $t=0.5$ s (另一解不符合题意, 舍去),

滑块和传送带的相对位移为 $\Delta x=L_{DE}+vt=0.5$ m,

此过程产生的热量为 $Q=\mu_2mg\cos\theta\cdot\Delta x=1.62$ J.

第3章素养检测

刷速度

1. A 【解析】题图甲中汽车通过凹形桥时, 设桥对汽车的支持

关键点: 合力指向圆心, 则支持力大于重力

力为 F_N , 根据牛顿第二定律有 $F_N-mg=m\frac{v^2}{r}$, 解得 $F_N=mg+$

$m\frac{v^2}{r}$, 根据牛顿第三定律可知, 汽车对桥的压力 $F'_N=F_N$, 可

知汽车需减速, 这样可以减小对桥的压力, **A 正确**; 题图乙中汽车在水平面内转弯时, 由地面的静摩擦力提供转弯所需的

向心力, **B 错误**; 题图丙中在铁路转弯处的外轨比内轨高, 火车所受弹力与水平面有一个夹角, 这样一来火车转弯时所需的

向心力可以由弹力的水平分力提供, 就减轻了转弯时火车外侧轮缘与轨道的挤压, **C 错误**; 题图丁中洗衣机脱水桶脱水的原因是水滴受到的合力小于它所需的向心力, 做离心运

动, **D 错误**.

2. A 【解析】由题意可知, 蜗杆每旋转一圈, 蜗轮轮齿会转动

一格, 为齿轮传动模型, 线速度相同, 有 $20d=2\pi rn$, 解得 $n=30$ r/min, **A 正确**.

3. D 【解析】由于圆筒转过角度小于 90° , 所以圆筒应沿顺时针方向转动, 故 **A 错误**; 银原子做匀速直线运动, 银原子在筒

内运动时间 $t=\frac{\theta}{\omega}=\frac{s}{R\omega}$, 故 **B 错误**; 由题意可得 $\frac{2R}{v}=\frac{s}{R\omega}$, 解得

银原子速率 $v=\frac{2\omega R^2}{s}$, 故 **C 错误, D 正确**.

4. D 【解析】铁块做匀速圆周运动, 其加速度始终指向圆心, 故加速度大小不变, 但方向时刻改变, 故 **A 错误**; 当铁块运动

到最低点时, 对铁块, 有 $N_1-mg=m\omega^2r$, 解得 $N_1=mg+m\omega^2r$, 此时电机对地面的压力最大, 为 $F_{N1}=Mg+mg+m\omega^2r$, 同理可知,

铁块运动到最高点时, 电机对地面的压力最小, 为 $F_{N2}=Mg+mg-m\omega^2r$, 故压力差值 $\Delta F_N=F_{N1}-F_{N2}=2m\omega^2r$, 故 **B 错误**;

当铁块运动到圆心等高处时, 向心力大小为 $F_{向}=m\omega^2r$, 对电机, 水平方向有 $f=F_{向}=m\omega^2r$, 故 **C 错误**; 铁块运动到最

突破点: 整个过程电机始终静止, 电机受力平衡

高点时,电机对地面的压力最小,当 $F_{N2} = Mg + mg - m\omega^2 r = 0$ 时,电机恰好不脱离地面,有 $Mg + mg = m\omega^2 r$,解得 $\omega = \sqrt{\frac{Mg+mg}{mr}}$,可知若电机始终不脱离地面,铁块的角速度应满足 $\omega \leq \sqrt{\frac{Mg+mg}{mr}}$,故 **D 正确**。

5. D 【解析】两小球和轻杆一起绕轴 O 在竖直平面内做圆周运动,所以两小球的角速度相同,根据 $a = \omega^2 r$,可知小球 A 、 B 的加速度大小之比为 $a_A : a_B = 1 : 2$,故 **A 错误**;根据 $F = ma$,可知 A 、 B 的向心力之比为 $F_A : F_B = 1 : 1$,故 **B 错误**;若 $v = \sqrt{\frac{gL}{3}}$,对 A 有 $2mg - F_{NA} = \frac{2mv^2}{L}$,解得轻杆对 A 的支持力为

