

第七章

万有引力与宇宙航行

第1节 行星的运动



对点上分

- 1. C** 【解析】开普勒第一定律的内容为所有行星绕太阳运动的轨道都是椭圆,太阳处在椭圆的一个焦点上,故 A 错误;开普勒第二定律为面积定律,即对同一个行星而言,太阳与行星的连线在相同时间内扫过的面积相等,故 B 错误;由开普勒第三定律可知,所有行星运行轨道的半长轴的三次方跟它的公转周期的二次方的比值都相等,故 C 正确;哥白尼提出了“日心说”,开普勒提出了行星运动定律,故 D 错误.

注意说明 面积定律是对同一个行星而言的,不同的行星与太阳的连线在相等时间内扫过的面积是不符合面积定律的.

- 2. BC** 【解析】根据开普勒第一定律可知,太阳处在 12P 彗星椭圆轨道的一个焦点上,故 A 错误;根据开普勒第二定律可知,12P 彗星在近日点的速度比在远日点的速度大,故 B 正确;根据开普勒第三定律可知,12P 彗星轨道半长轴的三次方与它公转周期的二次方的比值是一个定值,故 C 正确;根据开普勒第二定律可知,在远离太阳的过程中,12P 彗星与太阳的连线在相等的时间内扫过的面积相等,故 D 错误.

- 3. C** 【解析】根据开普勒第一定律可知,恒星一定处在椭圆轨道的一个焦点上,故 A 错误;盖亚-4b 在 b 、 d 两点时与恒星的距离相

等,根据开普勒第二定律可知,在 b 、 d 两点速度大小相等,但是方向不同,故速度不同,故 B 错误; a 点较 c 点离恒星近,根据开普勒第二定律可知,盖亚-4b 在 a 点的速度大于在 c 点的速度,故 C 正确;根据开普勒第二定律可知, $d \rightarrow a \rightarrow b$ 的平均速率大于 $b \rightarrow c \rightarrow d$ 的平均速率,故从 b 经 c 到 d 的时间比周期的一半大,

故 D 错误.

点拨: 由开普勒第二定律可知,离中心天体近则速率大,离中心天体远则速率小.

- 4. B** 【解析】设地球的轨道半径为 R_1 ,公转周期为 T_1 ,该彗星的轨道半长轴为 R_2 ,公转周期为 T_2 ,根据开普勒第三定律可知 $\frac{R_1^3}{T_1^2} = \frac{R_2^3}{T_2^2}$,其中 $R_1 = 1 \text{ AU}$, $R_2 = 17 \text{ AU}$, $T_1 = 1 \text{ 年}$,代入解得 $T_2 = 17\sqrt{17} \text{ 年}$,故 B 正确.

注意说明 在应用开普勒第三定律分析题目时,首先要判断两个行星(或卫星)的中心天体是否相同,只有中心天体相同,才能应用开普勒第三定律.

- 5. A** 【解析】设地球半径为 R_0 ,近地圆轨道上运行周期为 T_0 ,近地圆轨道的半径约为地球半径,设“4 h 椭圆停泊轨道”半长轴为

a_1 、对应运行周期为 T_1 ，“12 h 大椭圆轨道”半长轴为 a_2 、对应运行周期为 T_2 ，根据开普勒第三定律可得 $\frac{R_0^3}{T_0^2} = \frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{T_2^2}$ ，解得 $a_1 \approx 1.9R_0$ ， $a_2 = 4R_0$ ，所以“4 h 椭圆停泊轨道”远地点到地面距离为 $h_1 = 2a_1 - 2R_0 \approx 1.8R_0$ ，“12 h 大椭圆轨道”远地点到地面距离为 $h_2 = 2a_2 - 2R_0 = 6R_0$ ，则有 $h_1 : h_2 \approx 1 : 3$ ，故 A 正确。

第 2 节 万有引力定律



对点上分

1. C 【解析】牛顿发现了万有引力定律，故 A 错误；卡文迪什通过扭秤实验测出了引力常量，故 B 错误，C 正确；牛顿提出了月一地检验，得出天上和地面引力遵循相同规律，证明了万有引力定律的正确性，故 D 错误。

2. AC 【解析】牛顿推理万有引力定律的过程用到了牛顿运动定律，故 A 正确；当物体间的距离趋近于 0 时，万有引力定律不再适用，故 B 错误；两物体对彼此的万有引力是相互作用力，总是大小相等，方向相反，故 C 正确；任何两物体之间都存在万有引力，故 D 错误。

知识拓展

(1) 任何有质量的客观存在的物体间都有万有引力。

(2) 两物体间的万有引力只与它们本身的质量和它们之间的距离有关，而与物体所在空间的性质、是否受到其他外力等无关。

(3) 万有引力定律只适用于可看成质点的两物体间的相互作用，当两物体间距很小时，万有引力定律就不再适用。

3. C 【解析】忽略星球自转，设地球质量为 $M_{\text{地}}$ ，地球半径为 $R_{\text{地}}$ ，该行星质量为 $M_{\text{星}}$ ，该行星半径为 $r_{\text{星}}$ ，车的质量为 m ，由万有引力定律可知 $F_{\text{地}} = G \frac{M_{\text{地}} m}{R_{\text{地}}^2} = 1\,600\text{ N}$ ， $F_{\text{星}} = G \frac{M_{\text{星}} m}{r_{\text{星}}^2}$ ，代入数据解得 $F_{\text{星}} = 100\text{ N}$ ，故 C 正确。

4. C 【解析】根据万有引力的公式 $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ 可知，两物体的质量各减少一半，距离不变，两物体间的万有引力减小到原来的 $\frac{1}{4}$ ，故 A 正确；使其中一个物体的质量减小到原来的 $\frac{1}{4}$ ，距离不变，两物体之间的万有引力将减小为原来的 $\frac{1}{4}$ ，故 B 正确；使两物体间的距离和质量都减小为原来的 $\frac{1}{2}$ ，两物体间的万有引力不变，故 C 错误；使两物体间的距离增大为原来的 2 倍，质量不变，两物体之间的万有引力将减小为原来的 $\frac{1}{4}$ ，故 D 正确。

5. AD 【解析】根据开普勒第二定律可知，彗星在近日点的速度大于其在远日点的速度，即 $v_1 > v_2$ ，故 A 正确，B 错误；在近日点，根据牛顿第二定律有 $\frac{GMm}{r_1^2} = ma_1$ ，在远日点，根据牛顿第二定律有

$$\frac{GMm}{r_2^2} = ma_2, \text{ 联立解得 } \frac{a_1}{a_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}, \text{ 故 C 错误, D 正确.}$$

- 6. B** 【解析】将题图甲中的 $\frac{3}{4}$ 圆环分成 3 个 $\frac{1}{4}$ 圆环, 则由对称性可知, $\frac{3}{4}$ 圆环对球的万有引力大小等于其中的一个 $\frac{1}{4}$ 圆环对球的引力大小, 则每个 $\frac{1}{4}$ 圆环对球的万有引力大小均为 F , 则题图乙中半圆环对球的万有引力大小为 $F_{\text{乙}} = \sqrt{F^2 + F^2} = \sqrt{2}F$, 题图丙中由对称性可知, 整个圆环对球的万有引力大小为零, **B 正确.**



