

## 第四单元 曲线运动

### 考点基础巩固卷 I

#### 1. B 必刷模型 ▶ 运动的合成与分解+小船渡河模型

【深度解析】渡河过程中保持船头指向与河岸始终垂直(关键点:小船在静水中的速度方向与河岸垂直),则小船渡河的时间

为  $t = \frac{d}{v_{\text{船}}} = \frac{100}{4} \text{ s} = 25 \text{ s}$ , 小船在河水中的速度(关键点:小船

在河水中的速度为合速度)大小为  $v = \sqrt{v_{\text{船}}^2 + v_{\text{水}}^2} = 5 \text{ m/s}$ , 小船

渡河过程中的位移(关键点:小船渡河位移为合位移)大小为

$x = vt = 25 \times 5 \text{ m} = 125 \text{ m}$ , A、D 错误, B 正确;小船在静水中垂直河岸匀速运动、沿水流方向匀速运动,合运动为匀速直线运动,故小船在河水中航行的轨迹为直线, C 错误。

#### 知识拓展

合运动与分运动具有等时性,若船头与河岸垂直,则渡河时间一般用小船在静水中的分运动求解;若合速度与河岸垂直,则渡河时间一般用合运动求解。

#### 2. D 必刷知识 ▶ 平抛运动

【深度解析】两飞镖从同一位置做平抛运动,由题图知,飞镖 B

下落的高度大,由  $h = \frac{1}{2}gt^2$  知,飞镖 B 在空中运动的时间比飞镖

A 在空中运动的时间长,两飞镖的水平位移相等,由  $x = v_0t$  知,飞

镖 A 的初速度大于飞镖 B 的初速度, A、B 错误;因飞镖 A 的初速

度大于飞镖 B 的初速度,由动能定理知,人对飞镖 A 做的功大于

人对飞镖 B 做的功, C 错误;两飞镖在空中运动的加速度相等,

都是重力加速度  $g$ ,由  $\Delta v_y = gt$  知,飞镖 A 在空中运动时的速度变

化量小于飞镖 B 在空中运动时的速度变化量, D 正确。

#### 技巧必背

平抛运动的时间只与下落高度有关;速度变化量  $\Delta v = g\Delta t$ , 方向竖直向下,任意相等的时间内速度的变化量都相等。

#### 3. C 必刷知识 ▶ 运动的合成与分解

【深度解析】P 点参与了两个分运动:匀速直线运动和圆周运

动,其所受合力方向指向圆心,由运动的合成与分解知,合速

度方向不指向圆心,也不与合力方向垂直(关键点:圆周运动的

向心力方向与速度方向垂直),故 P 点的运动轨迹不是直

线,也不是圆弧, A、B 错误;经过半个周期,分运动为圆周运

动的位移大小为  $x_1 = 2R$ ,分运动为匀速直线运动的位移大小

为  $x_2 = v_0 \cdot \frac{T}{2} = v_0 \cdot \frac{\omega}{2} = \frac{\pi v_0}{\omega}$ ,则 P 点通过的位移大小为  $x =$

$x_1 + x_2 = 2R + \frac{\pi v_0}{\omega}$ , C 正确;经过一个周期,分运动为圆周运动的

位移大小为  $x'_1 = 0$ ,分运动为匀速直线运动的位移大小为  $x'_2 =$

$v_0 \cdot T = v_0 \cdot \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi v_0}{\omega}$ , 则  $P$  点通过的位移大小为  $x' = x'_1 + x'_2 = \frac{2\pi v_0}{\omega}$ , **D 错误**。

#### 4. C 必刷知识 ▶ 运动的合成与分解

【深度解析】由题图乙、丙知, 在  $0 \sim t_1$  时间内, 无人机沿水平方向和竖直方向均做初速度为零的匀加速直线运动, 其合运动仍是直线运动, **A 错误**; 在  $t_1 \sim t_2$  时间内, 无人机的加速度沿竖直方向, 但  $t_1$  时刻的速度方向不沿竖直方向, 因此运动轨迹是曲线, **B 错误**; 在  $0 \sim t_2$  时间内, 水平方向和竖直方向的位移都不断增大, 根据矢量的合成知, 合位移不断增大, **C 正确**; 在  $t_2 \sim t_3$  时间内无人机水平方向做匀减速直线运动, 加速度不变, 竖直方向做匀加速直线运动, 加速度不变, 根据矢量的合成知, 合加速度不变, **D 错误**。

#### 知识拓展

运动性质的判断方法: (1) 轨迹的判断: 先确定物体所受合力方向, 再确定物体速度方向, 最后根据曲线运动的条件判断; (2) 加速度的判断: 物体受到的合力为恒力, 则为匀变速运动, 否则为变加速运动。

#### 5. B 必刷知识 ▶ 斜抛运动

【深度解析】从最高点到失火处水在竖直方向做自由落体运动, 根据  $h = \frac{1}{2}gt^2$  知, 甲、乙两支水枪所喷出的水下落高度相同, 则运动时间相同, 根据逆向思维可知水从喷出到最高点的逆过程在竖直方向也做自由落体运动, 上升高度相同, 运动的时间相同, **A 错误**; 斜抛运动在水平方向的运动为匀速直线运动, 由题图知, 甲水枪喷出的水的水平位移小, 由  $x = v_0 t$  知, 甲水枪喷出的水在最高点的速度比乙的小, **B 正确**; 甲、乙两支水枪所喷出的水在空中的高度相同, 由  $v_y^2 = 2gh$  知, 甲、乙两支水枪喷出的水在竖直方向的分速度相同, 乙水枪喷出的水在水平方向的速度大于甲的, 由运动的合成与分解知, 乙水枪喷出的水速度大, 相同时间内, 甲水枪喷出的水质量小于乙水枪喷出的水质量, 因此相同时间内, 乙水枪喷出的水动能大, 乙水枪喷水的功率较大, **C、D 错误**。

#### 6. C 必刷模型 ▶ 平抛运动+相遇模型

【深度解析】设第一次抛出时,  $A$  球的速度大小为  $v_1$ ,  $B$  球的速度大小为  $v_2$ , 则  $A$ 、 $B$  间的水平距离  $x = (v_1 + v_2)t$ , 第二次两球的速度为第一次的  $\frac{1}{2}$ , 但两球间的水平距离不变, 则  $x = \frac{1}{2}(v_1 + v_2)T$ , 联立解得  $T = 2t$ , **A、B 错误**; 两次相遇位置的高度差  $\Delta h = \frac{1}{2}g(2t)^2 - \frac{1}{2}gt^2 = \frac{3}{2}gt^2$ , 两次相遇时  $A$  球水平位移大小  $x'_A = \frac{1}{2}v_1 \cdot 2t = v_1 t = x_A$ , 即相遇位置在原来的正下方,