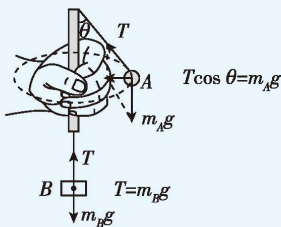
$$F_{NA} = 0, \text{ 根据 } v = \omega r, \text{ 可知 } v_B = 2\sqrt{\frac{gL}{3}}, \text{ 对 } B \text{ 有 } F_{NB} - mg = \frac{mv_B^2}{2L},$$

解得轻杆对 B 的拉力大小为 $F_{NB} = 3mg$,由牛顿第三定律可知, B 对轻杆的拉力大小为 $F'_{NB} = F_{NB} = 3mg$,方向向下,以支架、底座和轻杆整体为研究对象,水平地面对底座的支持力为 $N = Mg + F'_{NB} = Mg + 3mg$,根据牛顿第三定律可知,底座对水平地面的压力大小为 $Mg + 3mg$,故 **C 错误**,**D 正确**。

6. B 【解析】当 B 点在圆心左侧水平位置时,活塞运动到最左端,距离 O 点为 $s_1 = L + r$,当 B 点在圆心右侧水平位置时,活塞运动到最右端,距离 O 点为 $s_2 = L - r$,活塞运动范围为 $s_1 - s_2 = 2r$,与 L 无关,与 r 成正比,故 **A 错误**;设杆长为 $nr, n > 2$, $\tan \theta = \frac{1}{n}$,由几何知识得 $\sqrt{r^2 + (nr)^2} = \sqrt{n^2 + 1} \cdot r$, $\sqrt{n^2 r^2 - r^2} = \sqrt{n^2 - 1} \cdot r$,圆盘从图示位置转过 θ 角,活塞移动的距离 $\Delta x = r(\sqrt{n^2 + 1} - \sqrt{n^2 - 1})$,圆盘再转过 θ 角,由几何知识得 $x^2 + r^2 - 2rx \cos(90^\circ + \theta) = n^2 r^2$,活塞移动的距离 $\Delta x' = \sqrt{n^2 - 1} \cdot r - x = \left(\sqrt{n^2 - 1} - \frac{n^2 - 1}{\sqrt{n^2 + 1}} \right) r$,可知 $\Delta x > \Delta x'$,故 **B 正确**;图示位置时,即 OB 垂直于 AB ,此时 B 点的速度方向一定沿杆,则 $v_A \cos \theta = v_B = \omega r$,圆盘转过 θ 角时,即 OB 垂直于 AO ,活塞速度方向与圆盘上 B 点速度方向相同,则 $v'_A = v_B = \omega r$,可知 $v_A > v'_A$,故 **C、D 错误**。

7. AD

题图剖析



【解析】设 A 、 B 的质量分别为 m_A 和 m_B ,对小球 A 受力分析,则有 $T \cos \theta = m_A g$,对 B ,有 $T = m_B g$,解得 $\cos \theta = \frac{m_A}{m_B}$,可知 θ 不

变,即 $\theta_1 = \theta_2$,故 **A 正确**,**B 错误**; A 做匀速圆周运动,有 $m_B g \sin \theta = m_A \frac{v^2}{L \sin \theta}$,解得 $L = \frac{m_A}{m_B g \sin^2 \theta} v^2 = \frac{v^2 \cos \theta}{g \sin^2 \theta}$,因为 θ 不变, $v_2 > v_1$,所以 $L_2 > L_1$,故 **C 错误**,**D 正确**。

8. AC 【解析】小球在竖直面内做圆周运动通过最高点的临界条件是 $v_B = \sqrt{gR}$,小球从 A 到 B 的过程中在 A 点的速度最小时满足 $-mgR = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2$,解得 $v_A = \sqrt{3gR}$,即只要小球在