能力上分

- 1. D** 【解析】根据万有引力定律和牛顿第二定律有 $\frac{GMm}{r^2} = ma$, 可得 $a = \frac{GM}{r^2} \propto \frac{1}{r^2}$, 已知月地距离约为地球半径的 60 倍, 所以若想检验“使月球绕地球运动的力”与“使苹果落地的力”遵循同样的规律, 需要验证月球公转的加速度约为苹果落向地面加速度的 $\frac{1}{60^2}$, **故 D 正确.**

- 2. D** 【解析】该过程中海王星与太阳之间的距离逐渐减小, 由 $F = G \frac{Mm}{r^2} = ma = m \frac{v^2}{r}$, 可知海王星的加速度增大、速度增大, 因速度越来越大, 海王星从 Q 点到 M 点和从 M 点到 P 点的过程中, 所用时间不相同, **故 A、B、C 错误;** 地球绕太阳的运行周期为 $T = 1$ 年, 设地球绕太阳运行的轨道半长轴为 r , 海王星绕太阳运行的轨道半长轴为 r' 、周期为 T' , 由开普勒第三定律可得 $\frac{T'^2}{T^2} = \frac{r'^3}{r^3} = k^3$, 解得 $T' = k^{\frac{3}{2}}T$, 即海王星的运行周期为 $k^{\frac{3}{2}}$ 年, **故 D 正确.**

- 3. C** 【解析】设 A 球质量为 m , 由 $M = \rho \times \frac{4}{3}\pi r^3$ 可知, B 球质量为 $8m$, C 的质量为 m , 根据万有引力定律可得, A 、 B 间的万有引力大小为 $F = G \frac{m \cdot 8m}{(3R)^2} = G \frac{8m^2}{9R^2}$, A 、 C 间的万有引力大小为 $F' = G \cdot \frac{m^2}{(3R)^2} = G \frac{m^2}{9R^2}$, 所以 $F' = \frac{1}{8}F$, **故 C 正确.**

- 4. A** 【解析】由题干“忽略自转的影响, 重力等于物体受到的引力”, 地表处有 $\frac{GMm}{R^2} = mg$, 可得 $g = \frac{GM}{R^2}$, 同理, 月表处有 $\frac{\frac{1}{81}GMm'}{\left(\frac{1}{4}R\right)^2} =$

$$m'g_{\text{月}}, \text{ 则 } g_{\text{月}} = \frac{16}{81}g, \text{ 故 A 正确;}$$

由于质量分布均匀的球壳对球壳内部任意位置质点的万有引力都为零, 则月球隧道内任意一点(到

$$\text{月球球心的距离为 } r) \text{ 的重力加速度 } g_r = \frac{GM'}{r^2} = \frac{G \cdot \frac{4}{3}\pi r^3 \cdot \rho}{r^2} =$$

$$\frac{4\pi G\rho r}{3}, g_r \text{ 与 } r \text{ 成正比, } r \text{ 越小, } g_r \text{ 越小, 即隧道内任意一点的重力}$$

加速度都小于 $\frac{16}{81}g$, 故 B、C 错误; 距月球表面高为 h 处, 有

$$\frac{GM_{\text{月}} m''}{(R_{\text{月}} + h)^2} = m'' g_h, \text{解得 } g_h = \frac{GM_{\text{月}}}{(R_{\text{月}} + h)^2}, \text{即 } g_h \text{ 与 } (R_{\text{月}} + h)^2 \text{ 成反比, 故}$$

D 错误.

5. C 【解析】先将大球补全, 由题干“质量分布均匀的薄球壳对壳

内物体的引力为零”可知, 大球对质点的引力 F_1 等于以 O_1P 为半径的实心球对质点的引力, F_1 的方向沿 PO_1 , 设均质球的密度为

ρ , 则大球的质量 $M = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi(2R)^3$, 以 O_1P 为半径的实心球的质量

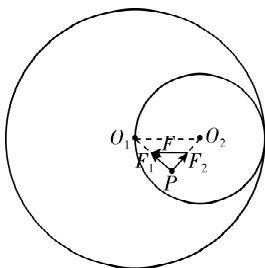
$$M_1 = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi \cdot (O_1P)^3, \text{则 } F_1 = G \frac{M_1 m}{(O_1P)^2} = G\rho \cdot \frac{4}{3}\pi m \cdot O_1P; \text{同理, 被挖去的小球对质点的引力 } F_2 \text{ 等于以 } O_2P \text{ 为半径的实心球对质点的引力, } F_2 \text{ 的方向沿 } PO_2, \text{以 } O_2P \text{ 为半径的实心球的质量}$$

$$M_2 = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi \cdot (O_2P)^3, \text{则 } F_2 = G \frac{M_2 m}{(O_2P)^2} = G\rho \cdot \frac{4}{3}\pi m \cdot O_2P. \text{对}$$

质点受力分析, 如图所示, 易得 F 、 F_1 、 F_2 组成的矢量三角形与三

角形 O_1O_2P 相似, 则 F 方向平行于 O_1O_2 , 有 $\frac{F}{O_1O_2} = \frac{F_1}{PO_1}$, 则 $F =$

$$\frac{GMm}{8R^2}, \text{故 A、B、D 错误, C 正确.}$$



方法总结 用“填补法”计算万有引力

(1) 对于非对称(或不完整)的物体, 通过填补后构成对称(完整)的物体, 然后利用对称物体所满足的物理规律进行求解的方法称为“填补法”.

(2) 计算一些不完整球体对球体外质点的万有引力时, 常常采用“填补法”.

(3) 具体求解步骤

- ① 把从均匀球体上挖去的部分补上;
- ② 计算完整球体对球体外质点的万有引力;
- ③ 计算补上部分对球体外质点的万有引力;
- ④ 两者之差即为所求球体剩余部分对球体外质点的万有引力.

第3节 万有引力理论的成就

课时1 万有引力与重力的关系



对点上分

1. B 【解析】万有引力和支持力的合力提供物体随地球自转的向心力, 物体在赤道受到的万有引力大于重力, 在地球两极, 向心力为零, 物体受到的万有引力等于重力, 故 A、D 错误, B 正确;

离地越高,物体的重力加速度越小,故 C 错误.

2. A 【解析】质量为 m 的物体在地球两极处所受地球的引力等于其重力,即 $\frac{GMm}{R^2} = mg$; 质量为 m 的物体在地球赤道处所受的万有

大招攻略 17 万有引力与重力的关系

引力大小等于物体的重力和随地球自转的向心力之和,即 $\frac{GMm}{R^2} = mg' + mR\omega^2$, 联立解得 $\Delta g = g - g' = R\omega^2$, 故若地球的自转角速度减小,其他条件不变,则 Δg 减小,故 A 正确.

3. B 【解析】质量为 m 的物体放在 A 位置,向心力为零,重力等于万有引力,即 $G \frac{Mm}{R^2} = mg$; 在 D 位置,有 $G \frac{Mm}{R^2} = m \times \frac{3}{4}g + m\omega^2 R$; E 位置的向心加速度为 $a_n = \omega^2 R \cos 30^\circ$, 代入解得 $a_n = \frac{\sqrt{3}}{8}g$, 故 B 正确.

