

## 第二章

## 匀速圆周运动

### 第1节 圆周运动



#### 对点上分

**1. B** 【解析】匀速圆周运动是变速运动，线速度大小不变，但方向时刻改变，它的角速度不变，所以做匀速圆周运动的物体不处于平衡状态，故说法①③错误，②正确，**故 B 正确**。

→ **易错点** 速度是矢量，既有大小又有方向，匀速圆周运动的速度虽然大小不变，但是方向变化，为变速运动

**2. B** 【解析】在时间  $t$  内转动  $n$  周，则周期为  $T = \frac{t}{n}$ ，根据线速度定义得该质点的线速度大小  $v = \frac{2\pi R}{T} = \frac{2\pi n R}{t}$ ，**故 B 正确**。

**3. B** 【解析】根据角速度与周期的关系  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ，解得其角速度为  $\omega = \pi \text{ rad/s}$ ，**故 A 错误**；根据转速、频率与周期的关系可得  $n = f = \frac{1}{T} = 0.5 \text{ Hz} = 0.5 \text{ r/s}$ ，**故 B 正确，D 错误**；根据题意可知，质点的线速度大小  $v = \frac{2\pi R}{T}$ ，代入数据解得  $R = \frac{vT}{2\pi} = \frac{8 \times 2}{2\pi} \text{ m} = \frac{8}{\pi} \text{ m}$ ，**故 C 错误**。

**4. C**



#### 思路分析

本题的突破点：小球沿螺旋形轨道运动过程中，线速度大小不变。再结合轨道半径的变化，分析小球角速度的变化，进一步分析周期的变化。

【解析】小球从 1 处到 3 处做曲线运动，则从 1 处到 3 处的位移大小小于从 1 处到 3 处的路程，**故 A 错误**；螺旋形水平轨道光滑，小球做圆周运动的线速度大小不变，经过 2 处后，轨道半径减小，由  $v = \omega r$  可知，小球做圆周运动的角速度增大，由  $v = \frac{2\pi r}{T}$  可知，小球做圆周运动的周期减小，**故 B、D 错误，C 正确**。

**5. (1) 0.025 s (2)  $80\pi \text{ rad/s}$  (3)  $16\pi \text{ m/s}$**

【解析】(1) 曲轴每分钟转 2 400 周，则转速为  $n = \frac{2\,400}{60} \text{ r/s} = 40 \text{ r/s}$ ，曲轴转动的周期  $T = \frac{1}{n} = 0.025 \text{ s}$ 。

(2) 根据  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ ，可得角速度为  $\omega = \frac{2\pi}{T} = 80\pi \text{ rad/s}$ 。

(3) 根据  $v = \omega r$ ，可得曲轴上距转轴  $r = 0.2 \text{ m}$  的点的线速度大小为  $v = 16\pi \text{ m/s}$ 。

**6. C**



#### 攻略上分

A、B 两点同轴传动，根据大招攻略 10 中的思路，可以根据同轴传动的特点，判断线速度和角速度的关系。

【解析】A、B 为自行车车轮一根辐条上的两点，同轴传动，所以  
→ **大招攻略 10 精析传动模型——圆周运动公式与圆周运动的传动关系问题**

$\omega_A = \omega_B$ , 由  $v = \omega r$ ,  $r_B > r_A$ , 可知  $v_A < v_B$ ,  $\frac{v_A}{\omega_A} < \frac{v_B}{\omega_B}$ , 故 C 正确.

## 7. BD

**攻略上分**  $a$ 、 $b$  两点皮带传动, 根据大招攻略 10 中的思路, 可以根据皮带传动的特点, 判断两点各物理量的关系.

**【解析】**  $A$ 、 $B$  两轮用皮带传动, 可知  $a$ 、 $b$  两点的线速度大小相等, 即  $v_a = v_b$ , 根据线速度与角速度的关系  $v = r\omega$ ,  $r_A = 2r_B$ , 可得  $\omega_b = 2\omega_a$ ,  $b$ 、 $c$  两点同轴转动, 可知  $b$ 、 $c$  两点的角速度相等, 则有  $\omega_b = \omega_c$ ,  $r_c = 2r_B$ , 可得  $v_c = 2v_b$ ,  $a$ 、 $b$ 、 $c$  三点的角速度之比为  $1:2:2$ ,  $a$ 、 $b$ 、 $c$  三点的线速度大小之比为  $1:1:2$ , 故 A 错误, B 正确; 根据周期与角速度的关系  $T = \frac{2\pi}{\omega}$  可得,  $a$ 、 $b$ 、 $c$  三点的周期之比为  $2:1:1$ , 故 C 错误; 根据角速度与转速的关系  $\omega = 2\pi n$  可知,  $a$ 、 $b$ 、 $c$  三点的转速之比为  $1:2:2$ , 故 D 正确.

**关键点拨** 同轴传动角速度大小相等, 皮带传动或齿轮传动, 轮子边缘的线速度大小相等.

## 8. A

**攻略上分**  $P$ 、 $Q$  为齿轮传动, 根据大招攻略 10 中的思路, 可以根据齿轮传动的特点, 找出两齿轮角速度的关系进而求解.

**【解析】** 齿轮能够密切啮合在一起进行传动时齿距是相同的, 故齿数与半径成正比, 齿轮传动时边缘线速度大小相等, 则有

大招攻略 10 精析传动模型——圆周运动公式与圆周运动的传动关系问题

$$\omega R_P = \omega_Q R_Q, \text{ 解得 } \omega_Q = \frac{\omega R_P}{R_Q} = \frac{n_1}{n_2} \omega, \text{ 故 A 正确.}$$

## 9. AC

**攻略上分** 小球做自由落体运动, 圆筒做匀速圆周运动, 根据大招攻略 11 中的思路, 可知小球在圆筒中下落的时间, 圆筒转了半圈的奇数倍, 进一步分析求解.

**【解析】** 小球刚落入圆筒时的速度大小  $v_0 = \sqrt{2gh} = 8 \text{ m/s}$ , 设小球在圆筒中运动的时间为  $t$ , 则  $2R = v_0 t + \frac{1}{2}gt^2$ , 解得  $t = 0.4 \text{ s}$ , 则  $t =$

大招攻略 11 圆周运动的多解问题

$$\frac{\pi}{\omega} + n \frac{2\pi}{\omega} (n=0, 1, 2, 3, \dots), \text{ 当 } n=0 \text{ 时, } \omega = \frac{5\pi}{2} \text{ rad/s, 当 } n=1 \text{ 时,}$$

$$\omega = \frac{15\pi}{2} \text{ rad/s, 角速度不可能为 } 5\pi \text{ rad/s 或 } 10\pi \text{ rad/s, 故 A、C}$$

正确, B、D 错误.

## 10. C

**攻略上分** 子弹做平抛运动, 圆筒做匀速圆周运动, 根据大招攻略 11 中的思路, 可知子弹在圆筒中下落高度  $h$  的时间内, 圆筒转了半圈的奇数倍, 进行求解.

**【解析】** 子弹在圆筒内做平抛运动, 在竖直方向上有  $h = \frac{1}{2}gt^2$ , 水平方向上有  $d = v_0 t$ , 联立求得  $v_0 = d \sqrt{\frac{g}{2h}}$ , 故 A、B 错误; 子弹从

右侧射穿圆筒后发现两弹孔在同一竖直线上,则在时间  $t$  内,圆筒转过的角度为  $\theta = (2n-1)\pi (n=1,2,3,\dots)$ ,则角速度  $\omega = \frac{\theta}{t} = (2n-1)\pi\sqrt{\frac{g}{2h}} (n=1,2,3,\dots)$ ,角速度可能为  $\omega = 5\pi\sqrt{\frac{g}{2h}}$ ,不可能为  $\omega = 6\pi\sqrt{\frac{g}{2h}}$ ,故 C 正确,D 错误.

### 易错分析 忽略圆周运动中的多解问题

在分析圆周运动时,往往容易忽略运动的周期性,导致漏解.本题中子弹穿入和穿出的弹孔在同一竖直线上,则在子弹穿入到穿出的这段时间,圆筒转过的角度为  $\theta = (2n-1)\pi (n=1,2,3,\dots)$ ,因而角速度  $\omega = \frac{\theta}{t} = (2n-1)\pi\sqrt{\frac{g}{2h}} (n=1,2,3,\dots)$ .

## 11. B

**攻略上分** 飞镖做平抛运动,圆盘做匀速圆周运动,根据大招攻略 11 中的思路,可知飞镖做平抛运动下落  $d$  的时间内,圆盘转了半圈的奇数倍,即可分析求解.

**【解析】**飞镖做平抛运动  $d = \frac{1}{2}gt^2$ ,  $L = v_0t$ ,解得  $2dv_0^2 = L^2g$ ,故 A 错误;根据上述解得  $t = \frac{L}{v_0}$ ,圆盘转动的周期  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ ,由于飞镖恰好击中 A 点,则有  $t = nT + \frac{T}{2} (n=0,1,2,3,\dots)$ ,解得  $\omega L = \pi(1+2n)v_0$

大招攻略 11 圆周运动的多解问题

$(n=0,1,2,3,\dots)$ ,故 B 正确;根据上述有  $v_0 = \frac{\omega L}{\pi(1+2n)} (n=0,1,2,3,\dots)$ ,故 C 错误;根据  $d = \frac{1}{2}gt^2$ ,  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ ,  $t = nT + \frac{T}{2} (n=0,1,2,3,\dots)$ ,解得  $2d\omega^2 = g\pi^2(1+2n)^2 (n=0,1,2,3,\dots)$ ,故 D 错误.



### 能力上分

**1. B** **【解析】**已知该汽车轮胎周长约为 2 m,由于车速等于车轮的

线速度,则轮胎的转速  $n = \frac{v}{l} = \frac{36}{2} \text{ r/s} = 18 \text{ r/s} = 1080 \text{ r/min}$ ,所以

此时汽车的传动比为  $\frac{n'}{n} = \frac{1800}{300} = 6$ ,故 B 正确.

**2. BC** **【解析】**为了充分利用地球的自转速度,应沿着地球自转的方向发射卫星,故 A 错误,B 正确;根据  $v = \omega r$  可知,地面上越靠近赤道的位置,其随地球自转的线速度越大,为了充分利用地球

的自转速度,发射地点应靠近赤道,故 C 正确,D 错误.

**3. A** **【解析】**依题意,杆 PQ 始终保持水平,P、Q 两点相对静止,

易错点 P 点做圆周运动容易分析, Q 点的运动不容易观察,需通过 P、Q 两点相对静止分析

二者具有相同的线速度、角速度和加速度,故 A 正确,D 错误;OQ 间距离在变化,可以看出 Q 点不是绕 O 点做圆周运动,故 B 错误;Q 点在竖直方向的运动与 P 点相同,P 点做匀速圆周运动,则 P 点相对于 O 点在竖直方向的位置  $y$  关于时间  $t$  的关系为  $y =$

$l_{OP}\sin\left(\frac{\pi}{6} + \omega t\right)$ ,可以看出 Q 点在竖直方向不是做匀速运动,故

C 错误.

4. A 【解析】A 轮、B 轮靠摩擦传动,边缘点线速度大小相等,故  $v_a : v_b = 1 : 1$ , B 轮、C 轮角速度相同,根据  $v = \omega r$  可知,线速度大小之比为半径之比,所以  $v_b : v_c = 3 : 2$ ,则  $v_a : v_b : v_c = 3 : 3 : 2$ ,故 A 正确; b、c 角速度相同,而 a、b 线速度大小相等,根据  $v = \omega r$  可知  $\omega_a : \omega_b = 3 : 2$ ,则  $\omega_a : \omega_b : \omega_c = 3 : 2 : 2$ ,故 B 错误;根据  $\omega = 2\pi n$  可得  $n_a : n_b : n_c = 3 : 2 : 2$ ,故 C 错误;根据  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ ,结合  $\omega_a : \omega_b : \omega_c = 3 : 2 : 2$ ,可得  $T_a : T_b : T_c = 2 : 3 : 3$ ,故 D 错误.