A 点速度 $v_A \geq \sqrt{3gR}$,小球就可以到达 B 点,故 **A 正确**;小球克服重力做功的功率等于重力与小球在竖直方向速度的乘积,由于从 A 到 B 的过程中,重力对小球做负功,小球的速度减小,同时小球速度方向与竖直方向的夹角逐渐增大,小球速度在竖直方向的分量逐渐减小,故小球克服重力做功的功率逐渐减小,故 **B 错误**;小球沿弧 ABC 运动过程中,重力先做负功后做正功,支持力不做功,故小球的速率先减小后增大,整个过程中小球的平均速率小于小球在 A 点时的速率,沿弧 AOC 运动时,重力先做正功,后做负功,小球的速率先增大后减小,整个过程中的平均速率大于小球在 A 点时的速率,而两段圆弧长度相同,故小球在平均速率大的弧 AOC 运动的时间较短,故 **C 正确**;滑动摩擦力的大小与正压力有关,小球在弧 ABC 的平均速率小于在弧 AOC 的平均速率,由牛顿第二定律可知,小球在弧 ABC 所受的平均支持力小于在弧 AOC 所受的平均支持力,即小球在弧 AOC 运动时受轨道的支持力大,故受到的摩擦力大,克服摩擦力做功多,故小球沿弧 AOC 到达 C 点时损失的动能多,故 **D 错误**。

9. AB 【解析】小球和弹簧组成的系统机械能守恒,弹簧长度等于 R 时为原长状态,弹性势能为零,则小球的机械能最大,故 **A 正确**;小球在 A 点和 B 点时,弹簧的形变量相同,则弹性势能的变化量为零,根据动能定理有 $mg \cdot 2R = \frac{1}{2}mv_B^2$,解得小

球在 B 点的速度 $v_B = 2\sqrt{gR}$,故 **B 正确**;小球运动到 B 点时,重力的方向与速度方向垂直,则重力的功率为零,故 **C 错误**;设弹簧的劲度系数为 k ,在 A 点,根据平衡条件有 $N_A = mg + k \cdot \frac{R}{2}$;在 B 点,根据牛顿第二定律得 $N_B - k \cdot \frac{R}{2} - mg = m \frac{v_B^2}{R}$,解得 $N_B = k \cdot \frac{R}{2} + 5mg$,可知小球在 A 、 B 两点时对圆环的压力差为 $\Delta N = N_B - N_A = 4mg$,故 **D 错误**。

10. CD 【解析】小球位于初始位置时的向心加速度大小为 $a_1 = \frac{v_0^2}{l}$,沿斜面向下的加速度大小 $a_2 = g \sin \theta$,则小球位于初

始位置时的加速度大于 $\frac{v_0^2}{l}$,故 **A 错误**;由题图乙可知,小球通

过最高点时细线的拉力为零,有 $mg \sin \theta = m \frac{v_1^2}{l}$,解得小球通过最高点时速度大小为 $v_1 = \sqrt{gl \sin \theta}$,故 **B 错误**;小球在初始位置时,有 $F_0 = m \frac{v_0^2}{l}$,则小球通过最高点时速度大小为 $v_1 =$

$\sqrt{gl \sin \theta} = \sqrt{\frac{mgs \sin \theta}{F_0}} v_0$,故 **C 正确**;小球通过最低点时,有 $2F_0 - mgs \sin \theta = m \frac{v_2^2}{l}$,解得小球通过最低点时速度大小为 $v_2 =$

$\sqrt{\frac{2F_0 - mgs \sin \theta}{F_0}} v_0$,故 **D 正确**。

11. (1) D (2) 12.5 (3) 小于

【解析】(1) 本实验所采用的探究方法是控制变量法,求匀变速直线运动的位移,采用的是微元累积法,“瞬时速度”概念的建立,采用的是极限思想,通过平面镜观察桌面的微小形