注意说明 物体随星球自转需要的向心力 $F_n = m\omega^2 r$, r 是物体旋转轨道的半径,不是星球半径 R ,在两极处 $r = 0$,在赤道处 $r = R$,在其他纬度处 $0 < r < R$.

4. B 【解析】对地面上质量为 m 的物体,忽略地球自转的影响,重力等于万有引力,即 $mg = G \frac{Mm}{R^2}$; 对质量为 m' 的人造卫星有 $\frac{1}{9}m'g =$

大招攻略 17 万有引力与重力的关系

$\frac{GMm'}{(R+h)^2}$, 联立解得 $h = 2R$, 故 B 正确.

注意说明 忽略地球自转的影响,重力等于万有引力,注意求解距地面高 h 处的万有引力时, $r = R + h$.

5. C 【解析】设月球表面的重力加速度为 g_0 , 则有 $G \frac{Mm}{R^2} = mg_0$, 解得 $g_0 = \frac{GM}{R^2} = \frac{G}{R^2} \times \frac{4}{3} \pi R^3 \rho = \frac{4\pi\rho GR}{3}$, 根据竖直上抛运动的规律可知,物体落回月球表面的时间 $t = \frac{2v_0}{g_0} = 2v_0 \times \frac{3}{4\pi\rho GR} = \frac{3v_0}{2\pi\rho GR}$, 故 C 正确.

6. A 【解析】设质量为 m_1 的物体在马里亚纳海沟深度为 d 处, 质量为 m_2 的物体在离地面高度为 h 的空间站上, 则有 $G \frac{M'm_1}{(R-d)^2} = m_1 g_1$, $G \frac{Mm_2}{(R+h)^2} = m_2 g_2$, 其中 $\frac{M'}{M} = \frac{(R-d)^3}{R^3}$, 解得马里亚纳海沟深度为 d 处和空间站所在轨道处的重力加速度大小之比为 $\frac{g_1}{g_2} = \frac{(R-d)(R+h)^2}{R^3}$, 故 A 正确.

易错警示 不理解万有引力定律公式中的距离 r 的含义而出错

本题是信息题,易在模型的建立上出错,要从题中提炼出“质量分布均匀的球壳对壳内物体的引力为零”这一信息,注意万有引力定律中的 r 指的是两质点间的距离,也可以是质点到质量分布均匀的球体中心的距离,或质量分布均匀的两球体球心之间的距离.

课时2 万有引力定律的应用——环绕规律



对点上分

- 1. D** 【解析】根据开普勒第三定律可知 $\frac{r^3}{T^2} = k$, 结合题意可知火星公转的半径比地球的大, 根据万有引力提供向心力可知 $G \frac{Mm}{r^2} = ma = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r$, 解得 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$, $a = \frac{GM}{r^2}$, 所以火星公转的线速度比地球的小, 火星公转的角速度比地球的小, 火星公转的加速度比地球的小, **A、B、C 错误, D 正确**.

快解

根据高轨低速大周期, 火星公转的半径比地球的大, 则火星公转的线速度、角速度、加速度均比地球的小.

- 2. B** 【解析】由万有引力定律可知, 电梯轿厢所受地球的万有引力大小为 $F = G \frac{Mm}{r^2}$, 其中 r 是电梯轿厢到地心的距离, 在电梯轿厢从地面 ($r = R$) 上升到同步轨道 ($r = R + 36\,000\text{ km}$) 过程中, 随着 r 增大, 万有引力减小, **故 A 错误**; 由题干知, 电梯轿厢随地球一起自转, 即电梯轿厢的角速度不变, 由 $v = \omega r$, $a = \omega^2 r$, 其中 r 是电梯轿厢到地心的距离, 则当电梯轿厢从地面 ($r = R$) 上升到同步轨道 ($r = R + 36\,000\text{ km}$) 时, 随着 r 增大, 电梯轿厢绕地球运行的线速度逐渐增大, 电梯轿厢绕地球运行的向心加速度逐渐增大, **故 B 正确, C、D 错误**.

易错警示

容易错误地认为这是环绕模型, 电梯轿厢虽绕地

球运行, 但受到的万有引力未全部充当向心力, $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ 不适用.

- 3. BD** 【解析】 g 表示地球表面重力加速度, 所以 mg 不能表示地球公转所需的向心力, **故 A 错误**; 根据牛顿第二定律得 $\frac{GMm}{R^2} = mR \frac{4\pi^2}{T^2}$, 解得 $R = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}$, **故 B 正确**; 根据牛顿第二定律得 $\frac{GMm}{R^2} = m\omega^2 R$, 解得 $\omega = \sqrt{\frac{GM}{R^3}}$, **故 C 错误**; 根据牛顿第二定律得 $\frac{GMm}{R^2} = ma$, 解得 $a = \frac{GM}{R^2}$, **故 D 正确**.

方法总结

求天体做圆周运动时的物理量, 例如线速度、角速度、向心加速度以及周期等, 可以根据万有引力提供向心力求

解, 即 $\frac{GMm}{r^2} = ma = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$.

- 4. AD** 【解析】设星球的半径为 R , 则由牛顿第二定律得 $G \frac{Mm}{R^2} = mR \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2$, $\rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$, 联立解得 $\rho = \frac{3\pi}{GT^2}$, **故 A 正确, B 错误**; 由开普勒第三定律有 $\frac{r^3}{T^2} = k$, 可知 $\frac{(R+h)^3}{(8T)^2} = \frac{R^3}{T^2}$, 解得 $R = \frac{1}{3}h$, **故 C 错误, D 正确**.

- 5. C** 【解析】设地球的质量为 M , “北斗三号” G7 星的质量为 m , 由万有引力提供向心力有 $G \frac{Mm}{r^2} = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r$, 解得 $M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$, 则地

球的平均密度为 $\rho = \frac{M}{V} = \frac{\frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3\pi r^3}{GT^2 R^3}$, 由题干可知 $\frac{r}{R} = k$, 代入

解得 $\rho = \frac{3\pi k^3}{GT^2}$, 故 C 正确.

6. C 【解析】设卫星的轨道半径为 r , 由几何关系可知 $\sin \theta = \frac{R}{r}$,

解得 $r = \frac{R}{\sin \theta}$, 对卫星绕地球做圆周运动有 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$, 可得

地球的质量 $M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2} = \frac{4\pi^2 R^3}{GT^2 \sin^3 \theta}$, 故 C 正确.

第3节 节测上分

1. B 【解析】物体在北极所需的向心力为零, 有 $G \frac{Mm}{R^2} = N_1$, 物体在

赤道上有 $G \frac{Mm}{R^2} = N_2 + m\omega^2 R$, 由题干有 $\Delta N = N_1 - N_2 = m\omega^2 R$, 解得

大招攻略 17 万有引力与重力的关系

地球自转的角速度 $\omega = \sqrt{\frac{\Delta N}{mR}}$, 故 B 正确.