C 正确, D 错误。

### 7. D 必刷知识 ▶ 平抛运动

【深度解析】两球落入管口时的速度方向相同, 设此时速度方向与水平方向的夹角为  $\beta$ , 根据平抛运动推论得  $\tan \beta = 2 \tan \theta$ ,  $\tan \beta = 2 \tan \alpha$ , 联立解得  $\tan \theta = \tan \alpha$ , 则  $\theta = \alpha$ , A、B 错误; 设小球从 A 点抛出到落到 O 点所用时间为  $t_1$ , 则  $\tan \theta =$

$$\frac{\frac{1}{2}gt_1^2}{v_1 t_1}, \text{解得 } t_1 = \frac{2v_1 \tan \theta}{g}, \text{水平位移为 } x_1 = v_1 t_1 = \frac{2v_1^2 \tan \theta}{g}, \text{则}$$

$$AO = \frac{x_1}{\cos \theta} = \frac{2v_1^2 \tan \theta}{g \cos \theta}, \text{同理可知 } BO = \frac{2v_2^2 \tan \alpha}{g \cos \alpha}, \text{由于 } \theta = \alpha, \text{故}$$

$$\frac{AO}{BO} = \frac{v_1^2}{v_2^2} = \frac{3}{2}, \text{解得 } \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}, \text{C 错误, D 正确。}$$

#### 技巧必背

(1) 做平抛(或类平抛)运动的物体在任一时刻任一位置处, 设其末速度方向与水平方向的夹角为  $\theta$ , 位移与水平方向的夹角为  $\varphi$ , 则  $\tan \theta = 2 \tan \varphi$ 。

(2) 做平抛(或类平抛)运动的物体任意时刻的瞬时速度的反向延长线一定通过此时水平位移的中点。

### 8. D 必刷模型 ▶ 平抛运动+圆周模型

【深度解析】从 C 点抛出的小球下落高度小, 根据  $h = \frac{1}{2}gt^2$

知, 该小球先落到 D 点, A 错误; 从 A 点抛出的小球, 水平方向

的运动和竖直方向的运动分别有  $R = v_1 t_1$ ,  $R = \frac{1}{2}gt_1^2$ , 从 C 点抛

出的小球, 有  $R \sin 60^\circ = v_2 t_2$ ,  $R - R \cos 60^\circ = \frac{1}{2}gt_2^2$ , 联立解得  $v_1 :$

$v_2 = \sqrt{6} : 3$ , B 错误; 从 A 点抛出的小球落到 D 点时, 设速度方向

与 OD 线夹角为  $\alpha$ , 有  $\tan \alpha = \frac{v_1}{gt_1} = \frac{1}{2}$ , 从 C 点抛出的小球落到

D 点时, 设速度方向与 OD 线夹角为  $\beta$ , 有  $\tan \beta = \frac{v_2}{gt_2} = \frac{\sqrt{3}}{2}$ , 两小

球落到 D 点时的速度方向与 OD 线夹角不相等, C 错误; 从 A

点抛出的小球落到 D 点时, 有  $v_{D1} = \sqrt{v_1^2 + (gt_1)^2}$ , 从 C 点抛

出的小球落到 D 点时, 有  $v_{D2} = \sqrt{v_2^2 + (gt_2)^2}$ , 解得  $v_{D1} : v_{D2} = \sqrt{10} :$

$\sqrt{7}$ , D 正确。

### 9. C 必刷模型 ▶ 平抛运动+斜面模型

【深度解析】运动员从 O 点水平飞出做平抛运动, 设水平飞出的初速度大小为  $v_0$ , 在斜坡上的落点到 O 点的距离为 L,

运动员落到斜坡上时,  $\tan \theta = \frac{y}{x} = \frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0 t} = \frac{gt}{2v_0} = \frac{v_y}{2v_0}$ , 水平分速

度与竖直分速度满足  $\frac{v_y}{v_0} = 2 \tan \theta$ ,  $\theta$  角不变, 可知该运动员两

次试滑着陆在 M、N 点时的速度方向一定相同, A 错误; 运动

员从 O 点到落到斜坡上时, 竖直方向的速度  $v_y = \sqrt{2gL \sin \theta}$ ,

根据  $\frac{v_y}{v_0} = 2 \tan \theta$ , 得水平方向的速度  $v_0 = \frac{\sqrt{2gL \sin \theta}}{2 \tan \theta}$ , 则运动员

员落到斜坡上时的动能  $E_k = \frac{1}{2} m (v_0^2 + v_y^2) = mgL \cdot$

$\left( \frac{1}{4 \tan^2 \theta} + 1 \right) \sin \theta$ , 又  $L_{ON} = 2L_{OM}$ , 解得运动员两次试滑着陆在

$M$ 、 $N$  点时动能之比为  $1:2$ , **B 错误**; 由平抛运动的规律知, 在

竖直方向上, 有  $h = \frac{1}{2} g t^2$ , 解得运动时间  $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ ,  $h_N = 2h_M$ ,

故该运动员两次试滑着陆在  $M$ 、 $N$  点两过程时间之比为  $1:$

$\sqrt{2}$ , **C 正确**; 将运动员在  $O$  点的速度  $v_0$  沿斜坡方向和垂直斜坡

方向分解, 垂直斜坡方向的分速度  $v_2 = v_0 \sin \theta$ , 离斜坡最远

时运动员的速度方向与斜坡平行, 即垂直斜坡方向的速度为

零, 垂直斜坡方向的加速度大小  $g' = g \cos \theta$ , 则运动员离斜坡

最远距离为  $h = \frac{v_2^2}{2g'} = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g \cos \theta} = \frac{v_0^2}{2g} \tan \theta \cdot \sin \theta$ , 因为  $OM = MN$ ,

故在水平方向上, 有  $x_N = 2x_M$ , 在竖直方向, 有  $t_N = \sqrt{2} t_M$ , 故运

动员两次做平抛运动的初速度关系为  $v_N = \frac{x_N}{t_N} = \frac{2x_M}{\sqrt{2} t_M} = \sqrt{2} v_M$ ,

因此运动员两次试滑着陆在  $M$ 、 $N$  点两过程中离斜坡最远距

离之比是  $1:2$ , **D 错误**。

10. (1) C (2) B (3)  $x \sqrt{\frac{g}{2y}}$  有关 (4)  $2 \sqrt{\frac{l}{g}}$   $3 \sqrt{gl}$

(5) 见解析

**必刷知识** ▶ 研究平抛运动 + 实验器材 + 实验操作 + 实验注意事项 + 数据处理 + 误差分析

**【题图剖析】**

使小球每次做平抛运动的初速度相同

保证小球做平抛运动

小球从同一位置静止释放

斜槽末端水平

小球球心为坐标原点

木板

斜槽

粗糙不影响

实验结果

小球

硬纸片

确定小球位置

重垂线沿竖直方向

确定 y 轴

**【深度解析】**(1) 除已备有的器材外, 实验中还需要的一种实验器材是重垂线, **C 正确**, **A、B、D 错误**。

(2) 斜槽轨道不一定是光滑的, 只要小球到达底端时速度相等即可, **A 错误**; 应该将斜槽轨道的末端调成水平, 以保证小球能做平抛运动, **B 正确**; 以斜槽末端上小球球心的投影点作为小球做平抛运动的起点和所建坐标的原点  $O$ , **C 错误**; 应将所有通过硬纸片确定的点用平滑曲线连接, 而不是用直线连接, **D 错误**。