#### 5. (1) 1 : 3 (2) 100 次

【解析】(1) 牙盘与飞轮间的传动类型是皮带传动,边缘点线速度大小相等,故  $v_{\text{牙}} = v_{\text{飞}}$ ,根据线速度与角速度关系公式  $v = \omega r$ ,可得

$$\frac{\omega_{\text{板}}}{\omega_{\text{飞}}} = \frac{\omega_{\text{牙}}}{\omega_{\text{飞}}} = \frac{R_3}{R_2} = \frac{1}{3}, \text{飞轮与后轮之间同轴传动,角速度相等,则}$$

$$\omega_{\text{飞}} = \omega_{\text{轮}}, \text{根据 } \omega = 2\pi n \text{ 可得脚踏板和后轮的转速之比 } \frac{n_{\text{板}}}{n_{\text{轮}}} = \frac{\omega_{\text{板}}}{\omega_{\text{轮}}}$$

$$\frac{\omega_{\text{板}}}{\omega_{\text{飞}}} = \frac{1}{3}.$$

$$(2) \text{ 根据 } v = \omega r, \omega = 2\pi n, \text{ 可得 } n_{\text{轮}} = \frac{v_{\text{轮}}}{2\pi R_4} = \frac{5}{2 \times 3.14 \times 0.32} \text{ r/s} \approx$$

$$2.49 \text{ r/s}, \text{ 则 } n_{\text{板}} = \frac{1}{3} n_{\text{轮}} = 0.83 \text{ r/s}, \text{ 骑车人每分钟蹬脚踏板的次}$$

$$\text{数 } N = 2 \times 60 n_{\text{板}} \approx 100 \text{ 次}.$$

## 第 2 节 匀速圆周运动的向心力和向心加速度

### 课时 1 向心力



#### 对点上分

1. B 【解析】向心力方向垂直于物体速度方向,可知,向心力只改变速度的方向,不改变速度的大小,故 A 错误;向心力是一个效果力,由沿半径方向的合力提供,可以是重力、弹力、摩擦力等各种力的合力,也可以是其中某一种力或某一力的分力,故 B 正确;做匀速圆周运动的物体其向心力方向始终指向圆心,方向不断改变,不是恒力,向心力是一种效果力,故 C 错误;只有做匀速圆周运动的物体才是由合外力提供向心力,做变速圆周运动的物体线速度大小与方向均在变化,则其合外力沿半径方向的分力提供向心力,沿切向的分力改变线速度大小,即合外力方向
- 易错点 匀速圆周运动,向心力为受到的合力;变速圆周运动,向心力不是受到的合力
- 并没有沿半径方向,故 D 错误.

**注意说明** 向心力是表示力的作用效果的力,向心力方向不断在变,是变力.

2. C 【解析】雪橇做匀速圆周运动,合外力提供向心力,指向圆心;雪橇在某点的线速度方向沿该点的切线方向,故 C 正确.
3. B 【解析】小物块在竖直方向上受重力和支持力,由于小物块在水平面内做匀速圆周运动,合外力提供向心力,则小物块一定受到摩擦力,所以小物块受到的合力大小不为零;向心力是效果力,受力分析时不能将其与其他性质力并列分析,故 A、C、D 错误, B 正确.

### 易错分析 未明确向心力是效果力

在分析受力情况时,往往容易把向心力作为一个实际作用力,而向心力实际上是由其他力所提供的效果力。

4. D 【解析】竖直方向上,小物块受重力和摩擦力作用而平衡,水平方向上受筒壁的弹力作用,其中弹力提供物块做圆周运动的向心力,故 D 正确。

5. (1) = (2) 2 : 1 2 : 1 (3) B (4) 0.13

【解析】(1) 因  $a$ 、 $b$  两轮通过皮带相连,且  $a$ 、 $b$  两轮半径相等,故两轮角速度相等,而  $A$ 、 $B$  槽分别与  $a$ 、 $b$  轮同轴固定,故两槽的角速度分别与两轮的角速度对应相等,即  $\omega_A = \omega_B$ 。

(2) 钢球 1、2 的角速度相同,做匀速圆周运动的轨迹半径之比为 2 : 1,根据  $v = \omega r$  可知,钢球 1、2 的线速度大小之比为 2 : 1;根据向心力公式  $F = m\omega^2 r$  可知,钢球 1、2 各自所需要向心力大小之比为 2 : 1。

(3) 一个物理量与多个物理量有关时,研究这个物理量与其中一个物理量的关系,需要控制其他物理量不变,采用控制变量法,故 B 正确。

(4) 题图丁中图像的斜率  $k = \frac{6.0}{9.0} \text{ kg/m} = \frac{2}{3} \text{ kg/m}$ ,根据向心力公式  $F = \frac{mv^2}{r}$ ,可知  $\frac{m}{r} = k$ ,解得  $m \approx 0.13 \text{ kg}$ 。

6. (1)  $\frac{d}{\Delta t}$  (2)  $\frac{md^2}{R(\Delta t)^2}$   $F - mg$  (3) C

【解析】(1) 根据极短时间内的平均速度等于瞬时速度,小钢球通过 A 点时的速度大小可视为  $v = \frac{d}{\Delta t}$ 。

(2) 根据向心力公式可得,小钢球经过最低点时的向心力大小为  $F_n = m \frac{v^2}{R} = \frac{md^2}{R(\Delta t)^2}$ 。小钢球经过最低点时,细线拉力与小钢球重力的合力提供向心力,则小钢球通过 A 点时的向心力大小为  $F'_n = F - mg$ 。

(3) 实验测得小钢球通过 A 点时的速度为遮光条通过 A 点时的速度,小钢球、遮光条同轴转动,角速度相等,由于小钢球的轨迹半径小于遮光条的轨迹半径,根据  $v = \omega r$  可知实际小钢球通过 A 点时的速度小于  $v$ ,即小钢球速度的测量值偏大导致  $F_n$  总是略大于  $F'_n$ ,故 C 正确。

7. B 【解析】在 A 点时,水对舰有向上的浮力(大小等于舰的重力)、指向圆心方向的推力,两个力的合力指向斜上方,故 A 错误;

→ 注意: 水对舰的合力和舰所受到的合力是不同的

辽宁舰做匀速圆周运动,水对舰的合力大小为  $F = \sqrt{(mg)^2 + \left(m \frac{v^2}{r}\right)^2}$ ,代入数据解得  $F \approx 6.0 \times 10^8 \text{ N}$ ,故 B 正确, C、D 错误。

8. 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力停止运动,则此时悬线张力与 C 的重力大小相等,即  $F_c = mg$ , A 和 B 由于惯性,会向右摆动,将做圆周运动,根据向心力公式可得此时悬挂 A、B 的悬线张力大小为  $F_A = F_B = mg + m \frac{v^2}{L}$ ,代入数据解得  $F_A : F_B : F_c = 3 : 3 : 2$ ,故 A 正确。

9. AD 【解析】小球所受合力提供其做匀速圆周运动的向心力,即  $F_{\text{合}} = m\omega^2 R$ ,故 A 正确,B 错误;小球受重力和杆对它的作用力  $F$ ,根据力的合成,有  $F^2 - (mg)^2 = F_{\text{合}}^2$ ,所以  $F = m\sqrt{g^2 + \omega^4 R^2}$ ,根据牛顿第三定律,小球对杆作用力的大小为  $m\sqrt{g^2 + \omega^4 R^2}$ ,故 C 错误,D 正确.

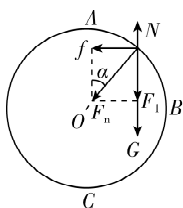


### 能力上分

1. D 【解析】当转盘匀速转动时,重力和支持力平衡,合外力(摩擦力)提供做圆周运动的向心力,故摩擦力方向指向圆心  $O$  点,沿  $c$  方向,故 A 错误;当转盘加速转动时,物块  $P$  做加速圆周运动,不仅有沿  $c$  方向指向圆心的向心力,还有沿  $a$  方向的切向力,使线速度增大,摩擦力为两方向上力的合力,即摩擦力方向可能为  $b$  方向,故 B、C 错误;当转盘减速转动时,物块  $P$  做减速圆周运动,不仅有沿  $c$  方向指向圆心的向心力,还有指向  $a$  相反方向的切向力,使线速度减小,摩擦力为两方向上力的合力,即摩擦力方向可能为  $d$  方向,故 D 正确.

2. AD 【解析】悬线与钉子碰撞前后,线的拉力始终与小球运动方向垂直,小球的线速度大小不变,故 A 正确;当半径减小时,由公式  $v = \omega r$  可知,小球做圆周运动的半径为原来的一半,则角速度是原来的 2 倍,故 B 错误;根据拉力与重力的合力提供向心力可得  $F - mg = m\frac{v^2}{r}$ ,由于碰到钉子后运动半径变为原来的一半,则小球所需要的向心力增大,悬线拉力增大,故 C 错误,D 正确.

3. A 【解析】对游客进行受力分析,如图,游客受到竖直向下的重力  $G$ 、观光舱对游客竖直向上的支持力  $N$  和水平方向的摩擦力  $f$ ,三者的合力提供向心力  $F_n$ ,且支持力  $N$  和摩擦力  $f$  的合力  $F$  为观光舱对游客的作用力,由于游客在竖直平面内做匀速圆周运动,因此向心力  $F_n$  大小不变,方向指向圆心.从  $A$  到  $B$  过程中,由于支持力  $N$  和重力  $G$  在竖直方向,设二者的合力为  $F_1$ ,向心力与竖直方向夹角为  $\alpha$ (取锐角),因此可得  $F_1 = G - N = F_n \cos \alpha$ ,  $f = F_n \sin \alpha$ ,解得  $N = G - F_n \cos \alpha$ ,因此游客受到观光舱的作用力  $F = \sqrt{f^2 + N^2} = \sqrt{F_n^2 + G^2 - 2F_n G \cos \alpha}$ ,由于  $F_n$ 、 $G$  大小不变,从  $A$  到  $B$  过程中, $\alpha$  从  $0$  逐渐增大到  $90^\circ$ ,因此  $f$  逐渐增大, $N$  逐渐增大, $F$  逐渐增大.当从  $B$  到  $C$  时,同理可得  $N - G = F_n \cos \alpha$ ,  $f = F_n \sin \alpha$ ,解得  $N = G + F_n \cos \alpha$ ,因此游客受到观光舱的作用力  $F = \sqrt{f^2 + N^2} = \sqrt{F_n^2 + G^2 + 2F_n G \cos \alpha}$ ,此时  $\alpha$  从  $90^\circ$  逐渐减小到  $0$ ,因此  $f$  逐渐减小, $N$  逐渐增大, $F$  逐渐增大,综合上述分析可得游客位置从  $A$  到  $B$  到  $C$  的过程中,游客受到观光舱的支持力一直变大,游客受到观光舱的摩擦力先变大后变小,游客受到观光舱的作用力一直变大,故 A 正确.



4. (1) 1 : 6 (2) 6 N (3) 7.5 N

【解析】(1) 设细绳长为  $L$ ,由题图(b)可知,在  $0 \sim 6$  s 时间内细绳拉力大小不变,可知  $F_1 = m\frac{v^2}{L}$ ,  $6 \sim 10$  s 时间内细绳拉力大小不变,则有  $F_2 = m\frac{v^2}{L'}$ ,由  $F_2 = \frac{6}{5}F_1$  可得  $L' = \frac{5}{6}L$ ,  $\Delta x = L - L' = L - \frac{5}{6}L = \frac{1}{6}L$ ,即两钉子间的距离与绳长之比为  $1 : 6$ .

(2) 由题图(b)可知,小球在第一个半圈经历时间为 6 s,则有  $t = \frac{\pi L}{v} = 6$  s,小球在第二个半圈经历时间为  $t' = \frac{\pi L'}{v} = \frac{5}{6}t = 5$  s,在  $t = 10.5$  s 时,小球在转第二个半圈,则有细绳的拉力大小为 6 N.

(3) 小球转第三个半圈的时间  $t'' = \frac{\pi(L-2\Delta x)}{v} = \frac{2}{3}t = 4$  s,在  $t = 12.5$  s 时,小球转动的半径为  $r = L - 2\Delta x = \frac{2}{3}L$ ,解得细绳的拉力

$$大小为 F = m \frac{v^2}{r} = m \frac{v^2}{\frac{2}{3}L} = \frac{3mv^2}{2L} = \frac{3}{2}F_1 = \frac{3}{2} \times 5 \text{ N} = 7.5 \text{ N}.$$

## 课时2 向心加速度



### 对点上分

**1. B** 【解析】做匀速圆周运动的物体所受各力的合力一定等于向心力,做非匀速圆周运动的物体所受指向圆心方向的分力提供向心力,故 A 错误;物体做匀速圆周运动的向心加速度只改变线

速度的方向,不改变线速度的大小,故 B 正确;做匀速圆周运动的物体向心加速度大小恒定,方向时刻改变,做非匀速圆周运动的物体向心加速度大小变化,故 C 错误;物体做非匀速圆周运动时,向心加速度的公式  $a_n = \frac{v^2}{r}$  依然成立,故 D 错误.

**2. C** 【解析】纽扣在转动过程中有  $\omega = 2\pi n = 100\pi \text{ rad/s}$ ,由向心加速度表达式得  $a = \omega^2 r \approx 1\,000 \text{ m/s}^2$ ,故 C 正确.

**3. AC** 【解析】由  $a_n = \frac{v^2}{r}$  知,向心加速度一定时,  $v^2$  与  $r$  成正比,故 A 正确;由  $a_n = \omega^2 r$  知,向心加速度一定时,  $\omega^2$  与  $r$  成反比,故 B 错误;由  $a_n = \frac{4\pi^2}{T^2} r$  知,向心加速度一定时,  $T^2$  与  $r$  成正比,故 C 正确;由  $a_n = (2\pi n)^2 r$  知,向心加速度一定时,  $n^2$  与  $r$  成反比,故 D 错误.

**4. D** 【解析】根据  $a = \frac{v^2}{R}$ ,得  $v = 2 \text{ m/s}$ ,机器人匀速率安全绕测试路径运行一圈的最短时间为  $t = \frac{s}{v} = \frac{2\pi R + 2L}{v} = (6 + 2\pi) \text{ s}$ ,故 D 正确.