变,采用了放大法的物理思想,探究加速度与物体受力、物体质量的关系采用了控制变量法,故 **A、B、C 错误,D 正确**。

(2) 根据极短时间内的平均速度等于瞬时速度,可知挡光条处的线速度 $v = \frac{d}{\Delta t}$,由 $v = \omega r$,可得小物块的角速度为 $\omega =$

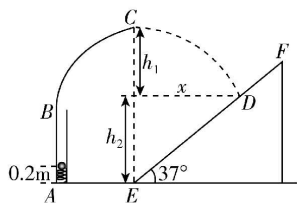
$$\frac{v}{r} = \frac{d}{r \Delta t}, \text{代入数据可得 } \omega = 12.5 \text{ rad/s}.$$

(3) 若保持角速度和半径都不变,由牛顿第二定律有 $F = m\omega^2 r$,可知半径相同, ω 一定时,质量大的小物块需要的向心力大,所以曲线①对应的小物块质量小于曲线②对应的小物块质量。

12. (1) 0.8 m (2) 1.95 J

【解析】(1) 小球恰好通过 C 点,在 C 点,根据牛顿第二定律有 $mg = \frac{mv_C^2}{R}$,垂直击中斜面上 D 点时的竖直分速度与水平分速度的关系为 $v_C = v_y \tan 37^\circ$,小球离开 C 点后做平抛运动,竖直方向为自由落体运动,则 $v_y^2 = 2gh_1$,解得 $h_1 = 0.8 \text{ m}$ 。

(2) 小球离开 C 点后做平抛运动,如图,竖直方向有 $h_1 = \frac{1}{2}gt^2$,水平方向有 $x = v_C t$,由几何关系可得 $h_2 = x \tan 37^\circ$,由动能定理有 $W_{\text{弹}} - mg(h_1 + h_2 - 0.2 \text{ m}) = \frac{1}{2}mv_C^2$,解得 $W_{\text{弹}} = 1.95 \text{ J}$ 。



13. (1) 200 N/m (2) $\frac{20\sqrt{5}}{3} \text{ rad/s}$ (3) $\omega > \frac{100\sqrt{3}}{9} \text{ rad/s}$

【解析】(1) 杆处于静止状态时,对小球受力分析,由平衡条件得 $mg \sin \theta = F_{\text{弹}}$,根据胡克定律得 $F_{\text{弹}} = k(L - 0.6L)$,解得 $k = 200 \text{ N/m}$ 。

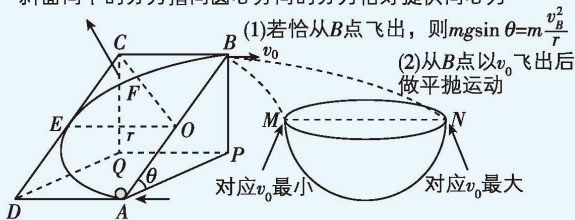
(2) 弹簧为原长时,小球只受重力和杆的支持力,有 $mg \tan \theta = mL \cos \theta \cdot \omega_0^2$,解得 $\omega_0 = \frac{20\sqrt{5}}{3} \text{ rad/s}$ 。

(3) 当弹簧伸长量为 $0.8L$ 时,小球恰好不会从 B 端飞出,设此时弹簧的弹力为 F ,对小球受力分析可得,竖直方向上有 $F_N \cos \theta = mg + F \sin \theta$,水平方向上有 $F_N \sin \theta + F \cos \theta = m(L + 0.8L) \cos \theta \cdot \omega_1^2$,根据胡克定律得 $F = k \cdot 0.8L$,解得 $\omega_1 = \frac{100\sqrt{3}}{9} \text{ rad/s}$,所以当杆的角速度 $\omega > \frac{100\sqrt{3}}{9} \text{ rad/s}$ 时,小球会从 B 端飞出。