(3) 根据平抛运动规律得  $y = \frac{1}{2}gt^2$ , 解得小球下落的时间  $t = \sqrt{\frac{2y}{g}}$ , 则小球的初速度  $v_0 = \frac{x}{t} = x\sqrt{\frac{g}{2y}}$ ; 为了减小测量误差,  $x$ 、 $y$  取值应大一些, 故计算初速度的误差与  $x$ 、 $y$  的大小选取有关。

(4)  $P_1$  和  $P_2$ 、 $P_2$  和  $P_3$  之间的水平距离相等, 则两段运动的时间相等, 在竖直方向上, 根据  $\Delta y = gT^2$  得, 小球从  $P_1$  运动到  $P_2$  所用的时间为  $T = \sqrt{\frac{10l-6l}{g}} = 2\sqrt{\frac{l}{g}}$ ; 小球抛出后的水平速度  $v_x = \frac{6l}{T} = 3\sqrt{gl}$ 。

(5) 令  $y = ax^2$ , 代入实验所得各点坐标值求出  $a$ , 看在误差允许的范围内,  $a$  是否相等, 可判断实验所得的曲线是否为抛物线。

#### 11. (1) 0.4 s (2) 7 m

**必刷模型** ▶ 平抛运动+斜面模型

【深度解析】(1) 对乙球, 设从抛出到落在斜面所用的时间为  $t_Z$ , 小球做平抛运动, 水平方向有

$$L_2 \cos \theta = v_0 t_Z,$$

$$\text{竖直方向有 } h - L_2 \sin \theta = \frac{1}{2}gt_Z^2,$$

联立解得  $t_Z = 0.4 \text{ s}$ ,  $L_2 = 2 \text{ m}$ 。

(2) 对甲球, 设从抛出到落在斜面所用的时间为  $t_{\text{甲}}$ , 小球做平抛运动, 水平方向有

$$L_1 \cos \theta = v_0 t_{\text{甲}},$$

$$\text{竖直方向有 } h + L_1 \sin \theta = \frac{1}{2}gt_{\text{甲}}^2,$$

联立解得  $t_{\text{甲}} = 1 \text{ s}$ ,  $L_1 = 5 \text{ m}$ ,

则 A、B 两落点之间的距离  $L = L_1 + L_2 = 5 \text{ m} + 2 \text{ m} = 7 \text{ m}$ 。

#### 12. (1) 0.3 s (2) $1.0 \times 10^{-4} \text{ N}$ (3) 0.12 m

**必刷知识** ▶ 运动的合成与分解

【深度解析】(1) 谷粒在竖直方向做自由落体运动,

$$\text{有 } h = \frac{1}{2}gt^2,$$

其中  $h = 0.45 \text{ m}$ ,

解得  $t = 0.3 \text{ s}$ 。

(2) 水平方向在恒定风力作用下, 谷粒做初速度为零的匀加速直线运动。对于恰好落到 B 点的质量  $m = 2.5 \times 10^{-5} \text{ kg}$  的谷粒,

$$\text{水平方向有 } x = \frac{1}{2}at^2,$$

其中  $x = 0.18 \text{ m}$ ,  $t = 0.3 \text{ s}$ ,

解得  $a = 4 \text{ m/s}^2$ ,

由牛顿第二定律有  $F = ma$ ,

解得  $F = 1.0 \times 10^{-4} \text{ N}$ 。

(3)对于质量  $m' = 1.5 \times 10^{-5} \text{ kg}$  的谷粒,

根据牛顿第二定律有  $F = m'a'$ ,

$$\text{解得 } a' = \frac{20}{3} \text{ m/s}^2,$$

水平方向根据运动学公式有  $x' = \frac{1}{2}a't^2$ ,

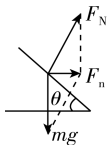
解得  $x' = 0.30 \text{ m}$ ,

则  $A_2B$  的宽度  $\Delta x = x' - x = 0.12 \text{ m}$ 。

## 考点基础巩固卷 II

### 1. C 必刷模型 ▶ 自行车在倾斜路面上做圆周运动

【深度解析】当速度为  $v_0$  时自行车不受侧向摩擦力作用,则自行车和运动员所受重力和支持力提供向心力(关键点:自行车做圆周运动的轨道在水平面内,向心力方向沿水平方向),自行车和



运动员受力分析如图所示,向心力大小为  $F_n = mg \tan \theta$ ,自行

车所受的支持力大小为  $F_N = \frac{mg}{\cos \theta}$ ,A、B 错误;当速度为  $v_1$

时,  $v_1 > v_0$ ,故自行车和运动员有向外滑的趋势,自行车所受的侧向摩擦力方向沿赛道向内,此时自行车和运动员的向心力大于  $mg \tan \theta$ ,C 正确,D 错误。

#### 知识拓展

火车转弯时,其轨道在水平面内,向心力沿水平方向。若以规定速度行驶,则重力和支持力的合力提供向心力,若行驶速度大于规定速度,则外轮挤压外轨,若行驶速度小于规定速度,则内轮挤压内轨。

### 2. A 必刷知识 ▶ 描述圆周运动的物理量

【深度解析】风力发电机叶片上  $P$ 、 $Q$  两点属于同轴转动,故两点的角速度相等,由向心加速度公式  $a = \omega^2 r$ ,可知半径  $r$  不相等,两点的向心加速度大小不同,故 A 正确;风力发电机叶片上  $P$ 、 $Q$  两点做匀速圆周运动,向心加速度的方向时刻指向圆心,所以两点的向心加速度方向不相同,故 B 错误; $P$ 、 $Q$  两点的半径  $r$  不相等,由线速度与角速度的关系  $v = \omega r$  可知,两点的线速度大小不相等,故 C 错误;由于  $P$ 、 $Q$  两点做匀速圆周运动,故线速度的方向沿圆周的切线方向,所以  $P$ 、 $Q$  两点的线速度方向不相同,故 D 错误。

#### 技巧必背

同轴转动,各点的角速度相同;同皮带、同摩擦、同齿轮转动,轮子边缘的线速度大小相等。

### 3. C 必刷模型 ▶ 汽车过凹凸路面

【深度解析】汽车在 A 点具有向下的加速度,处于失重状态,如果采取加速操作,会使加速度增大,路面对汽车的支持力减小,汽车可能会飞离地面,若采取减速操作,加速度减小,路面对汽车的支持力增大,即车胎与路面间的弹力增大,汽

车行驶更安全, **A 错误, C 正确**; 汽车在  $B$  点具有向上的加速度, 处于超重状态, 如果采取加速操作, 会使加速度增大, 路面对汽车的支持力增大, 车胎受到的压力增大, 汽车更紧贴地面, 若采取减速操作, 加速度减小, 路面对汽车的支持力减小, 即车胎与路面间的弹力减小, **B、D 错误**。