2. B 【解析】根据开普勒第一定律, “七星连珠”现象发生的时间内, 这七颗行星都围绕太阳沿椭圆轨道运动, 故 A 错误; 由万有

引力提供向心力有 $G \frac{Mm}{r^2} = m\omega^2 r$, 则 $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$, 由于水星绕太阳

运动的轨道半径比金星小, 所以水星绕太阳运动的角速度大, 故

B 正确; 若七星都绕太阳做匀速圆周运动, 根据 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$,

通法攻略 18 环绕模型与万有引力的研究

知道七星中任意一颗行星的公转周期与轨道半径, 就可以求出太阳的质量, 故 C 错误; 因为金星的轨道半长轴小于火星的轨道

半长轴, 由开普勒第三定律 $\frac{r^3}{T^2} = k$ 可知, 金星的公转周期小于火

星的公转周期, 故 D 错误.

3. AC 【解析】由题可知 $r_{\text{太}} : r_{\text{地}} = 100 : 1$, $r_{\text{月}} : r_{\text{地}} = 1 : 4$, 结合题

图可得地球到太阳的距离与月球到地球的距离之比约为 $r_1 :$

$r_2 = r_{\text{太}} : r_{\text{月}} = 400 : 1$, 故 A 正确; 由牛顿第二定律得 $\frac{GMm}{r^2} =$

$\frac{4\pi^2 mr}{T^2}$, 可得 $M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$, 则 $\frac{M_{\text{太}}}{M_{\text{地}}} = \frac{r_1^3 T_2^2}{r_2^3 T_1^2} \approx 3.8 \times 10^5$, 即太阳的质量约

为地球质量的 3.8×10^5 倍, 此时地球对月球的引力与太阳对月

球的引力大小之比为 $F_{\text{地月}} : F_{\text{太月}} = \frac{GM_{\text{地}} M_{\text{月}}}{r_2^2} : \frac{GM_{\text{太}} M_{\text{月}}}{(r_1 - r_2)^2} \approx 0.4$, 球

体的密度为 $\rho = \frac{M}{V} = \frac{3M}{4\pi r^3}$, 则地球与太阳的平均密度之比为 $\frac{\rho_{\text{地}}}{\rho_{\text{太}}} =$

$\frac{M_{\text{地}} r_{\text{太}}^3}{M_{\text{太}} r_{\text{地}}^3} \approx 2.6$, 故 C 正确, B、D 错误.

4. A 【解析】由万有引力提供向心力有 $\frac{GMm}{r^2} = \frac{m \times 4\pi^2 r}{T^2}$, 解得 $r^3 =$

$\frac{GM}{4\pi^2} T^2$, 由图可知斜率 $k = \frac{GM}{4\pi^2}$, 所以天体的质量为 $M = \frac{4\pi^2 k}{G}$, 木星

质量大于地球质量,故地球质量为 $M_{\text{地}} = \frac{4\pi^2 a}{Gd}$,木星质量为 $M_{\text{木}} =$

$$\frac{4\pi^2 b}{Gc}, \text{地球密度为 } \rho_{\text{地}} = \frac{M_{\text{地}}}{V_{\text{地}}} = \frac{\frac{4\pi^2 a}{Gd}}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3\pi a}{dR^3 G}, \text{木星密度为 } \rho_{\text{木}} =$$

$$\frac{M_{\text{木}}}{V_{\text{木}}} = \frac{\frac{4\pi^2 b}{Gc}}{\frac{4}{3}\pi (11R)^3} = \frac{3\pi b}{1331cR^3 G}, \text{木星与地球的密度之比为}$$

$$\rho_{\text{木}} : \rho_{\text{地}} = \frac{3\pi b}{1331cR^3 G} : \frac{3\pi a}{dR^3 G} = \frac{bd}{1331ac}, \text{故 A 正确, B、C、D}$$

错误.

5. A 【解析】在地球表面,忽略地球自转,万有引力等于重力,则

$$\text{有 } G \frac{m_{\text{地}} m}{R^2} = mg, \text{月球绕地球的运动可看作匀速圆周运动,万有}$$

$$\text{引力提供向心力,则有 } G \frac{m_{\text{地}} m_{\text{月}}}{h^2} = m_{\text{月}} \frac{4\pi^2 h}{T^2}, \text{由题意有 } h = 60R, \text{联}$$

$$\text{立解得 } T = 120\pi \sqrt{\frac{60R}{g}}, \text{故 A 正确.}$$

6. BC 【解析】月球绕地球运动,卫星绕月球运动,它们的中心天体不同,不能用开普勒第三定律,故 A 错误;对绕月极地卫星有

$$\frac{GM_2 m}{(R_2 + h)^2} = m(R_2 + h) \frac{4\pi^2}{T_2^2}, \text{对月球表面的物体有 } \frac{GM_2 m'}{R_2^2} = m' g_{\text{月}}, \text{解得}$$

$$\text{月球表面重力加速度 } g_{\text{月}} = \frac{4\pi^2 (R_2 + h)^3}{R_2^2 T_2^2}, \text{月球质量 } M_2 =$$

$$\frac{4\pi^2 (R_2 + h)^3}{G T_2^2}, \text{故 B、C 正确;“月一地检验”说明地球对地面物体}$$

的引力和地球对月球的引力是同一种性质的力,故 D 错误.

7. C 【解析】设太阳质量为 M ,火星、地球质量分别为 m_1 、 m_2 ,公转轨道半径分别为 r_1 、 r_2 ,公转周期分别为 T_1 、 T_2 ,则由万有引力提

$$\text{供向心力有 } G \frac{M m_1}{r_1^2} = m_1 \left(\frac{2\pi}{T_1} \right)^2 r_1, G \frac{M m_2}{r_2^2} = m_2 \left(\frac{2\pi}{T_2} \right)^2 r_2, \text{解得 } \frac{T_1}{T_2} =$$

$$\sqrt{\left(\frac{r_1}{r_2} \right)^3} = \sqrt{\left(\frac{3}{2} \right)^3} = \sqrt{\frac{27}{8}}, \text{故 A 错误;由题意无法比较火星的}$$

自转周期和地球的自转周期,故 B 错误;设火星、地球的半径分别为 R_1 、 R_2 ,探测器质量为 m ,探测器在火星、地球表面附近的运行速率分

$$\text{别为 } v_1$$
、 v_2 ,则有 $G \frac{m_1 m}{R_1^2} = m \frac{v_1^2}{R_1}, G \frac{m_2 m}{R_2^2} = m \frac{v_2^2}{R_2}, \text{解得 } \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{m_1}{R_1} \times \frac{R_2}{m_2}} =$

$$\sqrt{\frac{1}{9} \times \frac{2}{1}} = \sqrt{\frac{2}{9}}, \text{故 C 正确;探测器在火星表面附近运行时,有}$$

$$G \frac{m_1 m}{R_1^2} = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 R_1, \text{解得火星的质量为 } m_1 = \frac{4\pi^2 R_1^3}{G T^2}, \text{火星的体积为}$$

$$V = \frac{4}{3} \pi R_1^3, \text{则火星的平均密度为 } \rho = \frac{m_1}{V} = \frac{3\pi}{G T^2}, \text{故 D 错误.}$$

8. 2. 56×10^{-7}

【解析】设恒星的周期为 T' ,由图中数据可知 $\frac{T'}{2} = (2002 - 1994) \text{年} =$

8 年,可得恒星的周期为 $T' = 16 \text{年}$. 设地球质量为 m' ,地球的公

$$\text{转周期为 } T = 1 \text{年,由万有引力提供向心力可得 } \frac{G m m'}{R^2} = m' \frac{4\pi^2}{T^2} R,$$

解得 $m = \frac{4\pi^2 R^3}{GT^2}$. 设恒星的质量为 m'' , 恒星绕黑洞沿半长轴 $a =$

$1\,000R$ 的椭圆轨道运动, 可近似视为以半径 $r = 1\,000R$ 绕黑洞做

圆周运动, 由万有引力提供向心力可得 $\frac{GMm''}{(1\,000R)^2} = m'' \frac{4\pi^2}{T'^2}$.