**5. AD** 【解析】A、B 两轮共轴连接,则有  $\omega_a = \omega_b$ ,A 轮和 C 轮边缘通过皮带紧密连接,则有  $v_a = v_c$ ,根据  $v = \omega r$ ,可得  $v_a : v_b = R_A : R_B = 1 : 4$ , $\omega_a : \omega_c = R_C : R_A = 3 : 1$ ,联立可得  $v_a : v_b : v_c = 1 : 4 : 1$ , $\omega_a : \omega_b : \omega_c = 3 : 3 : 1$ ,故 A 正确,B 错误;根据  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ , $\omega_a : \omega_b : \omega_c = 3 : 3 : 1$ ,可得 a、b、c 三点的周期之比为  $T_a : T_b : T_c = 1 : 1 : 3$ ,故 C 错误;根据  $a = v\omega$ , $v_a : v_b : v_c = 1 : 4 : 1$ , $\omega_a : \omega_b : \omega_c = 3 : 3 : 1$ ,可得 a、b、c 三点的向心加速度大小之比为  $a_a : a_b : a_c = 3 : 12 : 1$ ,故 D 正确.

**6. D** 【解析】悬绳碰到钉子前后小球的线速度保持不变,但是半径减小,根据  $a = \frac{v^2}{r}$  可知,向心加速度大小与半径成反比,则悬绳

关键点 线速度不变,找向心加速度和半径的关系

碰到钉子前后小球的向心加速度大小之比为  $\frac{a_1}{a_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{L - \frac{L}{3}}{L} = \frac{2}{3}$ ,故

D 正确,A、B、C 错误



7. B 【解析】在最低点根据牛顿第二定律有  $2T - mg = \frac{mv^2}{r}$ , 解得  $T =$

410 N, 即每根绳子平均承受的拉力大小约为 400 N, 故 B 正确.

8. C 【解析】摆球受重力和拉力作用, 重力和拉力的合力提供向心力, 故 A 错误; 根据牛顿第二定律可得  $mg \tan \theta = ma = m \frac{4\pi^2}{T^2} r =$

$$m \frac{v^2}{r}, \text{ 又 } r = L \sin \theta, n = \frac{v}{2\pi r}, \text{ 解得 } a = g \tan \theta, T = 2\pi \sqrt{\frac{L \cos \theta}{g}}, n =$$

$$\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L \cos \theta}}, \text{ 故 C 正确, B、D 错误.}$$

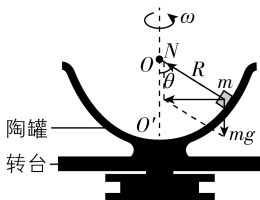
9. C 【解析】根据题意, 对物块受力分析, 如图所示, 竖直方向上, 由平衡条件有  $N \cos 60^\circ = mg$ , 水平方向上, 由牛顿第二定律有

$$F_n = N \sin 60^\circ = ma, \text{ 解得 } N = 2mg, F_n = \sqrt{3}mg, a = \sqrt{3}g, \text{ 故 A、B 正}$$

确, C 错误; 设转台转动的角速度为  $\omega$ , 由牛顿第二定律有

$$\sqrt{3}mg = m\omega^2 R \sin 60^\circ, \text{ 解得 } \omega = \sqrt{\frac{2g}{R}}, \text{ 故 D 正确.}$$

注意: 物块做圆周运动的半径不等于陶罐的半径  $R$



**关键点拨** 分析做匀速圆周运动的物体受力时, 圆周运动的平面内, 沿半径方向, 合力提供向心力; 与圆周运动所在平面垂直的方向上, 合力为零.

10. (1) 100 N/m (2)  $\sqrt{10}$  rad/s (3)  $2 \text{ rad/s} \leq \omega_2 \leq 4 \text{ rad/s}$

【解析】(1) 对题图甲中的物块受力分析, 有  $F_{\text{弹}} + F_N = mg$ ,

由牛顿第三定律有  $F_1 = F_N$ , 由胡克定律有  $F_{\text{弹}} = kL$ ,

解得  $k = 100 \text{ N/m}$ .

(2) 若题图乙中物块恰好与平台间无摩擦力, 对物块受力分析, 竖直方向上有  $F'_{\text{弹}} \cos \theta + F'_N = mg$ , 水平方向上有  $F'_{\text{弹}} \sin \theta = m\omega_1^2 r$ ,

合力提供向心力

$$\text{其中 } F'_{\text{弹}} = k \frac{L}{\cos \theta}, r = L \tan \theta,$$

$$\text{解得 } F'_N = 36 \text{ N}, \omega_1 = \sqrt{10} \text{ rad/s.}$$

(3) 结合前面分析可知, 物块与平台间的最大静摩擦力大小  $f = \mu F'_N$ , 物块以最小角速度  $\omega_{\min}$  相对于平台静止做圆周运动时, 有

$$F'_{\text{弹}} \sin \theta - f = m\omega_{\min}^2 r,$$

物块以最大角速度  $\omega_{\max}$  相对于平台静止做圆周运动时, 有

$$F'_{\text{弹}} \sin \theta + f = m\omega_{\max}^2 r,$$

说明: 摩擦力背离圆心且最大时, 向心力最小, 角速度最小; 摩擦力指向圆心且最大时, 向心力最大, 角速度最大  
解得  $\omega_{\min} = 2 \text{ rad/s}, \omega_{\max} = 4 \text{ rad/s},$

因此物块的角速度大小的取值范围为  $2 \text{ rad/s} \leq \omega_2 \leq 4 \text{ rad/s}$ .

## 第 1~2 节 节测上分

1. D 【解析】物体只有做匀速圆周运动时, 受到的合力的方向才一定指向圆心, 故 A 错误; 做匀速圆周运动的物体的加速度大小



保持不变,方向时刻在变,故 B 错误;物体在恒力作用下,加速度恒定,不可能做圆周运动,故 C 错误;做圆周运动的物体速度方向在改变,属于变速运动,故 D 正确。

2. D 【解析】运动到圆心等高处时,重力和支持力平衡,物块受到的静摩擦力提供向心力,物块受到的摩擦力大小为  $f = m\omega^2 R$ ,故 A、B 错误;运动到最低点时,根据牛顿第二定律  $F_{N1} - mg = m\omega^2 R$ ,解得  $F_{N1} = mg + m\omega^2 R$ ,根据牛顿第三定律可知物块对木板的压力大小为  $mg + m\omega^2 R$ ,故 C 错误;运动到最高点时,根据牛顿第二定律  $mg - F_{N2} = m\omega^2 R$ ,解得  $F_{N2} = mg - m\omega^2 R$ ,根据牛顿第三定律可知物块对木板的压力大小为  $mg - m\omega^2 R$ ,故 D 正确。

3. C 【解析】A、B 分别为两个齿轮边缘上的点,则有  $v_A : v_B = 1 : 1$ ,根据  $v = \omega r$  可得  $\omega_A : \omega_B = r_B : r_A = 8 : 3$ ,B、C 两点的角速度相等,则有  $\omega_B : \omega_C = 1 : 1$ ,根据  $v = \omega r$  可得  $v_B : v_C = r_B : r_C = 2 : 1$ ,则 A、B、C 三点的线速度大小之比为  $v_A : v_B : v_C = 2 : 2 : 1$ ,A、B、C 三点的角速度之比为  $\omega_A : \omega_B : \omega_C = 8 : 3 : 3$ ,故 A、B 错误;根据  $a = \omega^2 r = v\omega$  可得 A、B、C 三点的向心加速度大小之比为  $a_A : a_B : a_C = v_A \omega_A : v_B \omega_B : v_C \omega_C = 16 : 6 : 3$ ,故 C 正确;根据  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ , $\omega_A : \omega_B : \omega_C = 8 : 3 : 3$ ,可得 A、B、C 三点的转动周期之比为  $T_A : T_B : T_C = 3 : 8 : 8$ ,故 D 错误。

4. C 【解析】该变速车可变化四种不同挡位,即 AC、AD、BC 和 BD 组合,故 A 错误;B 轮与 C 轮组合时,变速车的速度最慢,故 B 错误;A 轮与 D 轮组合时,变速车的速度最快,当 A 轮转动 1 圈时,D 轮转动 4 圈,车轮转动 4 圈;B 轮与 C 轮组合时,变速车的速度最慢,当 B 轮转动 1 圈时,C 轮转动 2 圈,车轮转动 2 圈;该变速车的最快速度与最慢速度之比为 2 : 1,故 C 正确;当 A 轮与 D 轮组合时,A、D 两轮的周期之比为 4 : 1,因 A、B 周期相同,C、D 周期相同,则 B、C 两轮周期之比 4 : 1,故 D 错误。

5. C 【解析】P 做圆周运动需要的向心力为  $F_n = m\omega^2 r$ ,所受重力与圆盘对 P 的作用力的合力提供向心力,所以圆盘对 P 的作用力大小为  $F = \sqrt{(mg)^2 + F_n^2} = m\sqrt{g^2 + \omega^4 r^2}$ ,故 A、B 错误;P 的质量越大,位置离转动轴越远,P 做圆周运动需要的向心力越大,轴承所承受的力也越大,轴承越容易损坏,故 C 正确,D 错误。

6. CD 【解析】如图所示,设细线拉力大小为

$T$ ,对小球进行受力分析知  $\frac{m\omega^2 r}{T} = \sin \alpha$ ,又

$r = L \sin \alpha$ ,此时细线中的拉力大小为

$T = m\omega^2 L$ ,故 A 错误;设木块受到的摩擦力

大小为  $f$ ,小球做圆锥摆运动,若摩擦力的方向

沿半径向外,有  $T - f = mR\omega^2$ ,则  $f = m\omega^2 (L - R)$ ,如果  $\omega$  继续增大,

木块可能向靠近 O 点的方向滑动,若摩擦力的方向沿半径指向

圆心,有  $T + f = mR\omega^2$ ,则  $f = m\omega^2 (R - L)$ ,如果  $\omega$  继续增大,木块

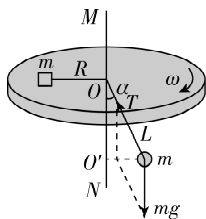
可能向远离 O 点的方向滑动;如果  $R = L$ ,摩擦力为零,无论  $\omega$  多大

木块都不会滑动,故 B 错误,C 正确;如果  $R < L$ ,木块随圆盘匀

速转动所需向心力大小小于细线张力大小,木块受到指向圆盘

边缘的摩擦力  $f$ , $\omega$  增大到一定值,摩擦力达到最大值后木块会

向 O 点滑动,故 D 正确。



7. (1) B (2)  $\frac{d}{Lt} \cdot \frac{mrd^2}{L^2} \cdot \frac{1}{t^2}$  (3) ③

【解析】(1) 本实验是保持小球质量  $m$  和细线长度  $r$  不变, 探究向心力  $F$  与角速度  $\omega$  的关系, 采用的实验方法为控制变量法, 故 B 正确.

(2) 由题意知, 物块与遮光杆的角速度必相同, 遮光杆的线速度  $v = \frac{d}{t}$ , 又  $v = \omega L$ , 故得遮光杆和物块的角速度  $\omega = \frac{v}{L} = \frac{d}{Lt}$ ;

根据牛顿第二定律可得  $F = m\omega^2 r$ , 结合上式可得  $F$  与  $\frac{1}{t^2}$  的关系式为  $F = \frac{mrd^2}{L^2} \cdot \frac{1}{t^2}$ , 该关系图像是一条过原点的倾斜直线, 表示

关键: 找出对应的函数关系式

$F$  与  $\frac{1}{t^2}$  成正比.

(3) 若物块与水平杆之间的阻力不可忽略, 对物块进行受力分析, 根据牛顿第二定律可得  $F + f = m\omega^2 r$ , 又  $\omega = \frac{d}{Lt}$ , 故得一次函数

关系  $F = \frac{mrd^2}{L^2} \cdot \frac{1}{t^2} - f$ , 对照图 2 应为图线③.

#### 方法总结

一般图像类问题, 解题的关键是找出对应的函数关系式.

8. (1)  $\sqrt{5}$  m/s (2) 4 m  $2\sqrt{29}$  m/s

【解析】(1) 依题意, 小球恰能在竖直平面内做圆周运动, 在最高点根据牛顿第二定律有  $mg = m \frac{v^2}{L}$ , 代入数据可得小球经过最高点的速度大小为  $v = \sqrt{5}$  m/s.

(2) 小球运动到最低点时细绳恰好被拉断, 则绳的拉力大小恰好为  $T_{\max}$ , 设此时小球的速度大小为  $v_1$ . 小球在最低点时由牛顿第二定律有  $T_{\max} - mg = m \frac{v_1^2}{L}$ , 解得  $v_1 = 4$  m/s. 此后小球做平抛运动,

设运动时间为  $t$ , 则对小球在竖直方向上有  $h - L = \frac{1}{2}gt^2$ , 代入数据求得  $t = 1$  s, 在水平方向上有  $x = v_1 t = 4$  m, 落地的速度大小为  $v' = \sqrt{(gt)^2 + v_1^2} = 2\sqrt{29}$  m/s.

## 第 3 节 圆周运动的实例分析

## 第 4 节 圆周运动与人类文明 (选学)



### 对点上分

#### 1. A



#### 攻略上分

本题为车辆在水平面转弯问题, 根据通法攻略 12 中的思路, 临界情况为最大静摩擦力提供向心力, 再列式求解.

