

等量关系二:星体的质量等于密度与体积的乘积,有 $M_{\text{地}} = \rho_{\text{地}} \cdot$

$$\frac{4}{3}\pi(kR_1)^3, M_{\text{太}} = \rho_{\text{太}} \cdot \frac{4}{3}\pi R_2^3, \text{两式联立有} \frac{M_{\text{地}}}{M_{\text{太}}} = \frac{\rho_{\text{地}}}{\rho_{\text{太}}} \cdot k^3 \cdot \frac{R_1^3}{R_2^3}.$$

等量关系三:由角直径相等,结合相似三角形可得 $\frac{R_1}{r_1} = \frac{R_2}{r_2}$.

联立上述等量关系式,解得 $\frac{\rho_{\text{地}}}{\rho_{\text{太}}} = \frac{1}{k^3} \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^2$, **D 正确**.

刷原创

- 1. C** 【解析】将该球视为一个密度为 ρ_0 、质量为 M 的小球叠加一个密度为 ρ_0 、质量为 $\frac{M}{2}$ 的右半球,设质量为 $\frac{M}{2}$ 的右半球对 B 处的质点引力大小为 F_0 ,则有 $F = G \frac{Mm}{r^2} + F_0$. 将该球视

为一个密度为 $2\rho_0$ 、质量为 $2M$ 的小球去掉一个密度为 ρ_0 、质量为 $\frac{M}{2}$ 的左半球,根据对称性可知该左半球对 A 处的质点引

力大小也为 F_0 ,整个球对 A 处的质点引力大小为 $F_1 = G \frac{2Mm}{r^2} - F_0 = G \frac{2Mm}{r^2} - \left(F - G \frac{Mm}{r^2} \right) = G \frac{3Mm}{r^2} - F$, 其中 $M = \rho_0 \frac{4\pi R^3}{3}$, 解得 $F_1 = \frac{4\pi GR^3 \rho_0 m}{r^2} - F$, 故 **C 正确**.

- 2. BD** 【解析】为使探测器成为沿地球轨道运行的人造行星,在地球表面的发射速度应大于等于第二宇宙速度, **A 错误**;

根据开普勒第三定律得 $\frac{T_{\text{火}}^2}{R_{\text{火}}^3} = \frac{T_{\text{地}}^2}{R_{\text{地}}^3}$, 解得 $T_{\text{火}} \approx 671$ 天, **B 正确**; 椭圆轨道的半长轴 $a = \frac{R_0 + 1.5R_0}{2} = 1.25R_0$, 根据开普勒第三定律得 $\frac{T_{\text{椭}}^2}{a^3} = \frac{T_{\text{地}}^2}{R_0^3}$, 探测器沿椭圆轨道从地球轨道转移到火星轨道所用的时间约为 $t = \frac{T_{\text{椭}}}{2} \approx 255$ 天, **C 错误**; 从探测器点火到追上火星的过程中,火星转过的圆心角为 $\alpha = \frac{t}{T_{\text{火}}} \times 360^\circ \approx 137^\circ$, 则 $\theta = 180^\circ - 137^\circ = 43^\circ$, **D 正确**.

圆轨道的半长轴 $a = \frac{R_0 + 1.5R_0}{2} = 1.25R_0$, 根据开普勒第三定律得 $\frac{T_{\text{椭}}^2}{a^3} = \frac{T_{\text{地}}^2}{R_0^3}$, 探测器沿椭圆轨道从地球轨道转移到火星轨道所用的时间约为 $t = \frac{T_{\text{椭}}}{2} \approx 255$ 天, **C 错误**; 从探测器点火到追上火星的过程中,火星转过的圆心角为 $\alpha = \frac{t}{T_{\text{火}}} \times 360^\circ \approx 137^\circ$, 则 $\theta = 180^\circ - 137^\circ = 43^\circ$, **D 正确**.

圆轨道的半长轴 $a = \frac{R_0 + 1.5R_0}{2} = 1.25R_0$, 根据开普勒第三定律得 $\frac{T_{\text{椭}}^2}{a^3} = \frac{T_{\text{地}}^2}{R_0^3}$, 探测器沿椭圆轨道从地球轨道转移到火星轨道所用的时间约为 $t = \frac{T_{\text{椭}}}{2} \approx 255$ 天, **C 错误**; 从探测器点火到追上火星的过程中,火星转过的圆心角为 $\alpha = \frac{t}{T_{\text{火}}} \times 360^\circ \approx 137^\circ$, 则 $\theta = 180^\circ - 137^\circ = 43^\circ$, **D 正确**.

圆轨道的半长轴 $a = \frac{R_0 + 1.5R_0}{2} = 1.25R_0$, 根据开普勒第三定律得 $\frac{T_{\text{椭}}^2}{a^3} = \frac{T_{\text{地}}^2}{R_0^3}$, 探测器沿椭圆轨道从地球轨道转移到火星轨道所用的时间约为 $t = \frac{T_{\text{椭}}}{2} \approx 255$ 天, **C 错误**; 从探测器点火到追上火星的过程中,火星转过的圆心角为 $\alpha = \frac{t}{T_{\text{火}}} \times 360^\circ \approx 137^\circ$, 则 $\theta = 180^\circ - 137^\circ = 43^\circ$, **D 正确**.