$1\,000R$, 解得 $M = \frac{4\pi^2 (1\,000R)^3}{GT'^2}$. 故太阳与黑洞的质量之比为

$$\frac{m}{M} = \frac{R^3}{(1\,000R)^3} \cdot \frac{T'^2}{T^2} = \frac{1}{1\,000^3} \times \frac{16^2}{1^2} = \frac{16^2}{1\,000^3} = 2.56 \times 10^{-7}.$$

9. (1) $\frac{v^2 - v_0^2}{2h}$ $\frac{(v^2 - v_0^2)R^2}{2Gh}$ (2) $\frac{3(v^2 - v_0^2)}{8\pi RGh}$

【解析】(1) 由运动学公式有 $v^2 - v_0^2 = 2gh$, 解得 $g = \frac{v^2 - v_0^2}{2h}$,

忽略火星自转, 在火星表面, 小球所受万有引力等于重力, 则

有 $mg = G \frac{Mm}{R^2}$, 解得 $M = \frac{(v^2 - v_0^2)R^2}{2Gh}$.

(2) 火星体积 $V = \frac{4}{3}\pi R^3$, 火星密度 $\rho = \frac{M}{V}$, 结合上述解得

$$\rho = \frac{3(v^2 - v_0^2)}{8\pi RGh}.$$

第4节 宇宙航行



对点上分

1. C 【解析】第二宇宙速度大小为 11.2 km/s , 第三宇宙速度大小为 16.7 km/s , 故 A 错误; 第三宇宙速度是地球上的物体挣脱太阳引力束缚的最小发射速度, 故 B 错误; 第一宇宙速度是物体在地面附近绕地球做圆周运动的速度, 是最大环绕速度, 也是最小发射速度, 故 C 正确, D 错误.

关键点拨 “最小发射速度”和“最大环绕速度”

(1) “最小发射速度”是因为发射卫星要克服地球对它的引力, 所以向高轨道发射卫星比向低轨道发射卫星困难, 近地轨道是卫星的最低运行轨道, 而近地卫星的发射速度就是第一宇宙速度, 所以第一宇宙速度是卫星的最小发射速度.

(2) “最大环绕速度”, 根据万有引力提供向心力得 $\frac{GMm}{R^2} = m \frac{v^2}{R}$, 可得 $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$, 轨道半径越小, 线速度越大, 在所有环绕地球做匀速圆周运动的卫星中, 近地卫星的轨道半径最小, 线速度最大, 所以近地卫星的线速度(即第一宇宙速度)是最大环绕速度.

2. B 【解析】第一宇宙速度指物体在地面附近绕地球做匀速圆周运动的速度, 所以在地球表面附近运行的卫星的速度等于第一宇宙速度, 故 A 错误, B 正确; 若卫星发射速度大于第二宇宙速度, 则会脱离地球束缚, 不会进入月球轨道, 故 C 错误; 若卫星发射速度大于第三宇宙速度, 则会脱离太阳系, 不会进入太阳轨道, 故 D 错误.

3. C 【解析】月球的第一宇宙速度为物体在月球表面附近做匀速圆周运动的速度, 则有 $mg = m \frac{v^2}{R}$, 解得 $v = \sqrt{gR}$, 故 A 错误; “嫦

娥四号”绕月运行时,由万有引力提供向心力有 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$,解

得 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, 结合月球表面重力加速度 $g = \frac{GM}{R^2}$, 可得 $v = \sqrt{\frac{gR^2}{r}}$,

 **点拨:** 忽略月球自转, 月球表面物体

所受万有引力等于重力

故 B 错误; 万有引力提供“嫦娥四号”做匀速圆周运动的向心力,

则 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$, 又月球质量 $M = \rho \cdot \frac{4}{3} \pi R^3$, 联立得 $G = \frac{4\pi^2 r^3}{T^2} \cdot$

$\frac{3}{4\pi\rho R^3} = \frac{3\pi r^3}{\rho T^2 R^3}$, **故 C 正确;** 第二宇宙速度是脱离地球引力束缚的

最小发射速度, 而“嫦娥四号”绕月球运行, 未脱离地球引力束缚, 所以发射“嫦娥四号”无须达到第二宇宙速度, **故 D 错误.**

4. A 【解析】 分析题意结合图像可知, 开始下落瞬间, 物体只受重力

作用, 忽略行星自转, 根据万有引力等于重力可知 $\frac{GMm}{R^2} =$

$mg = ma_0$, 解得行星的质量为 $M = \frac{a_0 R^2}{G}$, 在行星表面飞行的卫星,

根据万有引力提供向心力有 $\frac{GMm'}{R^2} = m' \frac{v^2}{R}$, 联立求得 $v = \sqrt{a_0 R} =$

$\sqrt{4 \times 4 \times 10^6} \text{ m/s} = 4 \text{ km/s}$, **故 A 正确, B 错误;** 根据密度公式可知

$\rho = \frac{M}{\frac{4}{3} \pi R^3} = \frac{3a_0}{4\pi GR} = \frac{3 \times 4}{4\pi \times 6.67 \times 10^{-11} \times 4 \times 10^6} \text{ kg/m}^3 \approx 3.6 \times$

10^3 kg/m^3 , **故 C 错误;** 根据 $v^2 = 2ax$, 由题图可知 $S_{\Delta} = \frac{1}{2} v_{\max}^2 =$

$\frac{1}{2} \times 4 \times 9 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2} = 18 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$, 可知最大速度为 $v_{\max} = 6 \text{ m/s}$, **故 D**

错误.