【解析】一辆汽车在水平地面上沿半径为  $R$  的轨迹转弯时, 速度允许达到的最大值为  $v$ , 根据牛顿第二定律可得  $f_{\max} = m \frac{v^2}{R}$ , 当这辆汽车在同样地面上转弯的轨迹半径减为  $\frac{R}{4}$  时, 为避免发生事故, 允许

的最大速度大小满足  $f_{\max} = m \frac{v_{\max}^2}{R}$ , 联立解得  $v_{\max} = \frac{v}{2}$ , 故 A 正确。

通法攻略 12 车辆转弯问题——常见水平圆周运动向心力的来源分析

## 2. A

**攻略上分** 赛车通过弯道用时最短, 则需满足赛车拐弯时行驶的路程最短, 且速度最大, 根据通法攻略 12 中的思路, 临界情况为最大静摩擦力提供向心力, 得出最大速度, 结合几何关系可以确定最小路程, 再联立求解。

**【解析】**如图, 当赛车的运动轨迹与小圆相切时所用时间最短, 设该圆弧半径为  $R$ , 则根据勾股定理有  $R^2 = r^2 + \left[ R - \left( r - \frac{d}{2} \right) \right]^2$ , 解得  $R =$

12.5 m, 由几何关系有  $\sin \theta = \frac{r}{R} = 0.8$ , 圆弧

所对的圆心角为  $2\theta = 106^\circ$ , 根据  $kmg = m \frac{v^2}{R}$ , 可得  $v = \sqrt{kgR}$ , 通

过此弯道的最短时间为  $t = \frac{\frac{2\theta}{360^\circ} 2\pi R}{v}$ , 代入数据可得  $t = \frac{53}{90} \pi$  s,

故 A 正确。

## 3. AD

**攻略上分** 火车在拐弯过程中, 根据通法攻略 12, 当速度  $v = \sqrt{gR \tan \theta}$  时, 重力和支持力的合力提供向心力, 对内外轨无挤压, 可以根据平行四边形定则求出此时铁轨对火车的支持力; 当  $v < \sqrt{gR \tan \theta}$  时, 挤压内轨, 反之, 挤压外轨。

**【解析】**当火车靠重力和支持力的合力提供向心力时,

受力如图, 根据受力分析可知  $mg \tan \theta = m \frac{v^2}{R}$ , 解得  $v =$

$\sqrt{gR \tan \theta}$ , 所以当  $v = \sqrt{gR \tan \theta}$  时, 内轨外轨均未受

通法攻略 12 车辆转弯问题——常见水平圆周运动向心力的来源分析

到车轮轮缘的挤压, 故 A 正确; 若减小转弯速度, 火车近心运动, 内侧车轮轮缘对内轨有挤压, 故 B 错误; 通过受力分析可知铁

轨对火车的支持力大小为  $F_N = \frac{mg}{\cos \theta}$ , 故 C 错误, D 正确。

## 4. C

**攻略上分** 飞机在水平面内做圆周运动时, 可以类比通法攻略 12 中路面倾斜的情况, 重力和升力的合力提供向心力。

**【解析】**对飞机受力分析如图所示, 由合外力

提供向心力, 有  $F_{\text{合}} = \frac{mv^2}{r} = \frac{mg}{2}$ , 飞机受到的升

通法攻略 12 车辆转弯问题——常见水平圆周运动向心力的来源分析

力大小为  $F = \sqrt{(mg)^2 + \left( \frac{mg}{2} \right)^2} = \frac{\sqrt{5}}{2} mg$ , 故 C 正确。

## 5. (1) $15\sqrt{2}$ m/s (2) 168 N, 方向沿路面向下

【解析】(1) 设运动员和自行车的总质量为  $m$ , 圆周半径为  $R$ , 根据牛顿第二定律可得  $mg \tan 37^\circ = m \frac{v^2}{R}$ , 解得  $v = 15\sqrt{2} \text{ m/s}$ .

(2) 当自行车车速  $v' = 24 \text{ m/s}$  时, 设路面对运动员和自行车的支持力大小为  $F_N$ , 运动员和自行车受到沿路面向下的静摩擦力, 大小为  $f$ , 在竖直方向上有  $F_N \cos 37^\circ = mg + f \sin 37^\circ$ , 在水平方向上有  $f \cos 37^\circ + F_N \sin 37^\circ = m \frac{v'^2}{R}$ , 联立解得  $f = 168 \text{ N}$ , 方向沿路面向下.

**易错分析** 本题中自行车运动员做圆周运动, 要分析是否受到摩擦力, 以及摩擦力的方向, 然后再列式求解.

**6. C** 【解析】小汽车通过桥顶时, 其加速度方向向下, 小汽车处于失重状态, 由牛顿第二定律得  $mg - F_N = m \frac{v_1^2}{R}$ , 解得小汽车在桥上

最高点受到桥面的支持力大小为  $F_N = mg - m \frac{v_1^2}{R}$ , 故 A、B 错误,

C 正确; 由  $mg - F_N = m \frac{v_1^2}{R}$ ,  $F_N \geq 0$ , 解得  $v_1 \leq \sqrt{gR}$ , 故 D 错误.

**7. AD** 【解析】在 A 点和 B 点, 汽车的向心加速度方向分别为向上和向下, 所以在 A 点和 B 点汽车分别处于超重状态和失重状态, 所以若汽车速率不变, 经过图中 A 处最容易超压报警, 故 A 正确, B 错误; 在 A 点, 根据牛顿第二定律有  $F_N - mg = m \frac{v^2}{r}$ , 得  $F_N = m \frac{v^2}{r} + mg$ , 可知若要尽量使胎压报警器不会超压报警, 应减小汽车的速度, 故 D 正确, C 错误.

**8. (1)  $2.5 \text{ m/s}^2$  (2)  $7\,500 \text{ N}$  (3)  $8\,000 \text{ m/s}$**

【解析】(1) 此时汽车运动的向心加速度大小为  $a_n = \frac{v^2}{r} = \frac{10^2}{40} \text{ m/s}^2 = 2.5 \text{ m/s}^2$ .

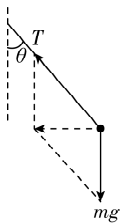
(2) 汽车行驶到拱形桥的顶端时, 根据牛顿第二定律有  $mg - F_N = m \frac{v^2}{r}$ , 解得桥面对汽车的支持力大小为  $F_N = 7\,500 \text{ N}$ .

(3) 汽车将从桥面上腾空时, 该拱形桥对汽车的支持力恰好为零, 则  $mg = m \frac{v_1^2}{R}$ , 汽车速度至少为  $v_1 = \sqrt{gR} = 8\,000 \text{ m/s}$ .

**9. BD** 【解析】A、B 绕同一竖直的中心轴转动, 则 A、B 角速度相同, B 的转动半径大于 A 的转动半径, 则根据  $v = \omega r$  可知, A 的速度大小比 B 的小, 故 A 错误; 根据  $a = \omega^2 r$  可知, A 的向心加速度大小比 B 的小, 故 B 正确; 设缆绳与竖直方向的夹角为  $\theta$ , 对座椅受力分析如图所示, 则根据牛顿第二定律有  $mg \tan \theta = m \omega^2 r$ , 可得  $\tan \theta = \frac{\omega^2 r}{g}$ , 因为半径  $r$  不相等, 则悬挂 A、B 的缆绳与竖直方向的夹角不相等, 故 C 错误; 由上述分析可知, 悬挂 A 的缆绳与竖直方

向的夹角  $\theta$  小, 而缆绳的拉力大小为  $T = \frac{mg}{\cos \theta}$ , 所以悬挂 A 的缆绳所受的拉力大小比悬挂 B 的小, 故 D 正确.

**10. B** 【解析】衣服转到 a 位置时滚筒壁对衣服的作用力  $F_a = m r \omega^2 - mg$ , 在 b 位置时滚筒壁对衣服的作用力  $F_b = m r \omega^2 + mg > F_a$ , 由牛顿第三定律可知, 衣服在 a 位置对滚筒壁的压力比在 b 位置



的小,转到  $b$  位置时的脱水效果最好,故 B 正确,A 错误;衣服转到与圆心等高时,滚筒壁对衣服的水平方向的作用力为  $F' = mr\omega^2$ ,竖直方向的作用力为  $mg$ ,可知滚筒壁对衣服的作用力大小为  $F = \sqrt{F'^2 + (mg)^2} > mr\omega^2$ ,故 C 错误;物体做离心运动时,并不是因为受到了离心力的作用,而是由于合外力不足以提供

说明: 离心力并不存在

其做圆周运动所需的向心力,故 D 错误.

**方法总结** 指向圆心的合力等于所需要的向心力时,物体做圆周运动;指向圆心的合力大于所需要的向心力时,物体做近心运动;指向圆心的合力不足以提供所需要的向心力时,物体做离心运动.



### 能力上分

1. CD 【解析】飞机在水平面上做匀速圆周运动时,合外力提供向心力,即重力与空气对飞机的支持力的合力提供,故 A、B 错误;

注意: 合力提供向心力

在最高点时,合力向下,加速度向下,飞行员处于失重状态,飞行员有失重感,故 C 正确;在最低点时,飞行员受座椅的支持力和自身重力,合力竖直向上提供向心力,此时飞行员受座椅的支持力最大,故 D 正确.

2. C

**攻略上分** 运动员在倾斜赛道上运动,既没有沿倾斜赛道向上滑的趋势,也没有沿倾斜赛道向下滑的趋势,则运动员在骑行过程中不受摩擦力,根据通法攻略 12,重力和支持力的合力提供向心力,则可根据牛顿第二定律,求解赛道半径.

【解析】由题意,运动员骑车时不受摩擦力的作用,只受重力和垂直于赛道斜向上的支持力,二者的合力提供向心力,由牛顿第二

通法攻略 12 车辆转弯问题——常见水平圆周运动向心力的来源分析

定律可知  $mg \tan \theta = m \frac{v_0^2}{r}$ ,解得  $r = \frac{v_0^2}{g \tan \theta}$ ,故 C 正确.

3. C 【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,故 A 错误;汽车在 B、C 两点处于超重状态,根据  $F = mg + m \frac{v^2}{R}$ ,C 处的曲率半径小于 B 处的曲率半径,可知汽车经过 C 处时最容易爆胎,故 B 错误;在 A 点路面对汽车的支持力恰为零时,有  $mg = m \frac{v^2}{R}$ ,可知为了保证汽车不脱离路面,该车的行驶速度不得超过  $v = \sqrt{gR_A} = \sqrt{g\rho_1}$ ,故 C 正确;

说明: 脱离路面的临界条件是支持力为 0

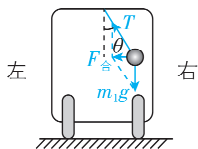
汽车经过 C 处时所受的滑动摩擦力大小为  $f = \mu F_N = \mu \left( mg + \frac{mv^2}{\rho_2} \right)$ ,故 D 错误.

**方法总结** 对于汽车过拱形桥和凹形路面的模型,汽车在最低点时处于超重状态,支持力最大;在最高点时处于失重状态,当支持力为 0 时,汽车脱离路面.

4. (1)  $7.5 \text{ m/s}^2$ , 方向水平向左 (2)  $10.8 \text{ m}$  (3)  $1.5 \times 10^4 \text{ N}$

【解析】(1) 以小球为研究对象, 图示时刻其受力如图所示,

→ **关键点** 分析小球受力, 找出汽车做圆周运动的加速度



根据牛顿第二定律可得  $m_1 g \tan \theta = m_1 a$ ,

解得  $a = g \tan \theta = 7.5 \text{ m/s}^2$ ,

可知图示时刻汽车的向心加速度大小为  $7.5 \text{ m/s}^2$ , 方向水平向左.

(2) 根据  $a = \frac{v^2}{R}$ , 可得转弯过程中汽车运动轨迹的半径为  $R =$

$$\frac{v^2}{a} = \frac{9^2}{7.5} \text{ m} = 10.8 \text{ m}.$$

(3) 转弯过程中汽车的向心力大小为  $F_n = ma = 2 \times 10^3 \times 7.5 \text{ N} = 1.5 \times 10^4 \text{ N}$ .

## 专题上分 4 水平面内圆周运动综合

1. **D** 【解析】餐具随圆盘转动过程中只受重力、弹力、摩擦力三个力的作用, 向心力是效果力, **故 A 错误**; 餐具随圆盘一起做匀速圆周运动, 由静摩擦力提供向心力, 方向始终指向圆心, 则餐具相对于圆盘的运动趋势是沿半径背离圆心方向, **故 B 错误**; 为使餐具不从圆盘上滑下, 向心力不能大于最大静摩擦力, 即

$$\mu mg \geq m\omega^2 R, \text{ 解得 } \omega \leq \sqrt{\frac{\mu g}{R}}, \text{ 所以为使餐具不滑到餐桌上, 圆盘}$$

的角速度  $\omega$  的最大值为  $\sqrt{\frac{\mu g}{R}}$ , **故 C 错误**; 餐具能从圆盘滑出时的

的临界速度大小为  $v_{\max} = \omega_{\max} R = \sqrt{\mu g R}$ , **故 D 正确**.