圆轨道的半长轴 $a = \frac{R_0 + 1.5R_0}{2} = 1.25R_0$, 根据开普勒第三定律得 $\frac{T_{\text{椭}}^2}{a^3} = \frac{T_{\text{地}}^2}{R_0^3}$, 探测器沿椭圆轨道从地球轨道转移到火星轨道所用的时间约为 $t = \frac{T_{\text{椭}}}{2} \approx 255$ 天, **C 错误**; 从探测器点火到追上火星的过程中,火星转过的圆心角为 $\alpha = \frac{t}{T_{\text{火}}} \times 360^\circ \approx 137^\circ$, 则 $\theta = 180^\circ - 137^\circ = 43^\circ$, **D 正确**.

圆轨道的半长轴 $a = \frac{R_0 + 1.5R_0}{2} = 1.25R_0$, 根据开普勒第三定律得 $\frac{T_{\text{椭}}^2}{a^3} = \frac{T_{\text{地}}^2}{R_0^3}$, 探测器沿椭圆轨道从地球轨道转移到火星轨道所用的时间约为 $t = \frac{T_{\text{椭}}}{2} \approx 255$ 天, **C 错误**; 从探测器点火到追上火星的过程中,火星转过的圆心角为 $\alpha = \frac{t}{T_{\text{火}}} \times 360^\circ \approx 137^\circ$, 则 $\theta = 180^\circ - 137^\circ = 43^\circ$, **D 正确**.

第5章 科学进步无止境

第1~3节 初识相对论/相对论中的神奇时空/探索宇宙的奥秘

刷基础

- 1. B** 【解析】根据光速不变原理,在一切惯性参考系中测量到真空中的光速 c 都一样,而卢克所处的参考系为惯性参考系,因此卢克观测到的光速为 $1.0c$. 故 **B 正确**.

- 2. C** 【解析】火车中的人认为,车厢是个惯性系,光向前向后传播的速度相等,光源在车厢中央,闪光同时到达前后两壁,则在火车上的人看来,小猫和小鸡同时出生,故 **A、B 错误**;地面上的人认为,地面是一个惯性系,光向前向后传播的速度相等,向前传播的路程长些,到达前壁的时刻晚些,故在地面上的人看来,小猫先出生,故 **C 正确, D 错误**.

- 3. D** 【解析】根据狭义相对论,在运动方向上长度变短,故隧道长度变短,在垂直运动方向上长度不变,故隧道口为圆形, **D 正确**.

方法总结 长度收缩效应的规律及判定

(1) 物体静止长度 l_0 和运动长度 l 之间的关系为 $l = l_0$

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}.$$

(2) 相对于地面以速度 v 运动的物体,从地面上看:

- ① 沿着运动方向上的长度变短了,速度越大,变短得越多;
- ② 在垂直于运动方向上长度不变.

- 4. C** 【解析】甲时钟放在地面上,在地面上的人看来,甲时钟没有变化;乙、丙两时钟放在两个火箭上,根据爱因斯坦相对论可知,乙、丙时钟变慢,由于 $v_{\text{乙}} < v_{\text{丙}}$,丙时钟比乙时钟走得更慢,所以甲时钟走得最快,丙时钟走得最慢, **C 正确**.

- 5. A** 【解析】根据狭义相对论可知,飞船相对该考生以 $0.3c$ 的速度匀速飞过时,飞船上的观察者认为该考生考完这场考试所用的时间 $t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} > t_0$, 可知飞船上的观察者认为该考生考完这场考试所用的时间大于 100 分钟,选项 **A 正确**.

考生考完这场考试所用的时间大于 100 分钟,选项 **A 正确**.

- 6. A** 【解析】牛顿力学适用于宏观低速运动的物体,对微观高速运动的粒子不再适用,所以原子核外电子的运动,经典的牛顿力学不再适用;超音速飞行的歼-20 战斗机在空中的运动、月球绕地球的运动、小明在投篮时篮球在空中的运动,都属于宏观低速运动的物体的运动,牛顿力学适用. 故选 **A**.

则角速度较小,故 **B 错误**;向心加速度为 $a_n = \frac{v^2}{l}$, 因抓 A 点时半径 l 较大,则向心加速度较小,故 **C 正确**;设荡起的最大高度为 h ,由动能定理可知 $-mgh = 0 - \frac{1}{2}mv^2$, 可得 $h = \frac{v^2}{2g}$, 则无论抓住 A 点还是 B 点,最终能荡起的最大高度相同,故 **D 错误**.