5. D 【解析】 由平抛运动特点可得 $h = \frac{1}{2} g_{\text{月}} t^2$, $L = v_0 t$, 联立解得月

球表面的重力加速度 $g_{\text{月}} = \frac{2hv_0^2}{L^2}$, **故 A 错误;** 忽略月球自转, 在月

球表面由万有引力等于重力得 $G \frac{m_{\text{月}} m}{R^2} = mg_{\text{月}}$, 将 $g_{\text{月}} = \frac{2hv_0^2}{L^2}$ 代入

上式得月球的质量 $m_{\text{月}} = \frac{2hR^2 v_0^2}{GL^2}$, **故 B 错误;** 由万有引力提供向心

力得 $G \frac{m_{\text{月}} m'}{R^2} = m' \frac{v^2}{R}$, 将 $m_{\text{月}} = \frac{2hR^2 v_0^2}{GL^2}$ 代入上式得月球的第一宇

宙速度 $v = \frac{v_0}{L} \sqrt{2hR}$, **故 C 错误;** 月球的平均密度 $\rho = \frac{m_{\text{月}}}{\frac{4}{3} \pi R^3} =$

$\frac{3hv_0^2}{2\pi GRL^2}$, **故 D 正确.**

6. D 【解析】 根据万有引力提供向心力有 $G \frac{Mm}{r^2} = m\omega^2 r$, 可得 $r =$

$\sqrt[3]{\frac{GM}{\omega^2}}$, 若地球自转变快, 角速度变大, 则地球静止卫星的角速度

变大, 可知地球静止卫星的轨道半径变小, 即地球静止卫星的轨

道变低, **故 A 错误;** 根据牛顿第二定律有 $G \frac{Mm}{r^2} = ma$, 可得 $a =$

$\frac{GM}{r^2}$, 因为地球静止卫星和极地同步卫星的轨道半径相同, 故加速度大小相等, **故 B 错误**; 在地球两极, 物体所需的向心力为零, 重力等于万有引力, 即 $G \frac{Mm'}{R^2} = m'g_{\text{极}}$, 可得 $g_{\text{极}} = \frac{GM}{R^2}$, 在赤道处, 万有引力和支持力的合力提供向心力, 有 $G \frac{Mm'}{R^2} - m'\omega^2 R = m'g_{\text{赤}}$, 可得 $g_{\text{赤}} = g_{\text{极}} - \omega^2 R$, 可知地球赤道上的重力加速度比两极上的重力加速度小, **故 C 错误**; 置于武汉和北京的物体做圆周运动的半径不相同, 根据 $a_n = \omega^2 r$ 可知置于武汉和北京的物体的向心加速度

 **注意**: 两处物体随地球自转的圆轨道的圆心不是地心

大小不同, **故 D 正确**.

7. C 【解析】由于卫星 B 是地球同步卫星, 所以卫星 B 与物体 A 的角速度相同, 由公式 $v = \omega r$ 可得, 卫星 B 的运行速率大于物体 A 的速率, **故 A 错误**; 由向心加速度公式可得, 物体 A 、卫星 B 的向心加速度大小分别为 $a_A = \omega^2 r_A$ 、 $a_B = \omega^2 r_B$, 由于做圆周运动的半径 $r_A < r_B$, 所以向心加速度 $a_A < a_B$, **故 B 错误**; 设卫星 C 在近地点的运行速率为 v_1 , 近地点距地心的距离为 r' , 设一卫星绕地球做圆周运动的半径也为 r' , 线速度大小为 v_2 , 由卫星变轨可知 $v_1 > v_2$, 设卫星 B 绕地球做圆周运动的半径为 r_B , 线速度大小为 v_B , 由万有引力定律及牛顿第二定律得 $G \frac{Mm''}{r'^2} = m'' \frac{v_2^2}{r'}$, $G \frac{Mm'}{r_B^2} = m' \frac{v_B^2}{r_B}$, 由以上两式可得 $v_2 = \sqrt{\frac{GM}{r'}}$, $v_B = \sqrt{\frac{GM}{r_B}}$, 由于 $r_B > r'$, 所以 $v_B < v_2$, 综上可得 $v_B < v_2 < v_1$, **故 C 正确**; 由牛顿第二定律得 $G \frac{Mm}{r^2} = ma$, 解得 $a = G \frac{M}{r^2}$, 卫星 B 、 C 在 P 点到地心的距离相等, 所以卫星 B 在 P 点的加速度等于卫星 C 在 P 点的加速度, **故 D 错误**.

8. A 【解析】 b 、 c 围绕地球做匀速圆周运动, 由万有引力提供向心力, a 为地球赤道上的物体, 由万有引力和支持力的合力提供向心力, **故 A 错误**; 设 a 、 b 、 c 的轨道半径分别为 R_a 、 R_b 、 R_c , c 为地球同步卫星, a 为地球赤道上的物体, 两者的周期均与地球自转周期相等, 对于 b 、 c , 根据开普勒第三定律有 $\frac{R_c^3}{T_c^2} = \frac{R_b^3}{T_b^2}$, 由于 $R_c > R_b$, 则有 $T_c > T_b$, 可知 $T_a = T_c > T_b$, **故 B 正确**; a 、 c 的角速度相等, 且 $R_c > R_a$, 根据 $v = \omega r$, 则有 $v_a < v_c$, 根据牛顿第二定律有 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$, 则 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, 且 $R_c > R_b$, 则 $v_c < v_b$, 则有 $v_a < v_c < v_b$, **故 C 正确**; 对于 a 、 c , 根据 $a = \omega^2 r$, 且 $R_c > R_a$, 则有 $a_a < a_c$, 根据 $G \frac{Mm}{r^2} = ma$, 则有 $a = \frac{GM}{r^2}$, 且 $R_c > R_b$, 则 $a_c < a_b$, 则有 $a_b > a_c > a_a$, **故 D 正确**.

易错警示 混淆环绕卫星和星体表面的物体的运动规律

同步卫星和近地卫星都是由万有引力提供向心力, 即都

满足 $\frac{GMm}{r^2} = m\omega^2 r = m \frac{4\pi^2}{T^2} r = m \frac{v^2}{r} = ma$, 由上式比较各物理量

的大小关系, 可知 r 越大, v 、 ω 、 a 越小, T 越大; 而同步卫星和赤道上物体做圆周运动的周期和角速度都相同, 因此要通过 $v = \omega r$ 和 $a = \omega^2 r$ 比较两者的线速度和向心加速度的大小.

9. ACD 【解析】根据万有引力提供向心力可得 $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{v^2}{R} = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 R = ma$, 得 $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$, $T = 2\pi \sqrt{\frac{R^3}{GM}}$, $a = \frac{GM}{R^2}$, 可知卫星的轨道越高, 速率越小, 周期越大, 向心加速度越小, **B 错误**, **C、D 正确**, 飞船由低轨道变到高轨道, 需要加速, **A 正确**.

10. C 【解析】根据牛顿第二定律有 $G \frac{Mm}{r^2} = ma$, 解得 $a = \frac{GM}{r^2}$, 在轨道 2 上 Q 点与地心间的距离和在轨道 3 上 Q 点与地心间的距离相同, 因此在轨道 2 上 Q 点的加速度等于在轨道 3 上 Q 点的加速度, **故 D 错误**; 根据开普勒第三定律有 $\frac{r_2^3}{T_2^2} = \frac{r_3^3}{T_3^2}$, 由题意可知 $r_2 < r_3$, 所以 $T_2 < T_3$, 即卫星在轨道 2 上运行的周期小于在轨道 3 上运行的周期, **故 A 错误**; 卫星从轨道 1 上 P 点进入轨道 2 需要加速, 因此卫星在轨道 1 上 P 点的速度小于在轨道 2 上 P 点的速度, **故 B 错误**; 根据牛顿第二定律有 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$, 解得 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, 由题意可知 $r_1 < r_3$, 所以 $v_{1P} > v_{3Q}$, 卫星从轨道 2 上 Q 点进入轨道 3 需要加速, 因此有 $v_{3Q} > v_{2Q}$, 所以 $v_{1P} > v_{3Q} > v_{2Q}$, 即卫星在轨道 1 上 P 点的速度大于在轨道 2 上 Q 点的速度, **故 C 正确**.