14. (1) $\sqrt{6} \text{ m/s}$ (2) $3 \text{ m/s} < v_0 < 26 \text{ m/s}$ (3) $\sqrt{3\sqrt{2}} \text{ m/s}$

思路导引

(3) 若从 F 点离开,则此处挡板对小球的弹力为 0,重力沿斜面向下的分力指向圆心方向的分力恰好提供向心力

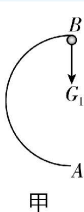


【解析】(1) 当小球恰好从 B 点飞出时,此时对挡板的压力 $N = 0$,如图甲所示,

$$\text{由牛顿第二定律可得 } G_1 = mg \sin \theta = \frac{mv_B^2}{r},$$

代入数据解得 $v_B = \sqrt{6} \text{ m/s}$ 。

(2) 小球从 B 点飞出后,做平抛运动,有



$$2r \sin \theta - R = \frac{1}{2}gt^2, x = v_0 t,$$

根据题意可知 $L < x < L + 2R$,

联立解得 $3 \text{ m/s} < v_0 < 26 \text{ m/s}$ 。

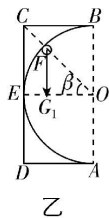
(3) 当小球从 F 点离开挡板时,如图乙所示,

此时小球对挡板的压力 $N' = 0$,

由牛顿第二定律可得

$$G_1 \sin \beta = mg \sin \theta \sin \beta = \frac{mv_F^2}{r},$$

由几何关系可知 $\beta = 45^\circ$,代入数据解得 $v_F = \sqrt{3\sqrt{2}} \text{ m/s}$ 。



第 3 章 高考强化

刷真题

1. AD 【解析】由题图可知,P、Q 绕 O 点做同轴转动,两点的周期和角速度相同,**B 错误**; $r_Q > r_P$,根据 $v = \omega r$ 可知,Q 点的线速度大于 P 点的线速度,**A 正确**;由 $a = \omega^2 r$ 可知,Q 点的向心加速度大于 P 点的向心加速度,**C 错误**;P 点做匀速圆周运动,合外力提供向心力,而向心力总是指向圆心 O,**D 正确**。

2. BC 【解析】物品释放后做平抛运动,在竖直方向有 $H = \frac{1}{2}gt_1^2$,可得 $t_1 = 2 \text{ s}$,无人机做圆周运动的最大角速度为 ω_{max} ,物品做平抛运动的初速度为 $v_0 = \omega_{\text{max}} R_2$,物品做平抛运动的水平位移大小为 $x = v_0 t_1$,根据几何关系有 $R_1^2 = R_2^2 + x^2$,联立可得 $\omega_{\text{max}} = \frac{2}{3} \text{ rad/s}$,**A 错误,B 正确**;无人机从 A 点运动到 B 点

的时间为 $t_2 = \frac{1}{4} \times \frac{2\pi}{\omega_{\text{max}}} = \frac{3\pi}{4} \text{ s} > 2 \text{ s}$,所以无人机运动到 B 点时,在 A 点释放的物品已经落地,**C 正确,D 错误**。

3. ①A ②角速度平方 不变

【解析】①本实验先控制其他几个因素不变,研究其中一个因素变化对向心力产生的影响,这种实验方法叫作控制变量法,**A 正确**。

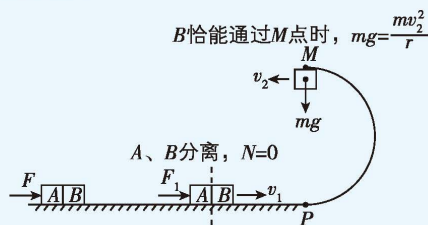
②标尺上露出的红白相间的等分标记的比值为两个小球所受向心力的比值,在小球质量和转动半径相同的情况下,根据 $F = m\omega^2 r$,可知左右标尺露出的红白相间等分标记的比值等于两小球的角速度平方之比。小球的角速度等于同轴转动的变速塔轮的角速度,左右两侧变速塔轮为皮带传动,故线速度大小相等,根据 $\omega = \frac{v}{r}$,可知角速度与两侧变速塔轮半径成反比,任意时刻比值不变,故逐渐加大手柄的转速,角速度平方之比不变,左右标尺露出的红白相间等分标记的比值不变。