模块素养检测

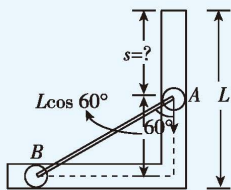
刷速度

- 1. C** 【解析】小明从最低点以大小相等的速度 v 做圆周运动,由牛顿第二定律可知 $T = mg + m \frac{v^2}{l}$, 抓住 A 点时的半径 l 较大,则 T 较小,由牛顿第三定律可知,抓住 A 点时对绳子的拉力较小,故 **A 错误**;角速度为 $\omega = \frac{v}{l}$, 因抓 A 点时半径 l 较大,

则角速度较小,故 **B 错误**;向心加速度为 $a_n = \frac{v^2}{l}$, 因抓 A 点时半径 l 较大,则向心加速度较小,故 **C 正确**;设荡起的最大高度为 h ,由动能定理可知 $-mgh = 0 - \frac{1}{2}mv^2$, 可得 $h = \frac{v^2}{2g}$, 则无论抓住 A 点还是 B 点,最终能荡起的最大高度相同,故 **D 错误**.

2. A

思路导引 求解滑轮 A 到达题图乙的位置时的速度, 需要根据滑轮 A 的运动过程求出滑轮 A 运动的位移, 如图所示.



【解析】 拉住把手使滑轮 A 从初始位置由静止开始做加速度为 1 m/s^2 的匀加速运动, 当滑轮 A 到达题图乙位置时, 对滑轮 A, 由运动学公式有 $2a(L - L \cos 60^\circ) = v_A^2$, 解得此时滑轮 A 的速度大小为 $v_A = 1 \text{ m/s}$, 滑轮 A 与滑轮 B 沿玻璃门方向的分速度大小相等, 有 $v_A \cos 60^\circ = v_B \cos 30^\circ$, 解得滑轮 B 的速度大小为 $v_B = \frac{\sqrt{3}}{3} \text{ m/s}$, 故选 A.

3. B **【解析】** 祝融号和轨道下落高度为 h 时, 重力做功为 Mgh , 重力势能减少了 Mgh , 故 A 错误; 重力势能减少了 Mgh , 动能增加了 $\frac{1}{2}Mv^2$, 则机械能减少了 $Mgh - \frac{1}{2}Mv^2$, 故 B 正确; 根据功能关系可知, 转运机构做功等于机械能减少量, 为 $Mgh - \frac{1}{2}Mv^2$, 故 C 错误; 根据动能定理知, 合外力做功等于动能的变化量, 为 $\frac{1}{2}Mv^2$, 故 D 错误.

4. B **【解析】** 根据几何关系可知, 该行星的最大视角的余弦值为 $\cos \theta = \frac{\sqrt{R^2 - r^2}}{R}$, 故 A 错误; 由开普勒第三定律可得 $\frac{R^3}{T^2} =$

关键点: 当地球与该行星连线和该行星运动轨道相切时视角最大

$\frac{r^3}{T'^2}$, 解得 $T' = T \sqrt{\frac{r^3}{R^3}}$, 故 B 正确; 根据万有引力提供向心力有 $\frac{GMm}{r^2} = ma$, 可知该行星与地球绕太阳公转的向心加速度之比 $\frac{a_{\text{行}}}{a_{\text{地}}} = \frac{R^2}{r^2}$, 故 C 错误; 当该行星处于紧接着的下一次最佳观察期时, 地球在该行星之前, 设地球的角速度为 ω_1 , 行星的角速度为 ω_2 , 经历时间为 t , 有 $\omega_2 t - \omega_1 t = 2\pi - 2\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) = \pi + 2\theta$, 解得 $t = T \frac{(\pi + 2\theta)\sqrt{r^3}}{2\pi(\sqrt{R^3} - \sqrt{r^3})}$, 故 D 错误.

5. D **【解析】** 根据能量守恒定律可知, 轻绳对滑块 2 做的功等于滑块 2 增加的机械能与滑块 2 克服摩擦力所做的功之和, 即轻绳对滑块 2 做的功大于滑块 2 增加的机械能, 故 A、C 错误; 根据重力做功与重力势能变化量的关系可知, 重力对滑块 1 做的功等于滑块 1 减少的重力势能, 故 B 错误; 根据功能关系可知, 两滑块与轻绳组成的系统损失的机械能等于滑块 1、2 克服摩擦力所做的功之和, 故 D 正确.

6. D **【解析】** 饺子刚放到传送带上时在传送带上受重力、弹力和摩擦力的作用, 与传送带共速后受重力和弹力作用, 故 **易错点:** 饺子与传送带共速后, 摩擦力突变为零

A 错误; 由牛顿第二定律得饺子加速运动时的加速度 $a = \frac{\mu mg}{m} = \mu g$, 与传送带的速度无关, 故 B 错误; 饺子从放上传送带到与传送带共速所用时间 $t = \frac{v_0}{\mu g}$, 饺子在传送带上留下的痕迹长度为 $\Delta s = v_0 t - \frac{v_0^2}{2} = \frac{v_0^2}{2\mu g}$, 故 C 错误; 饺子在运动过程中, 增加的动能 $\Delta E_k = \frac{1}{2}mv_0^2$, 因摩擦产生的热量 $Q = \mu mg \Delta s = \frac{1}{2}mv_0^2$, 可知 $\Delta E_k = Q$, 故 D 正确.