11. D 【解析】第一宇宙速度是地球人造卫星贴近地面做圆周运动的环绕速度, 是最大环绕速度, 故嫦娥三号在环地球圆轨道上的运行速度小于第一宇宙速度 7.9 km/s, **故 A 错误**; 地球的第二宇宙速度大小为 11.2 km/s, 发射速度达到此值时, 卫星将脱离地球的束缚, 绕太阳运动, 故嫦娥三号的发射速度不可能大于 11.2 km/s, **故 B 错误**; 根据牛顿第二定律, 有 $G \frac{Mm}{r^2} = ma$, 则 $a = \frac{GM}{r^2}$, 由此可知 $a_1 = a_2$, **故 C 错误**; 嫦娥三号从椭圆轨道 b 进入圆轨道 a 时, 做近心运动, 必须在 N 点减速, **故 D 正确**.



能力上分

1. B 【解析】过 A 点构建一个以月球球心为圆心的半径为 r_A 的圆轨道, 嫦娥六号在该圆轨道上运动的速度大小设为 v'_A , 从椭圆轨道需要减速做近心运动进入圆轨道, 故 $v'_A < v_A$, 在圆轨道 A 点的加速度大小 $a'_A = G \frac{M}{r_A^2} = \frac{v_A'^2}{r_A}$, 在椭圆轨道 A 点的加速度大小 $a_A = G \frac{M}{r_A^2} = a'_A < \frac{v_A^2}{r_A}$, **故 A、C 错误**; 过 B 点构建一个以月球球心为圆心的半径为 r_B 的圆轨道, 嫦娥六号在该圆轨道上运动的速度大小设为 v'_B , 从椭圆轨道需要加速做离心运动进入该圆轨道, 故 $v'_B >$

→ 通法攻略 22 卫星变轨问题

v_B , 则在圆轨道 B 点的加速度大小 $a'_B = G \frac{M}{r_B^2} = \frac{v_B'^2}{r_B}$, 则在椭圆轨道

B 点的加速度大小 $a_B = G \frac{M}{r_B^2} = a'_B > \frac{v_B^2}{r_B}$, **故 B 正确, D 错误**.

关键点拨

过近月点、远月点分别构建一个圆轨道, 巧妙利用卫星变轨的结论解题.

2. BC 【解析】物体 P 随太空电梯做圆周运动,角速度与地球自转角速度、同步卫星的角速度相同,对同步卫星,由万有引力提供向心力,即 $G \frac{Mm}{r^2} = m\omega^2 r$,物体 P 的轨道半径小于同步卫星的轨道半径,所需向心力小于万有引力,故电梯箱对物体 P 的作用力方向背离地面,故 **A 错误**;根据上述分析可知,物体 Q 的轨道半径大于同步卫星的轨道半径,因此电梯箱对物体 Q 的作用力指向地面,故 **B 正确**;根据 $a_n = \omega^2 r$ 可知,由于物体 P 、 N 、 Q 的角速度相等,轨道半径 $r_P < r_N < r_Q$,则有 $a_P < a_N < a_Q$,故 **C 正确**,**D 错误**.

3. AB 【解析】第一宇宙速度是人造地球卫星的最小发射速度,发射神舟十七号的速度大于第一宇宙速度,故 **A 正确**;由开普勒第三定律知,神舟十七号进入 II 轨道后周期变长,故 **B 正确**;"M 卫星"若要与空间站对接,"M 卫星"应该由低轨道到高轨道,对接开始时需要点火加速,脱离原有轨道,此后做离心运动与空间站实现对接,若在同一轨道,"M 卫星"点火加速,轨道会变得更高,故 **C 错误**;根据牛顿第二定律有 $G \frac{Mm}{R^2} = ma$,可得 $a = G \frac{M}{R^2}$,在 III 轨道上的 c 点的加速度等于在 II 轨道上的 c 点的加速度,故 **D 错误**.

4. (1) $\frac{R^2 a}{Gm}$ **(2)** $\sqrt{\frac{Ra}{m}}$ **(3)** $\frac{mc}{b-a}$

【解析】(1) 当探测车速度为零时,重力大小等于对地面的压力大小,由图乙可知,此时压力为 a ,设月球表面的重力加速度为 g ,则有 $a = mg$. 忽略自转的影响,万有引力等于重力,有 $mg = G \frac{Mm}{R^2}$,联立可得 $M = \frac{R^2 a}{Gm}$.

(2) 月球卫星的最小发射速度 v_0 即月球近地卫星的环绕速度大小,在月球表面附近,由万有引力提供向心力,有 $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{v_0^2}{R}$,可得 $v_0 = \sqrt{\frac{Ra}{m}}$.

(3) 车对月球地面的压力 F_N 与月球地面对车的支持力等大反向,故探测车在陨石坑最低点处,有 $F_N - mg = \frac{mv^2}{r}$,即 $F_N = \frac{m}{r} v^2 + mg$. 由图乙知 $\frac{m}{r} = \frac{b-a}{c}$,可得 $r = \frac{mc}{b-a}$.

专题上分 6 卫星的追及相遇问题

1. B 【解析】经分析可知两卫星再次相距最近时满足 $\frac{2\pi t}{T_B} - \frac{2\pi t}{T} = 2\pi$,解得 $T_B = \frac{Tt}{t+T}$,故 **B 正确**.

大招攻略 23 卫星追及相遇

2. AD 【解析】根据万有引力提供向心力有 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$,可得 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$,设火星公转轨道半径为 $r_{\text{火}}$,地球公转轨道半径为 $r_{\text{地}}$,已

知 $\frac{r_{\text{火}}}{r_{\text{地}}} = \frac{3}{2}$, 则火星与地球绕太阳公转的线速度大小之比 $\frac{v_{\text{火}}}{v_{\text{地}}} =$

$\sqrt{\frac{r_{\text{地}}}{r_{\text{火}}}} = \sqrt{\frac{2}{3}} = \frac{\sqrt{6}}{3}$, 故 A 正确; 由开普勒第三定律 $\frac{r^3}{T^2} = k$ (k 为常

量) 可得 $\frac{T_{\text{火}}^2}{T_{\text{地}}^2} = \frac{r_{\text{火}}^3}{r_{\text{地}}^3}$, 那么火星与地球绕太阳公转的周期之比 $\frac{T_{\text{火}}}{T_{\text{地}}} =$

$\sqrt{\frac{r_{\text{火}}^3}{r_{\text{地}}^3}} = \sqrt{\left(\frac{3}{2}\right)^3} = \frac{3\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} \neq \frac{3}{2}$, 故 B 错误; 地球公转周期为 $T_{\text{地}} =$

1 年, 根据 $\frac{T_{\text{火}}^2}{T_{\text{地}}^2} = \frac{r_{\text{火}}^3}{r_{\text{地}}^3}$, 可得 $T_{\text{火}} = \sqrt{\left(\frac{3}{2}\right)^3} T_{\text{地}} \approx 1.84$ 年, 设经过时间

t 再次出现“火星冲日”, 则 $(\omega_{\text{地}} - \omega_{\text{火}})t = 2\pi$, 又 $\omega = \frac{2\pi}{T}$, 代入可得

$\left(\frac{2\pi}{T_{\text{地}}} - \frac{2\pi}{T_{\text{火}}}\right)t = 2\pi$, 解得 $t = \frac{T_{\text{地}} T_{\text{火}}}{T_{\text{火}} - T_{\text{地}}} = \frac{1 \times 1.84}{1.84 - 1}$ 年 ≈ 2.19 年 > 1 年, 所

大招攻略 23 卫星追及相遇

以下一次“火星冲日”将出现在 2026 年 1 月 16 日之后, 故 C 错误, D 正确.