2. **B** 【解析】甲、乙两圆盘边缘上的各点线速度大小相等, 由关系式  $v = \omega R$  可得, 甲、乙两圆盘的角速度之比为  $\omega_1 : \omega_2 = 3 : 1$ , 物体相对圆盘静止时物体的角速度等于圆盘的角速度, 故  $a$  与  $b$  的角速度之比为  $3 : 1$ , 则有  $\frac{v_1}{v_2} = \frac{\omega_1 r}{\omega_2 \cdot 2r} = \frac{3}{2}$ , **故 A、C 错误**; 根据

$a = \omega^2 R$  可得,  $a$  与  $b$  的向心加速度大小之比为  $a_1 : a_2 = (\omega_1^2 r) : (\omega_2^2 \cdot 2r) = 9 : 2$ , **故 B 正确**; 根据  $\mu mg = mR\omega^2$  可得, 临界角速度

$\omega = \sqrt{\frac{\mu g}{R}}$ , 可知  $a$  先达到临界角速度, 当转速增加时,  $a$  先开始滑动, **故 D 错误**.

3. **D** 【解析】题图中  $A$  做圆周运动的向心力是  $B$  对其指向圆心的摩擦力提供的, 根据牛顿第三定律,  $A$  对  $B$  的摩擦力是背离圆心的, **故 B 错误**; 两物块所受的合力提供向心力, 而  $A$ 、 $B$  向心力相同, 故两物块所受的合力大小相等, **故 C 错误**; 物块  $A$  所受摩擦力为  $f_{BA} = m\omega^2 r$ , 物块  $B$  所受圆盘对  $B$  的摩擦力和  $A$  对  $B$  的摩擦力的合力提供向心力, 有  $f_{\text{圆盘}} - f_{AB} = m\omega^2 r$ ,  $f_{BA}$  与  $f_{AB}$  等大, 所以  $f_{\text{圆盘}} = 2m\omega^2 r = 2f_{BA}$ , **故 D 正确**; 当物块  $B$  所受圆盘的最大静摩擦力小于  $A$  与  $B$  之间的最大静摩擦力的 2 倍时,  $\omega$  变大,  $B$  先与圆盘间发生相对滑动, **故 A 错误**.

4. **B** 【解析】水平圆盘转动的角速度较小时,  $a$ 、 $b$  受到的静摩擦力提供向心力, 细线拉力为零, 此过程中  $a$  受到的摩擦力  $f_a =$



$m_1 r_1 \omega^2$ , 对应  $f_a - \omega^2$  图线的斜率  $k_1 = m_1 r_1$ , 当木块刚好达到最大静摩擦力提供向心力时, 满足  $m r \omega^2 = \mu m g$ , 则  $\omega^2 = \frac{\mu g}{r}$ , 因为  $r_2 > r_1$ , 所以随着角速度增大,  $b$  先达到最大静摩擦力, 此时  $\omega = \omega_1$ , 则有  $\omega_1^2 = \frac{\mu g}{r_2}$ ,  $0.5 f_0 = m_1 r_1 \omega_1^2 = \frac{\mu m_1 g r_1}{r_2}$ , 角速度继续增大, 细线开始出现拉力, 此后对于  $a$  有  $f_a - T = m_1 r_1 \omega^2$ , 对于  $b$  有  $f_{bm} + T = m_2 r_2 \omega^2$ , 联立可得  $f_a = (m_1 r_1 + m_2 r_2) \omega^2 - \mu m_2 g$ , 对应  $f_a - \omega^2$  图线的斜率  $k_2 = m_1 r_1 + m_2 r_2$ , 纵截距  $-3f_0 = -\mu m_2 g$ , 当  $a$  达到最大静摩擦力  $f_{am} = f_0 = \mu m_1 g$  时,  $\omega_2^2 = \frac{\mu(m_1 + m_2)g}{m_1 r_1 + m_2 r_2}$ , 之后角速度再增大, 两木块相对圆盘发生滑动,  $a$  受到的摩擦力大小不再变化. 根据上述分析可知  $\frac{m_1}{m_2} = \frac{1}{3}$ ,  $\frac{r_1}{r_2} = \frac{1}{2}$ ,  $\frac{k_1}{k_2} = \frac{1}{7}$ ,  $\frac{\omega_1}{\omega_2} = \sqrt{\frac{7}{8}}$ , 故 B 正确, A、C、D 错误.

## 5. D



### 攻略上分

两物块  $A$  和  $B$  在圆心两侧, 中间用轻绳相连, 根据大招攻略 13, 圆周运动的角速度比较小时, 静摩擦力提供向心力, 其中一个物块受到的静摩擦力达到最大后, 绳上出现拉力, 当两物块的摩擦力都达到最大时, 达到临界状态.

【解析】角速度较小时, 物块各自受到的静摩擦力提供向心力, 绳中无拉力, 根据牛顿第二定律可得  $f = m \omega^2 R$ , 因为  $R_A < R_B$ , 所以物块  $B$  与圆盘间的静摩擦力先达到最大值, 随着角速度增大, 轻绳中出现拉力, 对物块  $B$  分析, 拉力  $F_T$  和最大静摩擦力的合力提

→ 大招攻略 13 圆盘转动模型——求解随圆盘转动物体的临界条件与关联体作用力

供向心力, 根据牛顿第二定律可得  $F_T + \mu m g = m \omega^2 R_B$ , 整理可得  $F_T = m R_B \omega^2 - \mu m g$ , 结合图像解得  $\mu = 0.1$ ,  $R_B = 2 \text{ m}$ , 故 A、B 错误; 当  $\omega^2 > 0.5 (\text{rad/s})^2$  时, 绳中拉力随着角速度增大而增大,  $A$  所受的静摩擦力先变小, 当  $A$  所受的静摩擦力为 0 时, 对  $A$  分析, 由牛顿第二定律则有  $F_{T1} = m \omega_1^2 R_A$ , 对  $B$  则有  $F_{T1} + \mu m g = m \omega^2 R_B$ , 代入数据解得  $\omega_1 = 1 \text{ rad/s}$ , 故 C 错误; 当  $\omega > 1 \text{ rad/s}$ , 拉力增大,  $A$  要与圆盘保持相对静止, 则静摩擦力沿着半径向外, 当  $A$  恰好要相对圆盘发生滑动时, 其摩擦力为最大值, 且方向沿半径向外, 对  $A$  分析, 根据牛顿第二定律可得  $F_T - \mu m g = m \omega_2^2 R_A$ , 此时对  $B$  分析有  $F_T + \mu m g = m \omega_2^2 R_B$ , 代入数据解得  $\omega_2 = \sqrt{2} \text{ rad/s}$ , 故 D 正确.

6. AC 【解析】小球即将离开圆锥体表面时, 以小球为研究对象, 根据牛顿第二定律可得  $m g \tan \theta = m \omega^2 L \sin \theta$ , 解得角速度大小为  $\omega = \sqrt{\frac{g}{L \cos \theta}} = 5 \text{ rad/s}$ , 故 A 正确, B 错误; 当小球的角速度大小  $\omega' = \frac{5}{3} \text{ rad/s}$  时, 由于  $\omega' < \omega$ , 可知小球未离开圆锥体表面, 以小球为研究对象, 竖直方向受力平衡, 可得  $F_1 \cos \theta + N \sin \theta = m g$ , 水平方向有  $F_1 \sin \theta - N \cos \theta = m \omega'^2 L \sin \theta$ , 联立解得细线上的拉力大小为  $F_1 = 5.1 \text{ N}$ , 故 C 正确, D 错误.

### 易错警示

#### 圆锥摆的向心力来源分析错误

当小球在圆锥体表面做圆锥摆运动时, 要对其进行受力分析, 判断是否受圆锥体表面的支持力, 而不能简单地认为只有细线的拉力和球的重力提供向心力.



**7. AD** 【解析】圆环光滑,小球受到重力、圆环对小球的弹力和细绳对小球的拉力,根据几何关系可知,此时细绳与竖直方向的夹角为  $60^\circ$ ,圆环旋转时,小球绕竖直轴做圆周运动,当圆环对小球的弹力方向背离圆心时,则有  $F_T \cos 60^\circ + F_N \cos 60^\circ = mg$ ,  $F_T \sin 60^\circ - F_N \sin 60^\circ = m\omega^2 L \sin 60^\circ$ ,解得  $F_T = mg + \frac{1}{2} m\omega^2 L$ ,  $F_N = mg - \frac{1}{2} m\omega^2 L < mg$ ,当  $\omega = \sqrt{\frac{2g}{L}}$  时,金属圆环对小球的弹力  $F_N = 0$ ;当圆环对小球的弹力方向指向圆心时,则有  $F_T \cos 60^\circ = mg + F_N \cos 60^\circ$ ,  $F_T \sin 60^\circ + F_N \sin 60^\circ = m\omega^2 L \sin 60^\circ$ ,解得  $F_T = mg + \frac{1}{2} m\omega^2 L$ ,  $F_N = \frac{1}{2} m\omega^2 L - mg$ . 由上述分析可知,细绳对小球的拉力始终大于小球的重力,细绳对小球的拉力不可能与圆环对小球的弹力大小相等,故 A、D 正确,B、C 错误.

**8. C**



**攻略上分**

两小球在同一水平面内匀速转动,角速度相同,根据大招攻略 14,可逆向推导出两悬绳延长线交于转轴上一点,再根据几何关系求出轨迹半径的关系,进一步求解其他物理量的关系.

【解析】设  $OA$  段长为  $L$ ,  $OB$  段长为  $2L$ ,  $O$  到两球连线的高度为  $h$ ,由于  $a$ 、 $b$  两小球做圆周运动的角速度相同,则悬挂两小球的悬绳延长线交于竖直杆上的一点,设这一点到  $O$  点的距离为  $h'$ ,则

→ **大招攻略 14** 圆锥摆模型——从夹角、圆周平面角度比较圆锥摆模型

$\tan \alpha = \frac{OA}{h'}$ ,  $\tan \beta = \frac{OB}{h'}$ ,又  $OB = 2OA$ ,解得  $\tan \beta = 2 \tan \alpha$ ,可知悬绳与竖直方向的夹角与小球质量无关,故 B、D 正确,不符合题意;由几何关系,两小球运动半径之比为  $r_a : r_b = 1 : 2$ ,又因为  $a$ 、 $b$  的角速度相等,根据  $v = \omega r$ ,可得  $v_a : v_b = 1 : 2$ ,故 A 正确,不符合题意;根据  $a = \omega^2 r$ ,可得  $a_a : a_b = 1 : 2$ ,故 C 错误,符合题意.

**一题多解**

分析 B、D 选项时,由牛顿第二定律,对  $a$  球有  $mgtan \alpha = m\omega^2 r_1$ ,  $r_1 = h \tan \alpha + L$ ,对  $b$  球有  $mgtan \beta = m\omega^2 r_2$ ,  $r_2 = h \tan \beta + 2L$ ,同样可得  $\tan \beta = 2 \tan \alpha$ .

**9. AB** 【解析】运动员运动到最高点时恰好不受摩擦力,则有  $mg \sin \theta = m\omega^2 r$ ,解得圆盘的角速度  $\omega = \sqrt{\frac{g \sin \theta}{r}}$ ,故 A 正确;运动员在最低点受到的摩擦力最大,有  $f - mg \sin \theta = m\omega^2 r$ ,解得  $f = mg \sin \theta + m\omega^2 r = 2mg \sin \theta$ ,又  $f_m = \mu N = \mu mg \cos \theta$ ,可得运动员与盘面间的动摩擦因数应满足  $\mu \geq 2 \tan \theta$ ,故 B 正确,C 错误;若仅减小转盘的转速,即角速度减小,运动员在最低点时受到的摩擦力为  $f' = mg \sin \theta + m\omega'^2 r$ ,可知随着角速度的减小,运动员在最低点受到的静摩擦力减小,运动员不可能相对于转盘滑动,故 D 错误.

**专题上分 5**

**竖直面内圆周运动综合**

**1. C**



**攻略上分**

轻绳拴着水杯在竖直平面内做圆周运动,小球在水杯内,最高点时,小球和水杯都无法受到向上的支持力,属于轻绳模型,可以根据大招攻略 15,分析小球在最高点的受力和速度情况.

【解析】在最高点对小球受力分析有  $F_N + mg = m \frac{v^2}{L}$ ,  $F_N \geq 0$ , 所以

小球过最高点时的速度一定大于等于  $\sqrt{gL}$ , 故 A、B 错误; 把小球和水杯看成整体, 在最高点, 轻绳的拉力最小为零, 此时速

→ 大招攻略 15 两种竖直圆周运动模型的特点及结论

率最小, 即轻绳的拉力可能等于零, 故 C 正确; 小球过最高点时, 由牛顿第二定律有  $F_N + mg = ma_n$ ,  $F_N \geq 0$ , 可知  $a_n \geq g$ ,

→ 关键点: 在最高点杯底只提供向下的作用力

故 D 错误.