7. BD **【解析】** 若小球以初速度 v_0 做平抛运动, 则 $s = \frac{1}{2}gt^2$, $s = v_0 t$, 可得 $s = \frac{2v_0^2}{g}$, 在细杆 B 端的切线与水平方向的夹角满足 $\tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{gt}{v_0} = 2$, 设小球沿细杆运动到 B 端时 (未触地) 的速率为 v_B , 根据动能定理得 $mgs = \frac{1}{2}mv_B^2$, 解得到达 B 端时 (未触地) 小球的瞬时速率为 $v_B = \sqrt{2gs} = 2v_0$, 小球运动到 B 端时 (未触地), 在水平方向的速度大小 $v_1 = v_B \cos \theta = \frac{2\sqrt{5}}{5}v_0$, 故 A 错误, B 正确; 由前面分析可知, 细杆 B 端的速度与水平方向的夹角满足 $\tan \theta = 2$, θ 不等于 45° , 故 C 错误; 到达 B 端 (未触地) 瞬间小球重力的功率为 $P_c = mgv_B \sin \theta = \frac{4}{5}\sqrt{5}mgv_0$, 故 D 正确.

8. AD **【解析】** 根据 $G \frac{Mm}{r^2} = ma$, 可知 $a = \frac{GM}{r^2}$, a 、 b 运动的向心加速度之比为 $a_a : a_b = 4 : 1$, A 正确, B 错误; 根据开普勒第三定律, a 、 b 的周期之比 $\frac{T_a}{T_b} = \sqrt{\left(\frac{r_a}{r_b}\right)^3} = \frac{\sqrt{2}}{4}$, 设经时间 t 时三者共线, 则 $\frac{2\pi t}{T_a} - \frac{2\pi t}{T_b} = \frac{\pi}{2}(2n+1)$ ($n=0, 1, 2, 3, \dots$), 当 $t = T_b$ 时可得 $n = 3.16$, 可知从题图所示位置开始, 在 b 转动一周的过程中, a 、 b 、 c 共线 4 次, 故 C 错误, D 正确.

9. AD **【解析】** 设月球绕地球做圆周运动的轨道半径为 $r_{\text{月}}$, 万有引力提供向心力, 有 $G \frac{m_{\text{地}} m_{\text{月}}}{r_{\text{月}}^2} = m_{\text{月}} \frac{4\pi^2}{T_{\text{月}}^2} r_{\text{月}}$, 对地球表面的物体, 有 $G \frac{m_{\text{地}} m}{R_{\text{地}}^2} = mg$, 联立解得 $r_{\text{月}} = \sqrt[3]{\frac{gR_{\text{地}}^2 T_{\text{月}}^2}{4\pi^2}}$, A 正确; 设空间站绕地球运动的周期为 T_0 , 根据万有引力提供向心力有 $G \frac{m_{\text{地}} m_{\text{空}}}{r^2} = m_{\text{空}} \frac{4\pi^2}{T_0^2} r$, 解得地球的质量为 $m_{\text{地}} = \frac{4\pi^2 r^3}{GT_0^2}$, 由空间站“凌月”现象可知, 空间站绕地球运动的角速度大于月球绕地球运动的角速度, 根据 $T = \frac{2\pi}{\omega}$ 可知, 空间站绕地球运动的周期小于月球绕地球运动的周期, 即空间站绕地球运动周期小于

突破点: 也可通过“高轨低速大周期”找二者的周期关系

T, B、C 错误; 对空间站, 有 $G \frac{m_{\text{地}} m_{\text{空}}}{r^2} = m_{\text{空}} \frac{4\pi^2}{T_0^2} r$, 又 $Gm_{\text{地}} =$

$gR_{\text{地}}$, 解得 $T_0 = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{gR_{\text{地}}}}$, 角速度 $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0} = \frac{R_{\text{地}}}{r} \sqrt{\frac{g}{r}}$, 月球的速度为 $\omega = \frac{2\pi}{T}$, 设经过时间 t 再次出现空间站“凌月”现象,

则 $\omega_0 t - \omega t = 2\pi$, 解得 $t = \frac{2\pi T_0 r}{R_{\text{地}} T \sqrt{g} - 2\pi r \sqrt{r}}$, **D 正确**.