#### 4. A 必刷知识 ▶ 水平面内的圆周运动

【深度解析】所有游客转动的角速度都相同, 坐在外侧的游客旋转的半径较大, 根据  $a = \omega^2 r$  知, 坐在外侧的游客旋转的向心加速度更大, **A 正确**; 根据  $F_n = m\omega^2 r$  知, 因游客质量关系不确定, 故坐在外侧的游客旋转所需向心力不一定更大, **B 错误**; 设钢绳与竖直方向夹角为  $\theta$ , 由牛顿第二定律得, 钢绳上的拉力大小为  $F = \frac{mg}{\cos \theta}$ ,  $mg \tan \theta = m\omega^2 r$ , 若“飞椅”转动的角速度变大, 钢绳与竖直方向的夹角  $\theta$  变大, 钢绳上的拉力  $F$  变大, 旋转半径变大, **C、D 错误**。

#### 5. C 必刷模型 ▶ 圆锥摆模型

【深度解析】将小球的圆周运动等效成圆锥摆, 设摆长为  $L$ , 等效摆线与竖直方向夹角为  $\theta$ , 由牛顿第二定律得  $mg \tan \theta = m\omega^2 L \sin \theta$ , 解得  $\omega = \sqrt{\frac{g}{L \cos \theta}} = \sqrt{\frac{g}{h}}$ ,  $h$  为等效悬点到小球的高度差, 由于两球的角速度相同, 因此  $h$  相同, **C 正确, A、B、D 错误**。

#### 6. D 必刷模型 ▶ 竖直平面内的圆周运动+离心运动

【深度解析】当衣物做匀速圆周运动时, 所需的向心力相同, 对筒壁的压力不同, 压力最大的地方脱水效果最好。在最高点时, 有  $F_{N1} + mg = m \frac{v^2}{R}$ , 在最低点时, 有  $F_{N2} - mg = m \frac{v^2}{R}$ , 由以上两式知,  $F_{N1} < F_{N2}$ , 故衣物转动到最低点时水滴更容易被甩出, **A 错误**; 滚筒对衣物作用力为垂直于接触面的支持力和相切于接触面的摩擦力, 该作用力与衣物重力的合力提供向心力 (关键点: 物体做匀速圆周运动时, 合力即为物体所受向心力), 大小不变且始终指向圆心, 故脱水过程中, 滚筒对衣物作用力不一定指向圆心, **B 错误**; 脱水过程中, 当衣物向下运动时滚筒对衣物的摩擦力始终充当阻力, **C 错误**; 若衣物在脱水过程中恰好能做完整的圆周运动 (关键点: 衣物在最高点只受重力, 且重力全部提供向心力), 在最高点, 由牛顿第二定律

得  $mg = m\omega^2 R$ , 解得  $\omega = \sqrt{\frac{g}{R}}$ , 故滚筒转动的角速度至少为

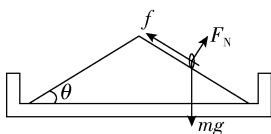
$\sqrt{\frac{g}{R}}$ , **D 正确**。

#### 技巧必背

小球在竖直平面内做圆周运动的两种模型: (1) 绳模型: 小球能做完整圆周运动的临界条件, 即小球刚好通过最高点的条件为小球在最高点只受重力且重力完全提供向心力, 有  $v = \sqrt{gR}$ ; (2) 轻杆模型: 小球能做完整圆周运动的临界条件, 即小球刚好通过最高点的条件为小球在最高点的速度为零。

## 7. B 必刷模型 ▶ 水平面内的圆周运动

【深度解析】“魔盘”加速转动时，合外力不仅提供水平指向转轴的向心力，还提供沿切线方向的分力，故儿童受到的合外力方向不



是水平指向转轴，**A 错误**；当儿童刚要发生滑动时，受力分析如图所示，此时儿童所受摩擦力为最大静摩擦力，设角速度为  $\omega$ ，根据牛顿第二定律有  $\mu F_N \cos \theta - F_N \sin \theta = m\omega^2 r$ ，

$\mu F_N \sin \theta + F_N \cos \theta = mg$ ，解得  $\omega = \sqrt{\frac{(\mu \cos \theta - \sin \theta)g}{(\mu \sin \theta + \cos \theta)r}}$ ，故当其

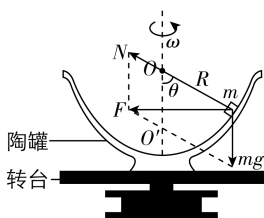
他条件相同，儿童的位置越靠下， $r$  越大，临界角速度越小，越容易滑动，**B 正确**；其他条件相同时，质量不同的儿童发生滑动的临界角速度相同，故儿童是否容易滑动与质量无关，**C 错误**；“魔盘”匀速转动且儿童未发生滑动时，“魔盘”转速越大，需要的向心力越大，儿童受到的摩擦力越大，**D 错误**。

## 8. C 必刷题型 ▶ 向心力的判断

【深度解析】小物块做匀速圆周运动的半径为  $r = R \sin \theta$ ，小物块所受支持力和重力的合力恰好提供向心力，如图所示，小物块的合力大小为  $F = mg \tan \theta$ ，**A 错误**；设此时转台的角速度为  $\omega$ ，根据牛顿第二定律得  $m\omega^2 r = mg \tan \theta$ ，解得  $\omega =$

$\sqrt{\frac{g}{R \cos \theta}}$ ，此时小物块的线速度大小为  $v = \omega r =$

$\sqrt{gR \tan \theta \sin \theta}$ ，**B 错误，C 正确**；保持小物块相对罐壁静止，且增大转台的角速度，小物块所受支持力和重力的合力不足以提供向心力，此时小物块将受到沿内壁切线向下的摩擦力，从而提供一部分向心力，**D 错误**。



### 知识拓展

圆周运动问题的分析方法：确定圆周运动所在的轨道平面、圆心和半径；受力分析求向心力；匀速圆周运动的向心力为物体所受的合力，非匀速圆周运动的向心力为沿半径方向的合力，代入向心力公式求解。

## 9. D 必刷模型 ▶ 竖直平面内的圆周运动+杆模型

【深度解析】小球通过最高点时受到重力和管壁的支持力，若小球受到管壁的支持力方向向上，且与重力大小相等，则小球的速度有最小值，为零，**A 错误**；小球运动到  $a$  点时，外侧管壁对小球指向圆心的支持力提供小球做圆周运动的向心力，所以小球一定挤压外侧管壁，**B 错误**；小球在水平线  $ab$  以下管道中运动时，因为重力沿半径方向的分力指向外侧，所以必须是管道外壁对小球有沿半径指向圆心的作用力，才能使得径向



的合力指向圆心,小球才能做圆周运动,**C 错误**;小球在水平线  $ab$  以上管道中运动时,重力沿半径方向的分力可以提供向心力,所以某时刻内、外侧管壁对小球作用力可能均为零,**D 正确**。

**10. (1) B (2) A C 1:4 角速度的平方 (3) 需要 (4) D**

**必刷题型 ▶ 实验原理分析+数据处理**

【深度解析】(1) 本实验所用的研究方法是控制变量法,与验证牛顿第二定律实验的实验方法相同,故**选 B**。

(2) 若探究向心力和角速度的关系,则要保持质量和半径不变,即要将质量相同的小球分别放在挡板  $A$  和挡板  $C$  上。若将传动皮带套在两半径之比等于  $2:1$  的轮盘上,因两轮盘边缘的线速度相同,则角速度之比为  $1:2$ ,向心力之比为  $1:4$ ,标尺露出黑白相间的等分格数之比约为  $1:4$ 。若仅改变皮带位置,通过对比皮带位置轮盘半径之比和向心力大小之比,可以发现向心力  $F$  与角速度的平方成正比。