2. D 【解析】设绳长为  $R$ , 当地的重力加速度大小为  $g$ , 由牛顿第二定律可知, 小球在最高点满足  $T + mg = m \frac{v^2}{R}$ , 即  $T = m \frac{v^2}{R} - mg$ , 由题图乙知, 当  $v^2 = 0$  时,  $T = -a$ , 则  $a = mg$ , 当  $v^2 = b$  时,  $T = 0$ , 则  $b = gR$ , 所以  $g = \frac{a}{m}$ ,  $R = \frac{mb}{a}$ , 故 A、B 错误; 当  $v^2 = c$  时, 有  $T_1 + mg = m \frac{c}{R}$ , 将  $g$  和  $R$  的值代入得  $T_1 = \frac{ac}{b} - a$ , 故 C 错误; 当  $v^2 = 2b$  时, 有  $T_2 + mg = m \frac{2b}{R}$ , 可得  $T_2 = a = mg$ , 小球受到的拉力与重力大小相等, 故 D 正确.

### 3. BCD

🌀 攻略上分 球被踢出后在管道中运动的过程中, 无法受到背离圆心方向的弹力, 属于轻绳模型, 根据大招攻略 15, 球通过最高点的临界条件是在最高点只由重力提供向心力, 在与圆心等高处由弹力提供向心力, 离开管道时弹力恰好为零.

【解析】由题意可知, 球运动时一定受摩擦力作用, 即球再次到达管道最低点时受重力、弹力和摩擦力, 故 A 错误; 设球的质量为  $m$ , 球第一次以最小速度通过最高点, 则第一次到达管道最高点时有  $mg = m \frac{v_1^2}{R}$ , 得  $v_1 = \sqrt{gR} = 2\sqrt{3} \text{ m/s}$ , 故 B 正确; 球在第一圈

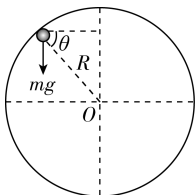
→ 大招攻略 15 两种竖直圆周运动模型的特点及结论

运动中通过管道水平直径的两端时, 在左端的速度比在右端的速度大, 需要的向心力大, 由弹力提供向心力, 根据  $F = m \frac{v^2}{R}$ , 在左端受到的弹力大, 故 C 正确; 球离开管道时对球受力分析如图所示,

→ 关键点: 球离开管道时弹力为零

设此时球与管道圆心连线的方向与水平方向的夹角为  $\theta$ ,  $\sin \theta =$

$$\frac{\frac{3}{4}R}{R} = \frac{3}{4}, mgsin \theta = m \frac{v_2^2}{R}, \text{解得 } v_2 = 3 \text{ m/s, 故 D 正确.}$$



4. (1) 大小为  $g$ , 方向竖直向下 (2) 大小为  $4mg$ , 方向竖直向下

(3)  $\sqrt{\frac{gR}{3}}$

🌀 攻略上分 小球在圆轨道内侧运动, 属于轻绳模型, 根据大招攻略 15, 可以分析小球做圆周运动的临界条件, 可以通过牛顿第二定律分析小球在最低点轨道对小球的支持力以及运动到最高点的速度大小.

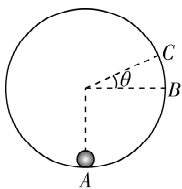
【解析】(1) 小球刚好做完整圆周运动, 则在最高点小球只受重力, 根据牛顿第二定律有  $mg=ma$ , 解得加速度  $a=g$ , 方向竖直向下.

(2) 在最低点, 由牛顿第二定律有  $N-mg=m\frac{v_0^2}{R}$ , 代入题中数据, 解得小球在最低点受到的支持力  $N=4mg$ , 根据牛顿第三定律可知, 小球在最低点时对轨道的压力大小为  $4mg$ , 方向竖直向下.

(3) 设小球在最低点获得的初速度水平向右, 最高点在  $C$  点, 如图,

由几何关系可知  $\sin \theta = \frac{\frac{4}{3}R-R}{R} = \frac{1}{3}$ , 在  $C$  点, 根据牛顿第二定律有  $mg \sin \theta = m\frac{v^2}{R}$ , 联立解得  $v = \sqrt{\frac{gR}{3}}$ .

说明: 最高点弹力为零, 重力指向圆心的分力提供向心力



## 5. C

**攻略上分** 轻杆一端固定一个小球在竖直平面内做圆周运动, 属于轻杆模型, 根据大招攻略 15, 通过牛顿第二定律分析  $F$  与  $v^2$  的关系, 进一步求解.

【解析】由图像可知, 当  $v^2=b$  时,  $F=0$ , 即杆对小球无弹力作用,

此时重力提供小球做圆周运动的向心力, 有  $mg=m\frac{b}{R}$ , 可得  $g=$

$\frac{b}{R}$ , 故 A 错误; 由图像知, 当  $v^2=0$  时,  $F=a$ , 故有  $mg=a$ , 即杆对

小球的弹力大小等于小球的重力大小, 方向竖直向上, 解得  $m=$

$\frac{a}{g} = \frac{aR}{b}$ , 根据牛顿第三定律可知小球对杆的弹力方向竖直向下,

故 B、D 错误; 当  $v^2=2b$  时, 有  $F'+mg=\frac{m \times 2b}{R}=2mg$ , 所以

$F'=mg$ , 即小球受到的弹力大小等于重力大小, 故 C 正确.

**关键点拨** 分析  $F-v^2$  图像的特殊点,  $v^2=0$  时, 向心力为零,  $F=mg$ ;  $v^2=b$  时,  $F=0$ , 重力提供向心力.

6. BCD 【解析】A 球与细绳相连, 则恰好能到圆周最高点时有  $mg=$

$m\frac{v_1^2}{L}$ , 解得  $v_1=\sqrt{gL}=\sqrt{10}$  m/s, 故 A 错误; B 球与杆相连, 则在最

高点的最小速度为  $v_2=0$ , 故 B 正确; 根据牛顿第三定律可知运动

到最高点时绳、杆对 A、B 两球的作用力大小分别为  $F_A=2$  N、 $F_B=$

5 N, 对 A 球在最高点时, 由牛顿第二定律有  $F_A+mg=m\frac{v_3^2}{L}$ , 代入数

据解得  $v_3=2\sqrt{3}$  m/s, 对 B 球有两种情况: ①杆对 B 球的作用力为

支持力时, 则有  $mg-F_B=m\frac{v_4^2}{L}$ , 代入数据解得  $v_4=\sqrt{5}$  m/s; ②杆对

B 球的作用力为拉力时, 则有  $mg+F_B=m\frac{v_5^2}{L}$ , 代入数据解得  $v_5=$

$\sqrt{15}$  m/s. 则 A、B 两球经过最高点时的速度大小之比为  $v_3:v_4=$

$2\sqrt{15}:5$  或  $v_3:v_5=2:\sqrt{5}$ , 故 C、D 正确.

## 7. CD



### 攻略上分

小球在圆环形细管轨道内运动,属于轻杆模型,可以根据大招攻略 15,分析小球在最高点的受力情况.

【解析】小球通过最高点时细管可以提供竖直向上的支持力,当支持力的大小等于小球重力的大小时,小球的速度最小,为零,故 A 错误;当  $v = \sqrt{gR}$  时,小球的加速度大小为  $a = \frac{v^2}{R} = g$ ,方向竖直向下,则小球处于完全失重状态,只受重力作用,故 B 错误;当  $v = \sqrt{2gR}$  时,根据牛顿第二定律可得  $mg + N = m \frac{v^2}{R}$ ,解得  $N = m \frac{v^2}{R} - mg = mg$ ,可知细管对小球的弹力大小为  $mg$ ,方向竖直向下,故 C 正确;当  $v < \sqrt{gR}$  时,小球需要的向心力  $F_n = m \frac{v^2}{R} < mg$ ,可知小球受到细管竖直向上的弹力作用,由牛顿第二定律有  $mg - N' = m \frac{v^2}{R}$ ,可得  $N' = mg - m \frac{v^2}{R}$ ,则  $v$  由  $\sqrt{gR}$  逐渐减小的过程中,细管对小球的弹力逐渐增大,故 D 正确.

### 关键点拨

竖直平面内的圆周运动,要求解在最高点处的最小速度,要注意区分是绳模型还是杆模型,绳不能提供支持力,杆能提供支持力.

8. (1)  $\sqrt{\frac{g}{L}}$  (2)  $mg$  (3)  $3mg$

【解析】(1)两球的角速度大小相等, $B$  做圆周运动的半径大于  $A$  做圆周运动的半径,则  $B$  的向心力大于  $A$  的向心力,又因为在最低点杆对球的作用力最大,则两球都不脱离杆的临界情况为  $B$  在最低点时杆对球  $B$  的弹力恰好等于最大约束力,对  $B$ ,由牛顿

第二定律得  $3mg - mg = m\omega_{\max}^2 \times 2L$ ,解得杆的最大角速度  $\omega_{\max} = \sqrt{\frac{g}{L}}$ .

(2)杆以最大角速度转动且  $B$  位于最高点时,对  $B$ ,由牛顿第二定律得  $mg + T = m\omega_{\max}^2 \times 2L$ ,解得  $T = mg$ .

(3)杆以最大角速度转动且  $A$  位于最高点时,由牛顿第二定律,对  $A$  有  $mg + T_A = m\omega_{\max}^2 L$ ,对  $B$  则有  $T_B - mg = m\omega_{\max}^2 \times 2L$ ,解得  $T_A = 0$ ,  $T_B = 3mg$ ,则结合牛顿第三定律可得杆对轴  $O$  的作用力大小  $F_N = T_B = 3mg$ .

### 关键点拨

同一小球在竖直面内做匀速圆周运动时,在最低点受到的弹力最大,又因为  $B$  的轨道半径大于  $A$  的轨道半径,则  $B$  在最低点受到的弹力大于  $A$  在最低点受到的弹力.

## 素养上分

1. D 【解析】同轴转动角速度相等,根据线速度与角速度的关系  $v = R\omega$  可知, $M$ 、 $N$  的线速度大小之比为  $r_1 : r_2$ ,故 A 错误;根据向心加速度与角速度的关系  $a = R\omega^2$  可知, $M$ 、 $N$  的向心加速度大小之比为  $r_1 : r_2$ ,故 B 错误;转动过程中, $M$ 、 $N$  所受合力提供向心力,二者方向不同,故 C 错误;根据角速度与转速的关系  $\omega = 2\pi n$  可知,当转台转速变为  $2n$  时, $M$ 、 $N$  的角速度也增加一倍,故

D 正确.

2. D 【解析】设绳长为  $L$ , 根据牛顿第二定律, 小球在最低点时有

$$\frac{11}{3}mg - mg = \frac{mv^2}{L}, \text{解得 } v = \sqrt{\frac{8gL}{3}}, \text{当 } L = d \text{ 时, } v \text{ 取最大值, 为 } \sqrt{\frac{8gd}{3}},$$

若小球在最低点的速度大小为  $\sqrt{3gd}$ , 轻绳必定断裂, 小球无

说明: 此速度大于临界速度, 则拉力大于最大值

法做完整的圆周运动, 故 A 错误; 小球在最低点轻绳恰好断裂,

则小球离地高度  $h = d - L$ , 根据平抛运动规律有  $h = \frac{1}{2}gt^2$ , 解得  $t =$

$$\sqrt{\frac{2(d-L)}{g}}, \text{水平距离 } x = d = vt = \sqrt{\frac{16L(d-L)}{3}}, \text{解得绳长 } L = \frac{3}{4}d \text{ 或}$$

$$L = \frac{1}{4}d, \text{故 B、C 错误; 由 } x = \sqrt{\frac{16L(d-L)}{3}} \text{ 可知, 要使小球飞出的水}$$

平距离最大, 绳长应为  $\frac{d}{2}$ , 最大水平距离  $x_{\max} = \frac{2\sqrt{3}d}{3}$ , 故 D 正确.

关键点 二次函数求极值

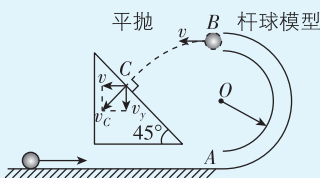
### 关键点拨

轻绳断裂的条件是绳上的拉力大于绳所能承受的最大拉力. 求极值的时候可以利用数学方法, 即利用函数关系式求极值.

3. AD



### 思路分析



运动过程分析: 小球在管道内的运动模型为杆球模型; 离开 B 点后做平抛运动, 垂直落在斜面上.

【解析】小球做平抛运动垂直撞在斜面上, 到达斜面时竖直分速度  $v_y = gt = 10 \times 0.4 \text{ m/s} = 4 \text{ m/s}$ , 根据平行四边形定则知

$$\tan 45^\circ = \frac{v}{v_y}, \cos 45^\circ = \frac{v_y}{v_c}, \text{解得小球经过 B 点时的速度大小为}$$

$v = 4 \text{ m/s}$ , 小球在 C 点的速度大小为  $v_c = 4\sqrt{2} \text{ m/s}$ , 故 A 正确; 小

球在斜面上的落点 C 与 B 点的水平距离为  $x = vt = 1.6 \text{ m}$ , 故 B

错误; 在 B 点, 假设小球受到管道内壁的作用力, 大小为  $N$ , 根

$$\text{据牛顿第二定律有 } mg - N = m \frac{v^2}{R}, \text{解得 } N = -6m \text{ N} < 0, \text{可知假设}$$

错误, 小球经过管道的 B 点时, 受到管道外壁的作用力, 故 C 错

误, D 正确.