4. (1) 1.5 J (2) 0.5 N (3) $r \leq 0.2 \text{ m}$

思路导引 (1) 应用恒力做功公式求解;

(2) 连接体问题,用整体法和隔离法分析;

(3) 运动过程分析如图所示。



【解析】(1) $0 \sim 1 \text{ m}$ 内, $F = 1.5 \text{ N}$,
 F 做功为 $W = Fx_1$,

高中必刷题 物理

代入数据得 $W=1.5 \text{ J}$.

(2) $x=1 \text{ m}$ 时, $F=1.5 \text{ N}$,

对 A、B 整体受力分析,由牛顿第二定律得 $F-\mu mg=2ma$,

设 A、B 之间的弹力为 N ,

对 B,由牛顿第二定律得 $N=ma$,

联立解得 $N=0.5 \text{ N}$.

(3) 设 A、B 分开时推力为 F_1 ,此时 A 所受合外力为 0,有

$F_1-\mu mg=0$,

解得 $F_1=0.5 \text{ N}$,

由题图乙可得此时位移大小 $x_2=3 \text{ m}$,

设 A、B 分开时速度大小为 v_1 ,由动能定理得

$$W_F-\mu mgx_2=\frac{1}{2}\times 2mv_1^2,$$

$F-x$ 图线与横轴所围面积表示 F 做的功,由题图乙可得

$$W_F=1.5\times 1 \text{ J}+\frac{1}{2}\times (1.5+0.5)\times 2 \text{ J}=3.5 \text{ J},$$

解得 $v_1=\sqrt{10} \text{ m/s}$,

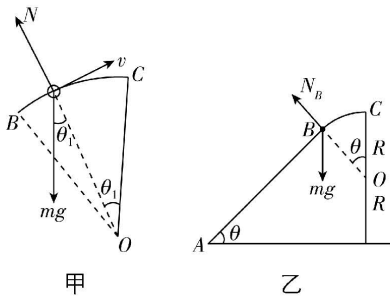
设圆弧半径为 r ,若 B 能到达 M 点,设 B 到达 M 点时速度大

小为 v_2 ,则满足 $mg\leq m\frac{v_2^2}{r}$,

对 B 由动能定理得 $-2mgr=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2$,

联立解得 $r\leq 0.2 \text{ m}$.

- 5. AD** 【解析】小球从 B 到 C 的受力分析如图甲所示,沿半径方向,由牛顿第二定律有 $mg\cos\theta_1-N=\frac{mv^2}{R}$,解得 $N=mg\cos\theta_1-\frac{mv^2}{R}$,由 B 到 C 的过程中, θ_1 逐渐减小, v 逐渐减小,故 N 逐渐增大,由牛顿第三定律可知,小球从 B 到 C 的过程中,对轨道的压力逐渐增大,**A 正确**;由 A 到 C 的过程中,小球的竖直分速度逐渐减小,故重力的功率逐渐减小,**B 错误**;小球从 A 到 C 的过程中机械能守恒,有 $\frac{1}{2}mv_0^2=mg\cdot 2R$,解得 $v_0=2\sqrt{gR}$,**C 错误**;若小球初速度 v_0 增大,则小球一定可以到达 B 点,在 B 点时对小球进行受力分析如图乙所示,沿半径方向,有 $N_B=mg\cos\theta-\frac{mv_B^2}{R}$,当 $v_B\geq\sqrt{gR\cos\theta}$ 时, $N_B\leq 0$,则小球会从 B 点脱离轨道,**D 正确**.