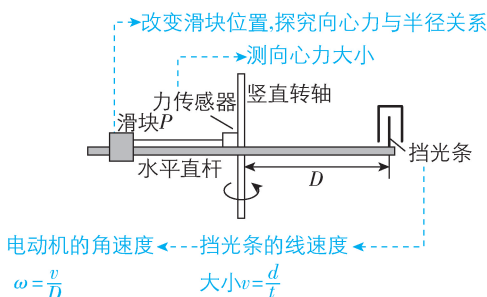
(3) 为了能探究向心力大小的各种影响因素,则要研究角速度一定时向心力与质量或半径的关系,左右两侧塔轮需要设置半径相同的轮盘。

(4) 根据  $F = m \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 r = 4\pi^2 mr \frac{1}{T^2}$ ,可知图线横坐标  $x$  表示的物理量是  $\frac{1}{T^2}$ ,**D 正确**。

**11. (1)  $\frac{d}{Dt_0}$  (2)  $\frac{kD^2}{Ld^2}$  (3)  $r \quad \frac{k}{Lt_1^2}$**

**必刷题型 ▶ 实验原理分析+数据处理**

【题图剖析】



【深度解析】(1) 电动机的角速度  $\omega = \frac{v}{D}$ ,挡光条的线速度大

小  $v = \frac{d}{t_0}$ ,联立解得  $\omega = \frac{d}{Dt_0}$ 。

(2) 滑块的向心力  $F = m\omega^2 L = m \left( \frac{d}{D\Delta t} \right)^2 L = mL \left( \frac{d}{D} \right)^2 \left( \frac{1}{\Delta t} \right)^2$ ,

则  $mL \left( \frac{d}{D} \right)^2 = k$ ,因此滑块的质量  $m = \frac{kD^2}{Ld^2}$ 。

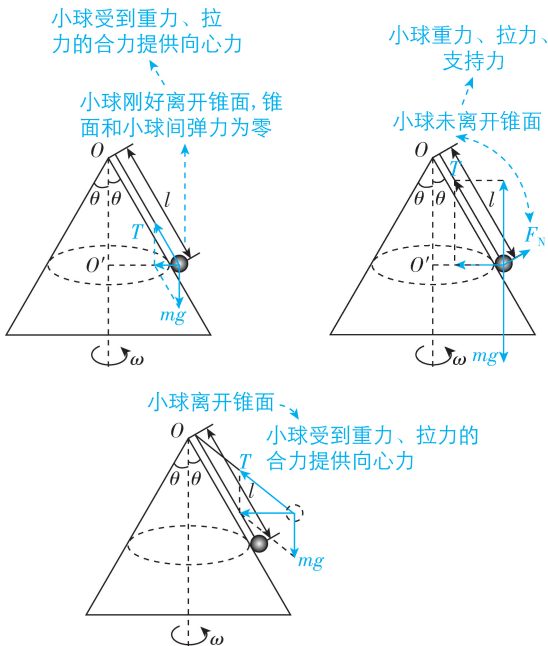
(3) 由  $F = m\omega^2 r$  知,当  $m$ 、 $\omega$  一定时,  $F \propto r$ ,所以以  $r$  为横轴,

画  $F-r$  图像;图线的斜率为  $k' = m\omega^2 = \frac{kD^2}{Ld^2} \left( \frac{d}{Dt_1} \right)^2 = \frac{k}{Lt_1^2}$ 。

**12. (1)  $\sqrt{\frac{g}{L\cos\theta}}$  (2) 见解析**

**必刷题型 ▶ 水平面内的圆周运动+临界模型**

### 【题图剖析】



【深度解析】(1) 若要小球刚好离开锥面, 小球受到的重力和细线拉力如图甲所示。小球做匀速圆周运动的轨迹圆在水平面上, 故向心力方向沿水平方向。由牛顿第二定律及向心力公式得

$$mg \tan \theta = m\omega_0^2 l \sin \theta,$$

$$\text{解得 } \omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l \cos \theta}}.$$

(2) 当  $\omega = 0$  时, 有  $T = mg \cos \theta$ ,

当  $0 < \omega < \omega_0$  时, 小球受到重力、支持力、拉力三个力作用。根据牛顿第二定律,

$$\text{水平方向, 有 } T \sin \theta - F_N \cos \theta = m\omega^2 l \sin \theta,$$

$$\text{竖直方向, 有 } T \cos \theta + F_N \sin \theta = mg,$$

$$\text{联立解得 } T = ml \sin^2 \theta \cdot \omega^2 + mg \cos \theta,$$

可知  $T - \omega^2$  是线性关系,

当  $\omega = \omega_0$ , 小球恰好离开锥面, 则

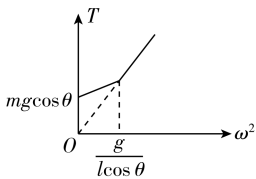
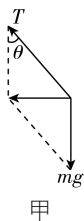
$$T = \frac{mg}{\cos \theta},$$

当  $\omega > \omega_0$  时, 小球离开锥面, 设细线与竖直方向的夹角为  $\alpha$ , 则

$$T \sin \alpha = m\omega^2 \cdot l \sin \alpha,$$

$$\text{得 } T = ml \cdot \omega^2,$$

即  $T - \omega^2$  也是线性关系; 因此作出  $T - \omega^2$  图像如图乙所示。



### 13. (1) 2 rad/s (2) 2.5 m

#### 必刷知识 ▶ 圆周运动的应用+临界问题

【深度解析】(1) 设小物体的质量为  $m$ , 当静摩擦力最大时, 小物体即将离开圆盘, 此时圆盘的角速度达到最大, 则有

$$F_{\text{fm}} = \mu_1 F_N = m\omega^2 r, F_N = mg,$$

两式联立可得  $\omega = 2 \text{ rad/s}$ 。

(2) 设小物体在餐桌上滑动的位移大小为  $x$ , 小物体在餐桌

上做匀减速运动的加速度大小为  $a$ , 则

$$a = \frac{F_f}{m}, F_f = \mu_2 mg,$$

小物体在餐桌上滑动的初速度为  $v_0 = \omega r$ ,

由运动学公式有  $0 - v_0^2 = -2ax$ ,

可得  $x = 2 \text{ m}$ ,

由几何关系可得餐桌半径  $R$  的最小值为

$$R_{\min} = \sqrt{r^2 + x^2} = 2.5 \text{ m}.$$



## 单元综合提升卷

### 1. B 必刷知识 ▶ 曲线运动的特点

【深度解析】物体做匀变速曲线运动, 加速度恒定, 故物体在各点的加速度相同, **A、C 错误**; 物体运动到  $B$  点时速度方向与加速度方向恰好互相垂直, 结合运动轨迹知, 物体从  $A$  点运动到  $B$  点的过程中, 加速度方向和速度方向的夹角大于  $90^\circ$ , 且夹角在不断减小, 物体做减速曲线运动, 物体从  $B$  点运动到  $C$  点的过程中, 加速度方向和速度方向的夹角小于  $90^\circ$ , 且夹角在不断减小, 物体做加速曲线运动, 因此物体从  $A$  点运动到  $C$  点的过程中, 加速度方向和速度方向的夹角一直在减小, 物体在  $B$  点的速率最小, **B 正确, D 错误**。