4. CD 【解析】设悬挂 A、B 球的细绳与竖直方向的夹角分别为  $\alpha$ 、

$$\theta, \text{则有 } \sin \alpha = \frac{6L}{10L} = \frac{3}{5}, \sin \theta = \frac{4L}{5L} = \frac{4}{5}, \text{对 A、B 球分别进行分析,}$$

则有  $T_A \cos \alpha = mg, T_B \cos \theta = mg$ , 解得两根细绳的拉力大小之比为

$$\frac{T_A}{T_B} = \frac{3}{4}, \text{故 B 错误; 对 A、B 球分别进行分析, 则有 } mg \tan \alpha =$$

$$m \frac{4\pi^2 \cdot 6L}{T_A^2}, mg \tan \theta = m \frac{4\pi^2 \cdot 4L}{T_B^2}, \text{解得两球的周期之比为 } \frac{T_A}{T_B} =$$

$\frac{2\sqrt{6}}{3}$ , 故 A 错误; 两球离地高度均为  $12L$ , 同时剪断两根细绳, 两

球做平抛运动, 则有  $12L = \frac{1}{2}gt^2$ , 解得  $t = 2\sqrt{\frac{6L}{g}}$ , 则两球同时落

地, 故两球落地的时间之比为  $1:1$ , 故 C 正确; 对 A、B 球分别进

行分析, 则有  $mgtan \alpha = m \frac{v_A^2}{6L}$ ,  $mgtan \theta = m \frac{v_B^2}{4L}$ , 平抛运动过程有

$x_A = v_A t$ ,  $x_B = v_B t$ , 落地点到 O 点的距离  $L_A = \sqrt{(6L)^2 + x_A^2}$ ,  $L_B =$

$\sqrt{(4L)^2 + x_B^2}$ , 联立解得两球的落地点到 O 点的距离之比为  $L_A :$

$L_B = 1:1$ , 故 D 正确.

易错点 注意不要混淆落地点到 O 点的距离与平抛运动的水平位移

# 全章上分

**1. D** 【解析】做匀速圆周运动的物体的速度大小不变,方向时刻发生变化,故 A 错误, D 正确;做匀速圆周运动的物体速度不断变化,则有加速度,故 C 错误;做匀速圆周运动的物体的加速度大小不变,方向时刻发生变化,故 B 错误.

**2. C** 【解析】因为 A、B 两点同轴转动,则角速度相同,即  $\omega_A = \omega_B$ ,故 A 错误;根据  $v = \omega r$ ,因为  $r_A < r_B$ ,则  $v_A < v_B$ ,故 B 错误;由向心加

注意: 两点的轨道圆心不在球心

速度公式  $a = \omega^2 r$ ,可得  $a_A < a_B$ ,故 C 正确;由周期公式  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ ,可得  $T_A = T_B$ ,故 D 错误.

**3. B** 【解析】小球转动所需的向心力之比等于标尺露出的格数之比,则 A、C 位置处的小球转动所需的向心力之比为 4 : 1,故 A 错误;此实验利用控制变量法,探究向心力大小与半径、角速度、质量的关系,即探究向心力大小的表达式,故 B 正确, C 错误;塔轮的边缘用皮带传动,线速度大小一定相等,由于半径不一定相同,则角速度不一定相等,故 D 错误.

**4. D** 【解析】由于飞镖做平抛运动,所以 P 点运动到最低点时飞镖刚好击中 P 点,飞镖做平抛运动的时间为  $t = \left(\frac{1}{2} + n\right) T$  ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ),故 A、B 错误;根据平抛运动的规律有  $2R = \frac{1}{2}gt^2$ ,圆周运动的周期  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ ,所以  $t = 2\sqrt{\frac{R}{g}}$ ,  $\omega = \left(\frac{1}{2} + n\right) \cdot \pi\sqrt{\frac{g}{R}}$  ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ),故 C 错误, D 正确.

**5. B** 【解析】两球的角速度相等,根据  $v = \omega r$  可知,两小球经过 O

说明: 两球同轴转动

点正下方时, B 的速度大小为  $\sqrt{gL}$ ,此时 A 的速度大小为  $2\sqrt{gL}$ ,

以 A 为研究对象,根据牛顿第二定律可得  $F_{AB} - 2mg = 2m \frac{v_A^2}{2L}$ ,解得

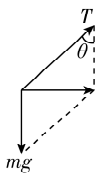
关键点: 小球在 O 点下方, 受向上的拉力

$F_{AB} = 6mg$ ,以 B 为研究对象,根据牛顿第二定律可得  $F_{OB} -$

$F'_{AB} - mg = m \frac{v_B^2}{L}$ ,又  $F'_{AB} = F_{AB}$ ,解得  $F_{OB} = 8mg$ ,则有  $\frac{F_{AB}}{F_{OB}} = \frac{6mg}{8mg} = \frac{3}{4}$ ,

故 B 正确.

**6. C** 【解析】设细线与竖直方向的夹角为  $\theta$ ,细线的拉力大小为  $T$ ,细线在水平桌面以下部分的长度为  $L$ ,小球受力分析如图,由图可知  $T = \frac{mg}{\cos \theta}$ ,  $mg \tan \theta = m\omega^2 L \sin \theta$ ,解



得  $\omega = \sqrt{\frac{g}{L \cos \theta}}$ ,小球在更高的水平面上做匀速圆周运

动时,  $\theta$  增大,  $\cos \theta$  减小,拉力  $T$  变大,角速度  $\omega$  变大,对物块 Q 受力分析,受到水平向右的拉力、水平向左的摩擦力、竖直向下的重力和竖直向上的支持力,由平衡条件可知,拉力的大小等于摩擦力的大小,所以第二次与第一次相比,物块与水平桌面之间的摩擦力变大,故 A 错误;小球 P 运动的线速度  $v = \omega L \sin \theta$ ,向心加速度  $a = \omega^2 L \sin \theta$ ,  $\theta$  增大,  $\sin \theta$  增大,  $\omega$  增大,则  $v$ 、 $a$  均增大,故 B、D 错误;

根据  $T = \frac{2\pi}{\omega}$  可知,角速度  $\omega$  变大,  $T$  减小,故 C 正确.



**7. D** 【解析】 $P$ 、 $Q$  间的距离为  $2l_0$ ，而弹簧的原长为  $l_0$ ，故弹簧的弹力大小为  $F=kl_0$ ，根据力的矢量三角形可知，静摩擦力方向与速度反向，即沿运动轨迹的切线方向时有最小值，与弹力沿切线方向的分力平衡， $f_{\min}=F\cos 30^\circ=\frac{\sqrt{3}kl_0}{2}$ ，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，即  $F\sin 30^\circ=m\omega^2\times 2l_0$ ，解得  $\omega=\sqrt{\frac{k}{4m}}$ ，故 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大小为  $F_n=m\omega^2\times 2l_0=\frac{2kl_0}{3}$ ，由力的矢量三角形可知物块受到的摩擦力大小不等于弹簧的弹力大小，故 B 错误；当  $\omega=\sqrt{\frac{k}{2m}}$  时，可得物块随圆盘转动需要的向心力大小为  $F'_n=m\omega^2\times 2l_0=kl_0$ ，由力的矢量三角形可知物块受到的摩擦力大小为  $kl_0<\sqrt{3}kl_0$ ，此时物块和圆盘间还未发生相对滑动，两物块所受的合力大小均为  $kl_0$ ，故 C 错误；静摩擦力达到最大时，由力的矢量三角形可知最大静摩擦力与弹力垂直，此时有  $\frac{kl_0}{\cos 60^\circ}=m\omega^2\times 2l_0$ ，解得  $\omega=\sqrt{\frac{k}{m}}$ ，故 D 正确。

**8. BC** 【解析】图甲中滚筒洗衣机的脱水筒匀速旋转，湿衣服在最高点和最低点时，附着在潮湿衣服上的水的重力和衣服与水之间的附着力的合力提供水的向心力，在最高点有  $mg+F_1=m\omega^2r$ ，在最低点有  $F_2-mg=m\omega^2r$ ，可得  $F_2>F_1$ ，所以在最低点时，所需要附着力较大，水更容易被甩出，故 A 错误；图乙中水流星通过最

→ **关键点** 离心运动的条件是指向圆心的合力不足以提供所需要的向心力

高点时水不流出，说明水和桶在最高点的速度满足  $v\geq\sqrt{gR}$ ，对水分析则有  $mg+F_N=m\frac{v^2}{R}$ ，可得  $F_N=m\frac{v^2}{R}-mg\geq 0$ ，故 B 正确；图

丙中当火车以大于规定的速率转弯时，火车所受重力和垂直于轨道斜面的支持力的合力不足以提供所需的向心力，火车有离心趋势，车轮对外轨有侧向压力，故 C 正确；图丁中小朋友用竹竿挑着“蜂鸣器”在水平面内做匀速圆周运动，竹竿对“蜂鸣器”作用力的竖直分量与重力平衡，水平分量提供所需的向心力，所以竹竿对“蜂鸣器”的作用力方向斜向上，故 D 错误。

**9. BD** 【解析】小物体恰好在  $ABCD$  面上没有发生相对滑动，根据受力分析可得  $F_N\sin 60^\circ=mg$ ， $F_N\cos 60^\circ=m\omega^2L\sin 60^\circ$ ，联立解得

→ **说明**：指向圆心的力提供向心力

$\omega=\frac{10\sqrt{6}}{3}\text{ rad/s}$ ，故 A 错误，B 正确；若“V”形二面体突然停止转动，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

→ **补充**：沿初速度方向做匀速直线运动，沿斜面向下做匀加速直线运动

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  $\frac{L}{2}=v_0t$ ， $y=\frac{1}{2}at^2$ ， $mg\cdot$

$\cos 60^\circ=ma$ ，又  $v_0=\omega\cdot L\sin 60^\circ=\frac{10\sqrt{6}}{3}\times 0.1\times\frac{\sqrt{3}}{2}\text{ m/s}=\frac{\sqrt{2}}{2}\text{ m/s}$ ，

解得  $y=1.25\text{ cm}<L$ ，所以小物体从  $AD$  边离开二面体，故 C 错误，

D 正确.

## 10. ACD

### 思路分析

$\omega$  较小时,  $AB$ 、 $AC$  上均有拉力, 绳  $AC$  与竖直轴  $O'O$  的夹角为  $37^\circ$ ,

$\omega = \frac{5}{2}\sqrt{2} \text{ rad/s}$  时(见解析),  $AB$  上拉

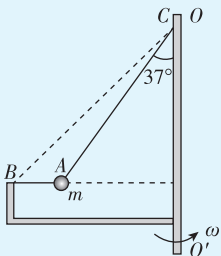
力恰好为 0, 绳  $AC$  与竖直轴  $O'O$  的夹角为  $37^\circ$ ;

$\frac{5}{2}\sqrt{2} \text{ rad/s} < \omega < \frac{5}{3}\sqrt{6} \text{ rad/s}$ ,  $AB$  拉力为

0(绳  $AB$  松弛), 绳  $AC$  与竖直轴  $O'O$  的夹角大于  $37^\circ$  且小于  $53^\circ$ ;

$\omega = \frac{5}{3}\sqrt{6} \text{ rad/s}$  时(见解析),  $AB$  竖直且拉力恰好为 0, 绳  $AC$  与竖直轴  $O'O$  的夹角为  $53^\circ$ ,

$\omega$  继续增大, 绳  $AB$  中又出现拉力, 两绳拉力均增大.



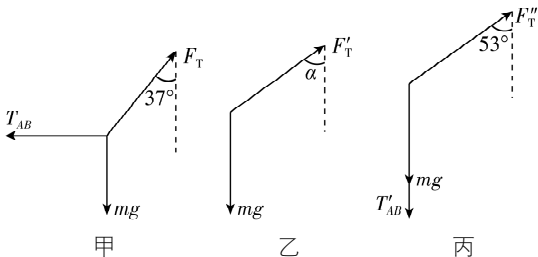
**【解析】**由几何关系知  $AB$  绳长 0.2 m, 角速度  $\omega$  由零逐渐增大, 判断各绳中拉力情况:  $\omega$  较小时,  $AC$ 、 $AB$  绳中都有拉力, 小球受力分析如图甲所示, 则有  $F_T \cos 37^\circ = mg$ ,  $F_T \sin 37^\circ - T_{AB} = m\omega^2 l \sin 37^\circ$ , 代入数据得  $F_T = 12.5 \text{ N}$ (定值), 随着  $\omega$  逐渐增大,  $AC$  绳中拉力  $F_T$  不变,  $AB$  绳中拉力  $T_{AB}$  逐渐减小至 0, 当  $T_{AB} = 0$

**说明:**  $AC$  绳的拉力在竖直方向的分力始终等于重力且与竖直方向夹角不变, 可得  $AC$  绳拉力不变, 而向心力变大, 故  $AB$  绳拉力变小

时, 可得  $\omega_1 = \sqrt{\frac{g}{l \cos 37^\circ}} = \frac{5}{2}\sqrt{2} \text{ rad/s}$ ,  $\omega = \sqrt{2} \text{ rad/s} < \frac{5}{2}\sqrt{2} \text{ rad/s}$ ,

故 A 正确, B 错误; 随着  $\omega$  继续增大, 小球会飞起,  $AB$  绳会松弛, 直至竖直, 此过程中小球受力分析如图乙所示, 则有  $F'_T \cos \alpha = mg$ ,  $F'_T \sin \alpha = m\omega_2^2 l \sin \alpha$ , 解得  $F'_T = m\omega_2^2 l \propto \omega^2$ ,  $AB$  绳刚好竖直时, 由几何关系知  $\alpha = 53^\circ$ , 联立解得  $\omega_2 = \frac{5}{3}\sqrt{6} \text{ rad/s}$ , 故 C 正确; 随着  $\omega$  继续

增大, 竖直的  $AB$  绳中也开始有拉力,  $AC$  绳中拉力进一步增大, 小球受力分析如图丙所示, 则有  $F''_T \cos 53^\circ = mg + T'_{AB}$ ,  $F''_T \sin 53^\circ = m\omega_3^2 l \sin 53^\circ$ , 解得  $F''_T = m\omega_3^2 l \propto \omega^2$ , 故当  $\omega \geq \omega_1 = \frac{5}{2}\sqrt{2} \text{ rad/s}$  时, 总有  $AC$  绳中的拉力与角速度的平方成正比, 故 D 正确.