刷原创

- 1. B** 【解析】由题意可知临界融合频率为 50 Hz , $k=3$,代入公

式可得 $n_{\min}=\frac{50}{3} \text{ r/s}$,圆盘的最小角速度 $\omega_{\min}=2\pi n_{\min}\approx$

105 rad/s . 故选 B.

- 2. BD** 【解析】无人机做匀速圆周运动,加

速度大小不变,方向一直在变化,**A 错误**.

对无人机受力分析,如图所示,可知 $F=$

$\frac{mg}{\cos\theta}$,根据题图乙可知 $F-\frac{1}{\cos\theta}$ 图像的斜

率为 $mg=10 \text{ N}$,可得 $m=1 \text{ kg}$,**B 正确**. 根

据受力分析结合牛顿第二定律可知, $mg\tan\theta=m\frac{4\pi^2}{T^2}R$,将 $T=$

$10\pi \text{ s}$ 代入可得 $\tan\theta=\frac{2}{5}$,则 $\theta\neq 45^\circ$,**C 错误**. 根据受力分析

结合牛顿第二定律可知 $mg\tan\theta=m\frac{v^2}{R}$, θ 最大取 37° 时, v 有

最大值,此时 $v_m=\sqrt{gR\tan 37^\circ}=5\sqrt{30} \text{ m/s}$,**D 正确**.

- 3. (1)** $\sqrt{\sqrt{3}gR}$ **(2)** $\frac{\pi}{3}\sqrt{\frac{R}{\sqrt{3}g}}$ **(3)** $\sqrt{R^2+2\sqrt{3}Rh+h^2}$

【解析】(1) 由几何关系可得链球做匀速圆周运动的轨迹半

径为 $r=\frac{2\sqrt{3}R}{3}\sin\theta=R$,

对链球受力分析,由牛顿第二定律可得 $mg\tan\theta=\frac{mv^2}{r}$,

联立解得 $v=\sqrt{\sqrt{3}gR}$.

(2) 释放链球后,链球沿着圆周轨

迹的切线飞出,要使链球恰好能飞

出栅栏,释放点为 M、N 两点,如图

所示,由几何关系可知 OM 与 ON

的夹角为 $\beta=\frac{\pi}{3}$,

设该同学可选择的时间为 t ,结合匀速圆周运动的公式可得

$$t=\frac{\beta R}{v},\text{解得 } t=\frac{\pi}{3}\sqrt{\frac{R}{\sqrt{3}g}}.$$

(3) 链球在竖直方向上做自由落体运动,根据运动学公式得

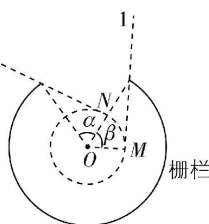
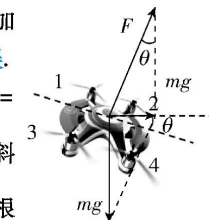
$$h=\frac{1}{2}gt_0^2,$$

链球在水平方向上做匀速直线运动,其位移为 $x=vt_0$,

设链球的落地点到 O 点的距离为 L ,根据几何关系可得

$$L=\sqrt{R^2+x^2+h^2},$$

解得 $L=\sqrt{R^2+2\sqrt{3}Rh+h^2}$.



第4章 万有引力定律及航天

第1节 天地力的综合:万有引力定律

课时1 开普勒定律

刷基础

- 1. A** 【解析】根据开普勒第三定律可知, k 与轨道半长轴 a 和周期 T 无关,仅取决于中心天体的质量,故 **A 正确**,**B、C 错误**.

[174]

误;地球绕太阳运动和月球绕地球运动的中心天体不同, k 不同,故 **D 错误**.

- 2. C** 【解析】由开普勒第三定律 $\frac{a^3}{T^2}=k$ 可知,土星的轨道半长

轴大于地球的轨道半长轴,则土星的公转周期比地球的大,**A**

错误;火星绕太阳的运行轨道为椭圆,运行过程中,速率发生