10. CD 【解析】由经过 A、B 两点时弹簧对滑块的弹力大小相等可知, 滑块在 A 点弹簧处于压缩状态, 滑块在 B 点弹簧处于伸长状态, 滑块在 B 点所受合力竖直向下, 则滑块在靠近 B 点过程中必有所受合力方向竖直向下的阶段, 该阶段滑块的速度减小, 故 **A 错误**; 滑块在 A、B 两点时, 弹簧对滑块的弹力大小相等, 即弹簧的形变量相等, 弹簧的弹性势能相等, 滑块运动到 B 点时, 重物的速度为零, 对系统, 由机械能

→ **关键点: 弹簧弹力对 P 做功为 0**

守恒定律可得 $5mg(L - L\cos 37^\circ) = mgL\sin 37^\circ + \frac{1}{2}mv_B^2$, 解得

$v_B = \sqrt{\frac{4}{5}gL}$, 因为滑块在 A、B 两点时弹簧弹性势能相等, 即弹簧对滑块做功为零, 所以轻绳对滑块做的功等于滑块增加的机械能, 则 $W = mgL\sin 37^\circ + \frac{1}{2}mv_B^2 = mgL$, 故 **B 错误, C 正确**; 由 A 选项分析可知, 滑块从 A 点到 B 点过程中弹簧对 P、Q 整体先做正功, 后做负功, 所以 P 与 Q 的机械能之和先增大后减小, 故 **D 正确**.

11. (1) $\omega^2 r$ (2) $m_A > 2m_B$ (3) $\frac{m_A h^2}{2t^2} + \frac{2m_B h^2}{t^2}$ (4) $\frac{(m_A - 2m_B)g}{m_A + 4m_B}$

【解析】(1) 环形空间站处于完全失重状态, 若环形空间站的旋转半径为 r , 角速度为 ω , 则等效重力加速度 $g = \omega^2 r$.

(2) 使 B 上升, 即使 A 下降, 根据滑轮的特征可知, A 的质量 m_A 与 B 的质量 m_B 之间的关系应满足 $m_A > 2m_B$.

(3) 对 A、B 组成的系统, B 上升 h 过程, 根据系统机械能守恒有 $m_A g \cdot \frac{h}{2} - m_B gh = \frac{1}{2}m_A v_A^2 + \frac{1}{2}m_B v_B^2$, 其中 $v_B = 2v_A$, $h = \frac{v_B}{2}t$,

解得 $m_A g \cdot \frac{h}{2} - m_B gh = \frac{m_A h^2}{2t^2} + \frac{2m_B h^2}{t^2}$.

(4) 结合上述可以解得 $h = \frac{(m_A - 2m_B)g}{m_A + 4m_B} t^2$, 可知 $h-t^2$ 图像的

斜率 $k = \frac{(m_A - 2m_B)g}{m_A + 4m_B}$.

12. (1) $\frac{5mg}{L}$ (2) $\sqrt{\frac{5g}{3L}}$ (3) $\frac{19}{30}mgL$

【解析】(1) 系统静止时, 根据平衡条件有 $k(L - L\cos 37^\circ) = mg$, 解得 $k = \frac{5mg}{L}$.

(2) B 球对 V 形槽恰好无压力时, 设此时弹簧的压缩量为 Δx , 对整体分析有 $k\Delta x = 2mg$, 解得 $\Delta x = \frac{2}{5}L$,

根据几何关系有 $\cos \theta' = \frac{L - \Delta x}{L} = \frac{3}{5}$, 解得 $\theta' = 53^\circ$,

对 B 球, 根据牛顿第二定律可得 $mg \tan \theta' = m L \sin \theta' \cdot \omega^2$, 解得 $\omega = \sqrt{\frac{5g}{3L}}$.

(3) 对 A, 由动能定理可得 $W_{\text{杆}} + W_G + W_{\text{弹}} = 0$, 即 $W_{\text{杆}} + mg \cdot$

$\frac{1}{5}L - \frac{mg + 2mg}{2} \cdot \frac{1}{5}L = 0$, 解得 $W_{\text{杆}} = 0.1mgL$,

对 B 球, 由动能定理可得 $W_{\text{外}} + W'_{\text{杆}} = \frac{1}{2}mv^2$, 其中 $W'_{\text{杆}} = -W_{\text{杆}}$,

$v = \omega L \sin 53^\circ$, 联立解得 $W_{\text{外}} = \frac{19}{30}mgL$.

13. (1) $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$ (2) $\sqrt{\frac{GM}{R^3}}$ (3) $(n-1)M$

【解析】(1) 恒星绕星系中心做匀速圆周运动, 对恒星有

$G \frac{Mm}{r^2} = m\omega^2 r$, 解得 $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$.

→ **关键点: 万有引力提供向心力**

(2) 设星系密度为 ρ , 在 $r \leq R$ 区域, 对恒星, 万有引力提供向心力, 有 $G \frac{M_0 m}{r^2} = m\omega^2 r$, 其中 $M_0 = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi r^3$,

又因为整个球体的质量为 $M = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi R^3$,

联立解得 $\omega_0 = \sqrt{\frac{GM}{R^3}}$.