#### 知识拓展

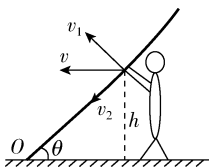
曲线运动中, 若合力方向与速度方向为锐角, 则加速, 若合力方向与速度方向为钝角, 则减速。

### 2. C 必刷知识 ▶ 合运动性质的判断

【深度解析】由题意可知, 蜡块在竖直方向上做匀速直线运动, 在水平方向上向右做匀加速直线运动, 加速度方向水平向右, 蜡块做匀变速曲线运动, **A 错误**; 速度的变化量  $\Delta v = a\Delta t$ , 由于蜡块做匀变速运动, 加速度一定, 则蜡块任意  $1 \text{ s}$  内速度的变化量的大小与方向均一定, **B 错误, C 正确**; 由于速率是瞬时速度的大小, 蜡块做匀变速曲线运动时, 任意  $1 \text{ s}$  内 速率的变化量 (易错点: 曲线运动中, 速率的变化量不等于速度的变化量) 不相等, **D 错误**。

### 3. B 必刷知识 ▶ 运动的合成与分解+线速度与角速度的关系+关联速度

【深度解析】设人的速度大小为  $v$ , 将速度  $v$  分解为垂直于树苗的速度  $v_1$  与沿树苗方向的速度  $v_2$ , 如图所示, 设手与树苗接触点的高度为  $h$ , 当树苗的倾



角为  $\theta$  时, 手与树苗接触点到  $O$  点的距离为  $r = \frac{h}{\sin \theta}$ , 此时树苗与手接触点的线速度大小  $v_1 = v \sin \theta$ , 树苗绕  $O$  点转动的角

速度大小为  $\omega = \frac{v_1}{r} = \frac{v \sin^2 \theta}{h}$ , 该过程中  $\theta$  变大, 则  $v_1$ 、 $\omega$  均变

大, **B** 正确, **A**、**C**、**D** 错误。

#### 4. C 必刷知识 ▶ 斜抛运动

【深度解析】设腾空时间为  $t$ , 滑板爱好者先后两次从坡道  $A$  点滑出后做斜抛运动, 水平方向上, 有  $x = v_x t$ , 由于第二次的腾空时间比第一次长, 则有  $v_{x2} < v_{x1}$ , 即滑板爱好者第二次在最高点的速度比第一次在最高点的速度小, **D** 错误; 在竖直方向上, 有  $v_y = g \cdot \frac{t}{2}$ , 由于第二次的腾空时间比第一次长, 可知滑板爱好者第二次滑出时竖直方向速度一定大, **C** 正确; 腾空的最大高度  $h = \frac{1}{2}g \cdot \left(\frac{t}{2}\right)^2 = \frac{1}{8}gt^2$ , 由于第二次的腾空时间比第一次长, 则第二次腾空的最大高度比第一次腾空的最大高度高, **B** 错误; 根据  $\tan \theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{gt}{2v_x}$ , 由于第二次的腾空时间比第一次长, 则第二次滑出时速度与水平方向夹角大于第一次滑出时速度与水平方向夹角, **A** 错误。

#### 知识拓展

斜抛运动在最高点的速度沿水平方向, 分析斜抛运动时, 一般用逆向思维法, 将其看作反方向的平抛运动分析。

#### 5. C 必刷模型 ▶ 水平面上的圆周运动+临界问题

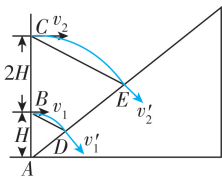
【深度解析】当茶杯恰好不滑动时动摩擦因数  $\mu$  最小, 根据牛顿第二定律得  $\mu mg = m \frac{4\pi^2}{T^2}r$ , 解得  $\mu = \frac{4\pi^2 r}{gT^2}$ , 动摩擦因数  $\mu$  的最小值为  $\frac{4\pi^2 r}{gT^2}$ , **A** 错误; 根据  $\mu mg = m \frac{4\pi^2}{T^2}r$  知, 若减少茶杯中的水量, 以相同的周期匀速转动转盘, 茶杯不能发生相对滑动, **B** 错误; 根据  $F_f = m \frac{4\pi^2}{T^2}r$  知, 若减小转盘的转动周期  $T$ , 茶杯所受的静摩擦力增大, 当达到最大静摩擦力时, 茶杯与转盘发生相对滑动, **C** 正确; 若转盘减速转动, 茶杯与转盘仍保持相对静止, 茶杯受到的摩擦力的方向不指向转轴, 摩擦力沿着半径方向的分力改变线速度的方向, 摩擦力沿着切线方向的分力改变线速度的大小, **D** 错误。

#### 技巧必背

物体在水平面内做圆周运动时, 静摩擦力提供向心力, 物体刚好不滑动时所受摩擦力为最大静摩擦力。

#### 6. C 必刷知识 ▶ 平抛运动规律

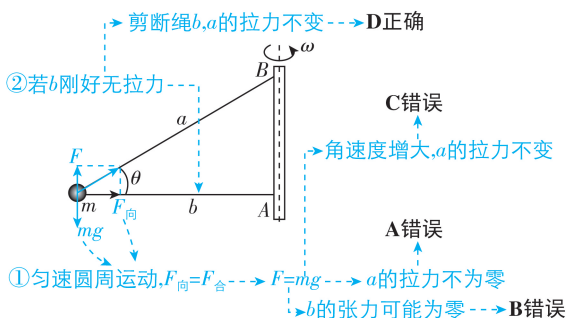
【深度解析】如图所示, 两次平抛运动的末速度  $v'_1$  和  $v'_2$  方向相同, 根据平抛运动推理可得, 两次平抛运动位移方向也相同, 即有  $\triangle ABD \sim \triangle ACE$ , 设先后两次平抛运动的水平方向上的位移分别为  $x_1$ 、 $x_2$ , 竖直方向上的位移分别为  $y_1$ 、 $y_2$ , 可得  $\frac{x_1}{x_2} = \frac{1}{3}$ ,  $\frac{y_1}{y_2} = \frac{1}{3}$ , 小球做平



抛运动,有 $x=vt$ , $y=\frac{1}{2}gt^2$ ,则初速度 $v=\frac{x}{\sqrt{\frac{2y}{g}}}$ ,所以 $v_1:v_2=1:$

$\sqrt{3}$ ,故选 C。

## 7. D 必刷模型 ▶ 水平面上圆周运动+临界问题



## 8. B 必刷知识 ▶ 平抛运动+圆周运动

【深度解析】飞镖以水平速度 $v_0$ 掷出,恰好击中P点,则 $s=$

$v_0 t$ ,  $2R=\frac{1}{2}gt^2$ ,  $\omega t=(2n+1)\pi$  ( $n=0,1,2,\dots$ ), 仅增大 $v_0$ , 则飞