11. (1) C (2) 质量 (3)  $\frac{d}{\Delta t \cdot R}$  (4)  $\omega^2$  (5)  $\frac{kR}{d^2}$  (6) 偏小

**【解析】**(1) 本实验采用的科学方法是控制变量法, 故 C 正确.

(2) 为探究向心力大小跟角速度的关系, 实验中需要保持滑块的质量和转动的半径不变.

(3) 旋转角速度  $\omega = \frac{v}{R} = \frac{d}{\Delta t \cdot R}$ .

(4) 根据  $F = mR\omega^2$ , 可知  $F - \omega^2$  图像是过原点的直线, 可知图像横坐标表示的物理量可能是  $\omega^2$ .

(5) 根据  $F = mR\omega^2 = \frac{md^2}{R} \cdot \frac{1}{(\Delta t)^2}$ , 则  $k = \frac{md^2}{R}$ , 解得滑块的质量  $m = \frac{kR}{d^2}$ .

(6) 在滑块与水平杆之间存在的静摩擦力的影响下, 细绳拉力和静摩擦力的合力充当向心力, 则使得示数  $F$  的测量值与滑块  $A$  需要的向心力大小相比偏小.

12. (1)  $\frac{s}{Rt}$   $\frac{s^2}{Rt^2}$  (2)  $\frac{s^2}{gRt^2}$  (3)  $m\sqrt{g^2 + \frac{s^4}{R^2t^4}}$

【解析】(1) 飞机的线速度大小为  $v = \frac{s}{t}$ , 则飞机的角速度  $\omega =$

$\frac{v}{R} = \frac{s}{Rt}$ , 向心加速度大小为  $a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{s^2}{Rt^2}$ .

(2) 对飞机受力分析有  $\tan \theta = \frac{F_n}{mg}$ , 其中  $F_n = ma_n$ , 联立解得

$\tan \theta = \frac{s^2}{gRt^2}$ .

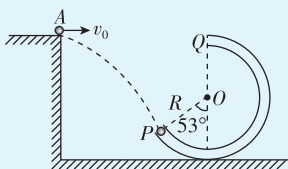
(3) 对飞机受力分析, 竖直方向上有  $F \cos \theta = mg$ , 水平方向上有

$F \sin \theta = ma_n$ , 联立解得  $F = m\sqrt{g^2 + \frac{s^4}{R^2t^4}}$ .

13. (1) 1.2 m (2) 大小为 6.4 N, 方向竖直向上 (3)  $\frac{2\sqrt{5}}{5}$  m



### 思路导引



$A \rightarrow P$ , 小球做平抛运动, 沿切线从  $P$  点进入管道, 可确定小球在  $P$  点时的速度方向.

$P \rightarrow Q$ , 杆球模型.

离开  $Q$  后, 做平抛运动.

【解析】(1) 因为小球恰能沿圆弧管道上  $P$  点的切线方向进入管道内侧, 则  $\tan 53^\circ = \frac{v_y}{v_0}$ , 解得  $v_y = 4$  m/s, 小球平抛的时间为  $t =$

$\frac{v_y}{g} = 0.4$  s, 小球从平台上的  $A$  点射出到  $P$  点的水平位移大小

$x_0 = v_0 t = 1.2$  m.

(2) 小球到达  $Q$  点时速度大小为  $v_Q = 3$  m/s, 设小球受到的弹力向下, 根据牛顿第二定律可得  $F_N + mg = m \frac{v_Q^2}{R}$ , 解得  $F_N = 6.4$  N, 由牛顿第三定律可知, 小球通过管道的最高点  $Q$  时对管道的压力大小为 6.4 N, 方向竖直向上.

(3) 小球从  $Q$  点到地面做平抛运动, 设小球在  $Q$  点速度为  $v_1$  时刚好经过  $P$  点落到地面上, 则从  $Q$  点到  $P$  点, 在竖直方向有  $R(1 + \cos 53^\circ) = \frac{1}{2}gt_1^2$ , 解得  $t_1 = 0.4$  s, 水平方向有  $v_1 = \frac{R \sin 53^\circ}{t_1} =$

1 m/s, 小球从  $Q$  点到地面过程, 竖直方向有  $2R = \frac{1}{2}gt_2^2$ , 解得  $t_2 = \frac{\sqrt{5}}{5}$  s, 水平方向有  $x = vt_2$ , 由几何关系得  $v_{\max}t_2 < x_0 + R\sin 53^\circ$ , 即小球直接落在地面上最远的点  $N$  对应最大的飞出速度, 则小球落在地面上最近点  $M$  与最远点  $N$  之间的距离为  $\Delta x = (v_{\max} - v_1)t_2 = \frac{2\sqrt{5}}{5}$  m.

14. (1)  $\frac{4\sqrt{3}mg}{l}$  (2)  $\sqrt{\frac{3g}{2l}}$  (3)  $\sqrt{\frac{(2+\sqrt{3})g}{l}}$

【解析】(1) 两环静止时, 由几何关系可知  $\sin \theta_1 = \frac{\frac{5}{6}l}{\frac{5}{3}l} = \frac{1}{2}$ , 设轻

绳上的拉力大小为  $T$ , 对  $Q$  受力分析有  $m_1g = T\cos \theta_1$ , 对  $P$  受力分析有  $T\sin \theta_1 = F_{\text{弹}}$ , 根据胡克定律, 弹簧弹力大小为  $F_{\text{弹}} = k\left(l - \frac{5}{6}l\right)$ , 联立解得  $k = \frac{4\sqrt{3}mg}{l}$ .

(2) 弹簧长度恰好为原长时, 由几何关系可知  $\sin \theta_2 = \frac{l}{\frac{5}{3}l} = \frac{3}{5}$ , 设

轻绳上的拉力大小为  $T'$ , 对  $Q$  受力分析有  $m_1g = T'\cos \theta_2$ , 对  $P$  受力分析有  $T'\sin \theta_2 = m_2\omega_1^2l$ , 解得  $\omega_1 = \sqrt{\frac{3g}{2l}}$ .

(3) 弹簧长度为  $\frac{4l}{3}$  时, 由几何关系可知  $\sin \theta_3 = \frac{\frac{4}{3}l}{\frac{5}{3}l} = \frac{4}{5}$ , 设轻绳

上的拉力大小为  $T''$ , 对  $Q$  受力分析有  $m_1g = T''\cos \theta_3$ , 对  $P$  受力分析有  $T''\sin \theta_3 + k\left(\frac{4l}{3} - l\right) = m_2\omega_2^2 \cdot \frac{4l}{3}$ , 解得  $\omega_2 = \sqrt{\frac{(2+\sqrt{3})g}{l}}$ .

### 真题上分

1. C 【解析】设该同学摇绳一圈所用时间为  $T$ , 由题意可得  $\frac{30^\circ}{360^\circ} \cdot T = \frac{1}{30}$  s, 解得  $T = 0.4$  s, 则该同学每分钟摇绳的圈数为  $n = \frac{60}{T} = 150$ , C 正确.

2. B 【解析】底盘以  $O$  点为轴匀速转动, 底盘上除  $O$  点外所有点均做同轴转动, 转杯上除  $O'$  点外所有点不仅相对  $O$  点同轴转动, 还相对  $O'$  点同轴转动, 所以  $O'$  点做匀速圆周运动,  $A$  点做的不是匀速圆周运动, A 错误, B 正确; 设该时刻  $A$  点在底盘上的竖直投影点所对应的转盘上的点为  $A'$ ,  $A'$  点转动的半径大于  $O'$  点的转动半径, 由  $v = \omega r$  可知,  $A'$  点的速度大于  $O'$  点的速度, 又由于该时刻  $A$  点绕  $O'$  点与底盘做同方向转动, 则  $A$  点的速度大于  $A'$  点的速度, 则此时  $A$  点的速度一定大于  $O'$  点的速度, C、D 错误.

**易错警示** 忽略速度方向: 若未注意到两分运动线速度方向相同(均顺时针), 可能错误采用矢量减法计算合速度.

3. B 【解析】对汽车, 在  $NO$  段根据速度位移关系有  $v_0^2 - (2v_0)^2 = -2as$ , 解得匀减速运动的加速度大小  $a = \frac{3v_0^2}{2s}$ , 汽车做匀减速运动的时间  $t = \frac{2v_0 - v_0}{a} = \frac{2s}{3v_0}$ , 这段时间内列车行驶距离为  $s' = 2v_0 \cdot t =$

$\frac{4s}{3}$ , B 正确, A 错误; 汽车在  $OP$  段向心加速度大小为  $a_n = \frac{v_0^2}{R}$ ,

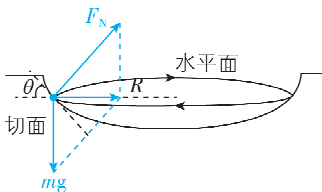
C、D 错误.

4. C 【解析】由题意可知, 在最低点附近的曝光时间内小球走过的弧长  $l = \frac{1}{5}r = 0.12 \text{ m}$ , 则小球的瞬时速度为  $v = \frac{l}{t} = 6 \text{ m/s}$ , 在最低

点, 根据牛顿第二定律有  $T - mg = m \frac{v^2}{r}$ , 解得  $T = 7 \text{ N}$ , C 正确.

5. 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.

6. AC 【解析】小球受力分析如图所示, 由牛顿第二定律得  $mg \tan \theta = m \omega^2 R$ , 解得角速度为  $\omega = \sqrt{\frac{g \tan \theta}{R}} = 5 \text{ rad/s}$ , A 正确; 由  $v = \omega R$  解得线速度大小为  $v = 2 \text{ m/s}$ , B 错误; 由  $a = \omega^2 R$  解得向心加速度大小为  $a = 10 \text{ m/s}^2$ , C 正确; 小球所受支持力大小为  $F_N = \frac{mg}{\cos \theta} = \sqrt{2} \text{ N}$ , D 错误.



7. 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  $\omega_{\max}$ , 物品做平抛运动的初速度为  $v_0 = \omega_{\max} R_2$ , 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  $\omega_{\max} = \frac{2}{3} \text{ rad/s}$ ,

A 错误, B 正确; 无人机从  $A$  点运动到  $B$  点的时间为  $t_2 = \frac{1}{4} \times$

$\frac{2\pi}{\omega_{\max}} = \frac{3\pi}{4} \text{ s} > 2 \text{ s}$ , 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.

8. (1)  $\frac{\mu g}{\omega_1^2 r_1}$  (2)  $\sqrt{\frac{\mu g \sin \theta \cos \beta}{r_2 (\sin \theta \sin \beta + \mu \cos \theta)}}$

【解析】(1) 设转椅质量为  $m$ , 轻绳拉力为  $T$ , 轻绳沿转椅运动轨迹切线方向分力为  $T \sin \alpha = \mu mg$ , 轻绳沿转椅轨迹半径方向分力

提供向心力, 有  $T \cos \alpha = m \omega_1^2 r_1$ , 解得  $\tan \alpha = \frac{\mu g}{\omega_1^2 r_1}$ .

(2) 设轻绳拉力为  $F$ , 竖直方向有  $N + F \cos \theta = mg$ , 转椅受到的摩擦力  $f = \mu N$ , 对转椅, 沿运动轨迹切线方向有  $F \sin \theta \cdot \sin \beta = f$ , 沿圆周运动半径方向有  $F \sin \theta \cdot \cos \beta = m \omega_2^2 r_2$ , 联立解得  $\omega_2 =$

$$\sqrt{\frac{\mu g \sin \theta \cos \beta}{r_2 (\sin \theta \sin \beta + \mu \cos \theta)}}.$$

9. ① 1 ③  $\frac{1}{2} m \omega^2 (D - d)$  0.006 1

【解析】(1) ① 由题可知, 圆盘转动周期  $T = \frac{t}{n} = \frac{62.8 \text{ s}}{10} = 6.28 \text{ s}$ ,

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 1 \text{ rad/s};$$

③小圆柱体所需向心力表达式为  $F = \frac{1}{2}m\omega^2(D-d)$ , 代入数据得

$$F = 0.0061 \text{ N}.$$