(3) 在 $r > R$ 区域, 万有引力提供向心力, 有 $G \frac{(M+M')m}{r^2} = m\omega^2 r$,

又 $G \frac{Mm}{R^2} = mR\omega_0^2$,

根据题意有 $\omega = k \frac{1}{r}$, $\omega_0 = k \frac{1}{R}$, $r = nR$, 解得 $M' = (n-1)M$.

关键点拨 匀质球体内部距离球心 r 处的质点 (m) 受到的万有引力等于球体内半径为 r 的同心球体 (M') 对它的万有引力, 即 $F = G \frac{M'm}{r^2}$.

14. (1) 4 m/s (2) 41 N (3) 11.5 J

【解析】(1) 小物块恰好从 B 点沿切线方向进入轨道, 由几

何关系有 $v_B = \frac{v_0}{\sin \theta}$,

解得 $v_B = 4 \text{ m/s}$.

(2) 小物块由 B 点运动到 C 点, 由动能定理得

$2mgR \sin \theta = \frac{1}{2}mv_C^2 - \frac{1}{2}mv_B^2$,

在 C 点, 由牛顿第二定律有 $F_N - mg \sin \theta = m \frac{v_C^2}{R}$,

解得 $F_N = 41 \text{ N}$,

根据牛顿第三定律, 小物块经过圆弧轨道上 C 点时对轨道的压力大小 $F'_N = F_N = 41 \text{ N}$.

(3) 小物块由 B 点运动到 D 点, 由机械能守恒定律有

$\frac{1}{2}mv_B^2 + mgR(1 + \sin \theta) = \frac{1}{2}mv_D^2$,

小物块从 D 点运动到 E 点, 由能量守恒定律有

$\frac{1}{2}mv_D^2 = W_f + E_{\text{pm}}$,

小物块从 E 点运动到 D 点, 由能量守恒定律有 $E_{\text{pm}} = W_f$,

解得 $E_{\text{pm}} = 11.5 \text{ J}$.

题型专练 1 新定义 新情境专练

刷素养

1. D 【解析】物体在其轨迹最高点 Q 处只有水平速度,其水平速度大小为 $v_0 \cos \alpha$,在最高点 Q 处,把物体的运动看成圆周运动的一部分,即物体的重力提供向心力,由牛顿第二定律得 $mg = \frac{m(v_0 \cos \alpha)^2}{\rho_Q}$,可得在其轨迹最高点 Q 处的曲率半径为 $\rho_Q = \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{g}$,同理在 P 处,由牛顿第二定律得 $mg \cos \alpha = \frac{mv_0^2}{\rho_P}$,可得在 P 处的曲率半径为 $\rho_P = \frac{v_0^2}{g \cos \alpha}$,故 $\frac{\rho_Q}{\rho_P} = \cos^3 \alpha$,故

易错点: 注意此处是重力的分力提供向心力

D 正确.

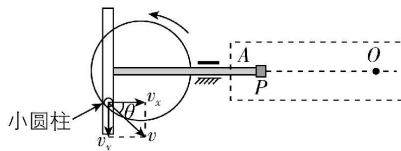
关键点拨 本题是信息题. 曲率半径是一个新的概念,平时不熟悉,但根据题目的介绍可知,求曲率半径也就是求在该点做圆周运动的轨迹半径,读懂题目的意图,本题便可迎刃而解.

2. B 【解析】花洒出水孔到竖直墙壁的水平距离相等,每个出水孔出水速度相等,根据平抛运动规律,在水平方向有 $x = v_0 t$,解得 $t = \frac{x}{v_0}$,故花洒喷出的水流在空中运动时间相等,结合竖直方向的运动规律 $h = \frac{1}{2} g t^2$ 可知,圆形花洒喷出的水流在竖直方向的位移相等,则落点区域形状与出水孔分布区域形状相同,故 B 正确.
3. CD 【解析】根据题意,可知过山车在圆弧轨道 CDE 的 C 点不脱离轨道,则在其他地方也不会脱离轨道,在圆弧轨道 CDE 的 C 点,过山车重力指向圆心的分力和轨道的支持力提供过山车做圆周运动的向心力,有 $mg \cos \frac{\theta}{2} - F_N = \frac{mv_c^2}{R} < mg \cos \frac{\theta}{2}$,过山车能够通过 D 点的条件为 $\frac{1}{2} mv_c^2 > mgR \left(1 - \cos \frac{\theta}{2} \right)$,联立解得 $\cos \frac{\theta}{2} > \frac{2}{3}$,当 $\theta = 120^\circ$ 或 $\theta = 150^\circ$ 时不满足,故选 C、D.