镖到P点(关键点:圆周运动具有周期性,P点运动到最低点的时间为 $nT+\frac{T}{2}$ )的时间变短,所以下落的高度 $h=$

$\frac{1}{2}gt^2 < 2R$ , 飞镖不可能击中P点, A 错误; 仅减小 $v_0$ , 则飞镖到

镖盘所在竖直平面时, 时间变长, 所以下落的高度 $h=\frac{1}{2}gt^2 >$

$2R$ , 飞镖不可能击中镖盘, B 正确; 仅增大 $\omega$ , 则 $n$ 值变大, 关

系式 $\omega t=(2n+1)\pi$ 仍成立, 则飞镖仍可能击中P点, C 错误;

由B项的分析知, 若减小 $v_0$ , 飞镖不可能击中P点, D 错误。

## 9. C 必刷题型 ▶ 水平面内的圆周运动

【深度解析】赛车在弯道上做匀速圆周运动, 需使赛车不打滑, 绕赛道一圈的时间最短, 则在弯道上都由径向最大静摩

擦力提供向心力, 速度最大, 由向心力公式分析可知, 赛车在

绕过小圆弧弯道后加速, A 错误; 设赛车经过大圆弧弯道的

速率为 $v$ , 经过大圆弧弯道时由径向最大静摩擦力提供向心

力, 有 $2.25mg=m\frac{v^2}{R}$ , 代入数据解得 $v=45$  m/s, B 错误; 设赛

车经过小圆弧弯道的速率为 $v_0$ , 经过小圆弧弯道时由径向最

大静摩擦力提供向心力, 有 $2.25mg=m\frac{v_0^2}{r}$ , 代入数据解得

$v_0=30$  m/s, 由几何关系可得直道的长度为 $x=$

$\sqrt{100^2-(90-40)^2}$  m $=50\sqrt{3}$  m, 再由 $v^2-v_0^2=2ax$ , 代入数据

解得 $a\approx 6.5$  m/s<sup>2</sup>, C 正确; 由几何关系可得小圆弧弯道对应

的圆心角为 $120^\circ$ , 赛车通过小圆弧弯道的时间为 $t=\frac{120^\circ}{360^\circ}\times$

$\frac{2\pi r}{v_0}\approx 2.79$  s, D 错误。

### 关键点拨

过大、小圆弧弯道时是由径向最大静摩擦力提供赛车做圆周运动的向心力,当赛车在大、小圆弧弯道之间通过直赛道转换时,前一阶段的末速度是后一阶段的初速度。

### 10. B 必刷模型 ▶ 连接体+水平面上的圆周运动

【深度解析】当物块  $B$  所需的向心力小于等于所受最大静摩擦力时,细线上张力为零,设  $B$  所受的最大摩擦力恰好等于向心力时圆盘的角速度为  $\omega_1$ , 则  $\mu mg = m\omega_1^2 r_2$ , 解得  $\omega_1 = \sqrt{\frac{\mu g}{r_2}} = \sqrt{\frac{40}{3}} \text{ rad/s} = 2\sqrt{\frac{10}{3}} \text{ rad/s}$ , **A 错误**; 当  $A$ 、 $B$  所受静摩擦力均达到最大静摩擦力时刚好与盘面间不发生相对滑动,设此时圆盘的角速度为  $\omega_2$ , 细线的拉力大小为  $T$ , 则分别对  $A$  和  $B$ , 有  $\mu mg - T = m\omega_2^2 r_1$ ,  $\mu mg + T = m\omega_2^2 r_2$ , 代入数据解得  $\omega_2 = \sqrt{\frac{2\mu g}{r_1 + r_2}} = 4 \text{ rad/s}$ ,  $T = 4 \text{ N}$ , **B 正确, C 错误**; 烧断细线时,  $A$ 、 $B$  做圆周运动所需向心力分别为  $F_A = m\omega_2^2 r_1 = 16 \text{ N}$ ,  $F_B = m\omega_2^2 r_2 = 24 \text{ N}$ , 物块  $A$ 、 $B$  的最大静摩擦力为  $f_A = f_B = \mu mg = 20 \text{ N}$ , 由于  $f_A > F_A$ , 可知物块  $A$  随圆盘一起转动, 由  $f_B < F_B$ , 可知物块  $B$  将做离心运动, **D 错误**。

### 知识拓展

物体随水平圆盘转动时, 静摩擦力提供向心力, 物体刚好不发生滑动时静摩擦力等于最大静摩擦力。对不同物体, 转盘角速度增大, 运动半径大的物体先发生滑动。

### 11. (1) BC (2) 2.0

#### 必刷模型 ▶ 平抛运动问题

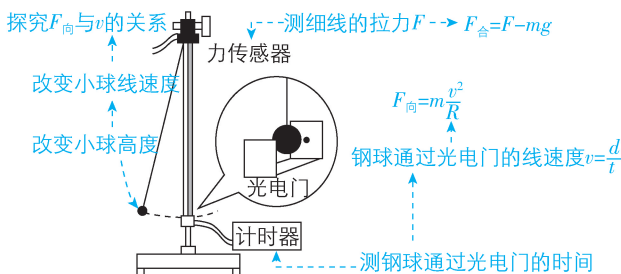
【深度解析】(1) 小球竖直方向做自由落体运动, 有  $h = \frac{1}{2}gt^2$ , 解得  $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ , 飞行时间  $t$  与初速度  $v_0$  大小无关, 小球水平方向做匀速运动, 有  $d = v_0 t$ , 所以落地点与槽口的水平距离  $d$  与初速度  $v_0$  成正比, **B、C 正确**。

(2)  $y_1 = 4.90 \text{ cm} = 0.049 \text{ m}$ ,  $y_2 = 44.10 \text{ cm} = 0.441 \text{ m}$ ,  $\Delta x = 40.00 \text{ cm} = 0.40 \text{ m}$ , 根据  $y_1 = \frac{1}{2}gt_1^2$  得  $t_1 = \sqrt{\frac{2y_1}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 0.049}{9.8}} \text{ s} = 0.1 \text{ s}$ , 根据  $y_2 = \frac{1}{2}gt_2^2$  得  $t_2 = \sqrt{\frac{2y_2}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 0.441}{9.8}} \text{ s} = 0.3 \text{ s}$ , 则小球做平抛运动的初速度大小为  $v_0 = \frac{\Delta x}{t_2 - t_1} = \frac{0.40}{0.2} \text{ m/s} = 2.0 \text{ m/s}$ 。

### 12. (1) 1.050 (3) $\frac{d}{t} \cdot \frac{F_1 d^2}{gt^2 \left( L + \frac{d}{2} \right)} F_2 - F_1$ (4) 线速度

## 必刷题型 ▶ 实验原理分析

### 【题图剖析】



【深度解析】(1) 题图乙中钢球的直径  $d = 10 \text{ mm} + 10 \times 0.05 \text{ mm} = 10.50 \text{ mm} = 1.050 \text{ cm}$ 。