4. BC 【解析】T 形支架的速度等于小圆柱的水平方向的分速度,小圆柱的线速度大小为 $v = \omega R$,将小圆柱的速度分解,如图所示,水平方向上的分速度大小为 $v_x = v \cos \theta = \omega R \cos \theta$,当小圆柱从最左端开始转过 $\frac{1}{4}$ 圆周时,小圆柱的速度沿 AO 方向的分量最大,则 P 的速度达到最大值 v ,且之后小圆柱的速度沿 AO 方向的分量开始减小,所以此时物件 P 将与 T 形支架分离, θ 从 90° 到 0° 变化,则物件 P 的速度逐渐增大,所以物件 P 从 A 点开始运动到与 T 形支架分离的过程中,做变加速直线运动,故 A 错误, B、C 正确; T 形支架与物件 P 分离后物件 P 做匀速直线运动,在圆盘转动 $\frac{1}{4}$ 圈后到达 O 点,此时

时间内物件 P 运动位移大小为 $x = vt = v \times \frac{T}{4} = \omega R \times \frac{1}{4} \times \frac{2\pi}{\omega} = \frac{\pi R}{2}$,

AO 间的距离为 $d = R + x = \left(\frac{\pi}{2} + 1 \right) R$,故 D 错误.



5. C 【解析】方式一中,当球筒运动到最低点时,以羽毛球为研究对象,受力分析,有 $f - mg = m\omega^2 R$,将 $f = kmg$ 代入可得 $\omega = \sqrt{\frac{(k-1)g}{R}}$;方式二中,以球筒和羽毛球整体为研究对象,撞到桌面之前,设手对其做功为 W ,整体碰到桌面时的速度为 v ,由动能定理有 $W + (m+M)g \cdot \frac{L}{2} = \frac{1}{2} (m+M)v^2$,撞到桌面之后,以羽毛球为研究对象,它在球筒内减速下滑至桌面,由动能定理有 $mg(L-d) - f(L-d) = 0 - \frac{1}{2} mv^2$,联立可得 $W = (m+M) \left[(k-1)(L-d) - \frac{L}{2} \right] g$,故 C 正确.

6. BD

思路导引 (1) 每隔时间 t_0 就会投放一个零件;

(2) 每投放一个零件 A 都恰好遇到一个装配工位上的零件 B ,可知 t_0 时间,沿转动方向与原来零件相邻的零件,或间隔一个的零件,或间隔两个的零件,或间隔三个的零件,刚好转到固定工作头正下方.

【解析】由题意知,若要保证每个装配工位上都能完成零件装配,分为以下几种情况,沿转动方向与原零件相邻零件转到固定工作头正下方,此时有 $\omega t_0 = \frac{2\pi}{5} + 2k\pi (k=0,1,2,\dots)$,当 $k=0$ 时, $\omega = \frac{2\pi}{5t_0}$,当 $k=1$ 时, $\omega = \frac{12\pi}{5t_0}$;间隔一个的零件转到固定工作头正下方,此时有 $\omega t_0 = \frac{4\pi}{5} + 2k\pi (k=0,1,2,\dots)$,当 $k=0$ 时, $\omega = \frac{4\pi}{5t_0}$,当 $k=1$ 时, $\omega = \frac{14\pi}{5t_0}$;或者间隔两个的零件转到固定工作头正下方,则有 $\omega t_0 = \frac{6\pi}{5} + 2k\pi (k=0,1,2,\dots)$,当 $k=0$ 时, $\omega = \frac{6\pi}{5t_0}$,当 $k=1$ 时, $\omega = \frac{16\pi}{5t_0}$;或者间隔三个的零件转到固定工作头正下方,则有 $\omega t_0 = \frac{8\pi}{5} + 2k\pi (k=0,1,2,\dots)$,当 $k=0$ 时, $\omega = \frac{8\pi}{5t_0}$,当 $k=1$ 时, $\omega = \frac{18\pi}{5t_0}$, B、D 正确.

7. (1) 6 N

(2) $0.4 \text{ J} \leq E_p \leq 0.65 \text{ J}$, $1.25 \text{ J} \leq E_p \leq 1.65 \text{ J}$, $1.85 \text{ J} \leq E_p \leq 2 \text{ J}$

【解析】(1) 物块恰好通过圆形轨道 O_1 最高点 P ,在 P 点,根据牛顿第二定律有 $mg = \frac{mv_p^2}{r_1}$,解得 $v_p = 1 \text{ m/s}$,

高中必刷题 物理

物块从 B 到 P 过程,由机械能守恒定律有

$$\frac{1}{2}mv_B^2 = \frac{1}{2}mv_P^2 + 2mgr_1,$$

解得 $v_B = \sqrt{5} \text{ m/s}$,

物块在 B 点,由牛顿第二定律有 $F_N - mg = \frac{mv_B^2}{r_1}$,

解得 $F_N = 6 \text{ N}$.