(3) 钢球的直径为  $d$ , 遮光时间为  $t$ , 所以通过光电门的速度

$$v = \frac{d}{t}; \text{钢球做圆周运动的半径为 } R = L + \frac{d}{2}, \text{ 钢球质量 } m = \frac{F_1}{g},$$

$$\text{向心力表达式 } F_{\text{向}} = m \frac{v^2}{R} = \frac{F_1 d^2}{g t^2 \left( L + \frac{d}{2} \right)}; \text{ 钢球经过光电门时只}$$

受重力和细线的拉力, 所受合力为  $F_{\text{合}} = F_2 - mg = F_2 - F_1$ 。

(4) 改变钢球释放高度, 球每次经过光电门位置的线速度不同, 从而可以通过控制变量法探究钢球做圆周运动向心力与线速度的关系。

### 13. (1) $6mg$ (2) 在最低点松手落地水平距离大

#### 必刷知识 ▶ 平抛运动+竖直平面内圆周运动

【深度解析】(1) 设小球在最低点时绳承受的拉力为  $F$ , 根据向心力公式和牛顿第二定律得

$$F - mg = m \frac{v_1^2}{d},$$

根据平抛运动规律, 水平方向上, 有  $5d = v_1 t$ ,

$$\text{竖直方向上, 有 } 3.5d - d = \frac{1}{2} g t^2,$$

解得  $F = 6mg$ 。

(2) 球运动到最高点只受重力, 根据向心力公式和牛顿第二

$$\text{定律得 } mg = m \frac{v_2^2}{d},$$

根据平抛运动规律, 水平方向上, 有  $x = v_2 t_2$ ,

$$\text{竖直方向上, 有 } 3.5d + d = \frac{1}{2} g t_2^2,$$

解得  $x = 3d$ ,

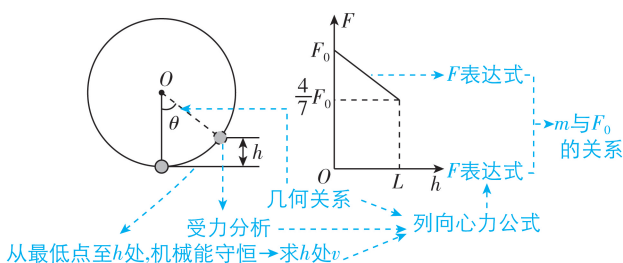
由于  $x < 5d$ ,

则使球运动到最低点松手时球抛出的水平距离大。

14. (1)  $\frac{2}{7}F_0$  (2)  $\sqrt{6gL}$   $2\sqrt{gL}$

**必刷模型** ▶ 竖直平面内的圆周运动+机械能守恒定律+图像问题

**【题图剖析】**



**【深度解析】**(1) 设小球在最低点的速度为  $v_0$ , 当小球上升高度  $h$  时, 轻绳与竖直方向的夹角为  $\theta$ ,

由几何关系知  $\cos \theta = \frac{L-h}{L}$ ,

根据机械能守恒定律得  $\frac{1}{2}mv_0^2 = mgh + \frac{1}{2}mv^2$ ,

由向心力公式得  $F - mg\cos \theta = m \frac{v^2}{L}$ ,

联立解得  $F = m \frac{v_0^2}{L} + mg - \frac{3mg}{L}h$ ,

由题图乙知, 直线方程为  $F = F_0 - \frac{3F_0}{7L}h$ ,

斜率  $k = -\frac{3F_0}{7L} = -\frac{3mg}{L}$ ,

解得  $m = \frac{F_0}{7g}$ ,

当  $h = 2L$  时, 轻绳拉力  $F_1 = \frac{F_0}{7}$ ,

故小球在最高点时所受向心力大小为

$$F_n = F_1 + mg = \frac{1}{7}F_0 + mg = \frac{2}{7}F_0。$$

(2) 小球在最低点, 根据向心力公式得

$$F_0 - mg = m \frac{v_0^2}{L},$$

解得  $v_0 = \sqrt{6gL}$ ,

小球在  $h = L$  高度时, 有  $\frac{4F_0}{7} = m \frac{v_1^2}{L}$ ,

解得  $v_1 = 2\sqrt{gL}$ 。

15. (1) 8 m (2) 612 N (3) 2 s



必刷模型 ▶ 平抛运动+圆周运动

【深度解析】(1) 前 2 s 内悬挂器和甲一起做  $a = 2 \text{ m/s}^2$  的匀加速运动, 匀加速运动的位移大小为

$$x_1 = \frac{1}{2}at_1^2 = \frac{1}{2} \times 2 \times 2^2 \text{ m} = 4 \text{ m},$$

2 s 末的速度大小为  $v_1 = at_1 = 4 \text{ m/s}$ ,

2~3 s 内悬挂器和甲的加速度大小为  $a_1 = \frac{\mu(M+m_{\text{甲}})g}{M+m_{\text{甲}}} = \mu g =$

$2 \text{ m/s}^2$ , 方向水平向左,

则 2~3 s 内它们一起做匀减速直线运动, 位移大小为  $x_2 =$

$$v_1 t_2 - \frac{1}{2}a_1 t_2^2 = 3 \text{ m},$$

3 s 末它们的速度大小为  $v_2 = v_1 - a_1 t_2 = 2 \text{ m/s}$ ,

3 s 之后悬挂器继续做匀减速运动, 加速度大小为  $a_2 =$

$$\frac{\mu M g}{M} = \mu g = 2 \text{ m/s}^2, \text{ 方向水平向左,}$$

经  $t_3 = \frac{v_2}{a_2} = 1 \text{ s}$  停在 D 点,

故 3 s 之后悬挂器的位移大小为  $x_3 = v_2 t_3 - \frac{1}{2}a_2 t_3^2 = 1 \text{ m}$ ,

故 AD 的距离为  $x_{AD} = x_1 + x_2 + x_3 = 8 \text{ m}$ 。

(2) 对选手乙受力分析, 选手乙受重力和拉力, 水平方向合力大小为  $F_{\text{合}} = m_{\text{乙}} a = 60 \times 2 \text{ N} = 120 \text{ N}$ ,

根据平行四边形定则得, 加速阶段悬挂器对他的拉力大小

$$\text{为 } F = \sqrt{(m_{\text{乙}} g)^2 + F_{\text{合}}^2} = \sqrt{600^2 + 120^2} \text{ N} \approx 612 \text{ N}。$$

(3) 选手乙做平抛运动的时间为  $t = \sqrt{\frac{2H}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 5}{10}} \text{ s} = 1 \text{ s}$ ,

设在 C 点选手乙的速度为  $v_c$ , 则选手乙做平抛运动的水平位移大小为  $x = v_c t$ ,

选手乙抓住悬挂器做匀加速直线运动的位移大小为  $x' =$

$$\frac{v_c^2}{2a}, x + x' = L, \text{ 解得 } v_c = 4 \text{ m/s},$$

则选手乙从平台出发到释放悬挂器的时间为

$$t' = \frac{v_c}{a} = \frac{4}{2} \text{ s} = 2 \text{ s}。$$