(2) 物块恰好能通过 P 点,根据能量守恒定律有

$$E_{p1} = \mu mgL_1 + \frac{1}{2}mv_B^2 = 0.4 \text{ J},$$

物块恰能到 D 点,则 $E_{p2} = \mu mgL_1 + mgr_2 = 0.65 \text{ J}$,

物块恰能通过 E 点,在 E 点,根据牛顿第二定律有 $mg\sin\theta = \frac{mv_E^2}{r_2}$,

解得 $v_E = 2 \text{ m/s}$,

根据能量守恒定律有

$$E_{p3} = \mu mgL_1 + mg(r_2 + r_2\sin\theta) + \frac{1}{2}mv_E^2 = 1.25 \text{ J},$$

物块恰能到 G 点,则 $E_{p4} = \mu mgL_1 + mg(r_2 + r_2\sin\theta + L_2\cos\theta) + \mu mgL_2\sin\theta = 1.65 \text{ J}$,

关键点: 在倾斜直轨道上 $\mu mg\sin\theta = mg\cos\theta$

经挡板 Q 反弹后物块匀速下滑,恰能通过 F 点进入圆弧轨道且不脱离,则 $E_{p5} = \mu mgL_1 + mg(r_2 + r_2\sin\theta) + 2\mu mgL_2\sin\theta +$

$$\frac{1}{2}mv_E^2 = 1.85 \text{ J},$$

所以发射器弹性势能 E_p 的范围为 $0.4 \text{ J} \leq E_p \leq 0.65 \text{ J}$, $1.25 \text{ J} \leq E_p \leq 1.65 \text{ J}$, $1.85 \text{ J} \leq E_p \leq 2 \text{ J}$.

题型专练 2 开放题专练

刷素养

1. (1) 2.5 rad/s (2) 2.34 kg

【解析】(1) 设轻绳上的拉力为 T , 轻绳与竖直方向的夹角为 θ , 由几何知识可得 $\sin\theta = \frac{r}{L - (R - r)} = 0.8$,

则 $\theta = 53^\circ$,

对物块 C , 有 $2T\cos\theta = m_Cg$,

$$\text{解得 } T = \frac{m_Cg}{2\cos 53^\circ} = 12.5 \text{ N},$$

A 、 B 与凹槽间摩擦力恰好为零时, 轻绳的拉力为其提供做圆周运动的向心力, 根据牛顿第二定律可得 $T = m\omega_1^2 R$,

$$\text{解得 } \omega_1 = \sqrt{\frac{T}{mR}} = 2.5 \text{ rad/s}.$$

(2) 转盘不转动时, A 、 B 受到的摩擦力与轻绳的拉力平衡, 有 $\mu mg = T$,

关键点: 转盘不转动时, 系统恰好保持静止

解得 $\mu = 0.625$,

当转盘转动的角速度 $\omega_2 = 4 \text{ rad/s}$ 时, A 、 B 所需的向心力均为 $F_n = m\omega_2^2 R = 32 \text{ N}$,

要使物块 C 的质量最小, 轻绳上的拉力应最小, 对物块 A 、 B 受力分析可知

$$F_{\min} + \mu mg = F_n,$$

联立解得 $F_{\min} = 19.5 \text{ N}$,

对物块 C 受力分析可得 $2F_{\min}\cos\theta = m_0g$,

解得 $m_0 = 2.34 \text{ kg}$.

2. (1) $v_0 \geq 5\sqrt{5} \text{ m/s}$ (2) 3 s (3) 34 N , 方向竖直向下

【解析】(1) 传送带静止, 为使货物能运动到 B 点, 应满足

$$\frac{1}{2}mv_0^2 \geq mgL\sin\theta + \mu mgL\cos\theta,$$

解得 $v_0 \geq 5\sqrt{5} \text{ m/s}$.

(2) 由牛顿第二定律得 $\mu mg\cos\theta - mg\sin\theta = ma$,

解得货物做加速运动的加速度大小为 $a = 0.5 \text{ m/s}^2$,

货物做加速运动的时间为 $t_1 = \frac{v - v_0}{a} = 2 \text{ s}$,

货物做加速运动的位移大小 $x_1 = \frac{v + v_0}{2}t_1 = 3 \text{ m} < L$,

货物匀速运动的时间为 $t_2 = \frac{L - x_1}{v} = 1 \text{ s}$,

所以货物通过传送带的时间为 $t = t_1 + t_2 = 3 \text{ s}$.

(3) 货物直接落到直角漏斗的底部, 由平抛运动的竖直方向和水平方向分运动可知 $h = \frac{1}{2}gt'^2$, $x = h\tan 45^\circ = v_c t'$,

解得 $v_c = 1.5 \text{ m/s}$,

由题意可知, 当货物的初速度 v_0 在一定范围内变化时, 货物到达 B 点的速度等于传送带速度, 为 2 m/s , 根据机械能守恒

$$\text{定律有 } -mgR(1 - \cos\theta) = \frac{1}{2}mv_c^2 - \frac{1}{2}mv^2,$$

$$\text{解得 } R = \frac{7}{16} \text{ m},$$

货物经过圆弧形管道 C 点时, 假设管道对货物的作用力方向

竖直向上, 根据牛顿第二定律有 $mg - F_N = m\frac{v_c^2}{R}$,

解得 $F_N = 34 \text{ N}$,

根据牛顿第三定律可知, 货物对管道的作用力大小为 $F = F_N = 34 \text{ N}$, 方向竖直向下.