3. D 【解析】设 M 绕 Q 公转的周期为 T , 由图 (b) 可知 $\Delta t =$

$\frac{11T_0}{7} - \frac{3T_0}{7} = \frac{8T_0}{7}$, 又 $\Delta t = \frac{2\pi}{\frac{2\pi}{T_0} - \frac{2\pi}{T}}$, 解得 $T = 8T_0$, 设行星 M 、 N 绕 Q

公转轨道的半径分别为 r_M 、 r_N , 根据开普勒第三定律可得 $\frac{r_M^3}{T^2} =$

$\frac{r_N^3}{T_0^2}$, 解得 $\frac{r_M}{r_N} = \sqrt[3]{\frac{T^2}{T_0^2}} = \frac{4}{1}$, 则两行星 M 、 N 运动过程中相距最近时

的距离与相距最远时的距离之比为 $\frac{r_M - r_N}{r_M + r_N} = \frac{3}{5}$, 故 D 正确.

4. (1) $4\pi\sqrt{\frac{2R}{g}}$ (2) $\frac{2\pi}{\sqrt{\frac{g}{8R}} - \omega_0}$

【解析】(1) 对卫星 B 有 $G \frac{Mm}{(R+h)^2} = m \frac{4\pi^2}{T_B^2} (R+h)$, 又 $G \frac{Mm'}{R^2} =$

$m'g$, 联立解得 $T_B = 4\pi\sqrt{\frac{2R}{g}}$.

(2) 由题意得 $(\omega_B - \omega_0)t = 2\pi$, 即 $\left(\frac{2\pi}{T_B} - \omega_0\right)t = 2\pi$, 解得 $t =$

$\frac{2\pi}{\sqrt{\frac{g}{8R}} - \omega_0}$.

专题上分 7 双星、多星问题 黑洞

1. B 【解析】设星球 A 和星球 B 的运动半径分别为 r_{OA} 和 r_{OB} , 星球 A 、 B 间的距离为 L , 则有 $r_{OA} + r_{OB} = L$, 对于星球 A 有

$G \frac{m_A m_B}{L^2} = m_A \omega^2 r_{OA}$, 解得 $m_B = \frac{\omega^2 r_{OA} L^2}{G}$, 对于星球 B 分析同理可

得 $m_A = \frac{\omega^2 r_{OB} L^2}{G}$, 由于 $r_{OB} > r_{OA}$, 所以星球 A 的质量大于星球 B 的

质量, 故 A 正确; 两星球的向心力都是由两星球间的万有引力提

供, 大小都为 $F = G \frac{m_A m_B}{L^2}$, 故 B 错误; 两星球角速度相等, 根据角

速度和线速度的关系可知 $v_A = \omega r_{OA}$, $v_B = \omega r_{OB}$, 且 $r_{OA} < r_{OB}$, 则星球 A 的线速度小于 B 的线速度, **故 C 正确**; 根据题意可知 $G \frac{m_A m_B}{L^2} = m_A \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r_{OA}$, $G \frac{m_A m_B}{L^2} = m_B \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r_{OB}$, 解得 $T = 2\pi \sqrt{\frac{L^3}{G(m_A + m_B)}}$, 所以当双星的总质量一定时, 双星之间的距离越大, 其转动周期越大, **故 D 正确**.

2. AD 【解析】假设在演化开始时, “吸血鬼恒星”的质量为 m_1 , 伴星的质量为 m_2 , 两者中心之间的距离为 L , 根据双星运动的特点, 对于“吸血鬼恒星”有 $G \frac{m_1 m_2}{L^2} = m_1 \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r_1$, 同理对于伴星有 $G \frac{m_1 m_2}{L^2} = m_2 \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r_2$, 又有 $r_1 + r_2 = L$, 联立解得 $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 L^3}{G(m_1 + m_2)}}$, 由题意知两恒星的总质量不变, L 也不变, 则周期不变, **故 A 正确**; 由 A 中分析, 联立可解得 $r_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} L$, $r_2 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} L$, 根据题意可知, m_1 增大、 m_2 减小, 故 r_1 减小、 r_2 增大, 根据 $v = \frac{2\pi r}{T}$, 则“吸血鬼恒星”的线速度减小, 伴星的线速度增大, **故 C 错误, D 正确**; 根据万有引力公式可知, 两恒星间的万有引力为 $F = G \frac{m_1 m_2}{L^2} = G \frac{m_1 (M - m_1)}{L^2}$, 其中 M 为两恒星的总质量, 可以判断出当 m_1 变化时, F 值是变化的, **故 B 错误**.

3. (1) $\frac{3\pi}{GT^2}$ (2) $2\pi \sqrt{\frac{L^3}{G(M+m)}}$

【解析】(1) 设月球的半径为 R , 探测器在靠近月球表面的圆形轨道无动力飞行, 则有 $G \frac{m_{\text{月}} m_{\text{探}}}{R^2} = m_{\text{探}} \frac{4\pi^2}{T^2} R$, 又 $\rho = \frac{m_{\text{月}}}{V} = \frac{m_{\text{月}}}{\frac{4}{3}\pi R^3}$, 解得 $\rho = \frac{3\pi}{GT^2}$.

(2) 设地球和月球运动的半径分别为 r_1 、 r_2 , 则有 $r_1 + r_2 = L$, 根据万有引力提供向心力, 有 $G \frac{Mm}{L^2} = M \frac{4\pi^2}{T_0^2} r_1$, $G \frac{Mm}{L^2} = m \frac{4\pi^2}{T_0^2} r_2$, 联立解得 $T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{L^3}{G(M+m)}}$.

4. BD



思路分析 多星问题的关键在于稳定运行时星体间的距离不变, 若万有引力不为零, 那么星体所受的万有引力的合力提供其做匀速圆周运动的向心力, 且星体做圆周运动的角速度相同(个别星体可能所受的万有引力的合力为零, 如三星系统中的某一个星体静止).

【解析】题图 1 中两天体的向心力由万有引力提供, 大小相等、方向相反, **故 A 错误**; 题图 1 中, 根据万有引力提供向心力可知

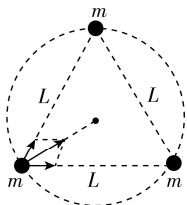
$G \frac{m \cdot m}{(2R)^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} R$, 解得 $T = 4\pi \sqrt{\frac{R^3}{Gm}}$, **故 B 正确**; 题图 2 中, 每颗

天体运行所需向心力都由其余两颗天体对其万有引力的合力提供,如图所示,有 $G \frac{m^2}{L^2} \times 2 \times \cos 30^\circ = F_n$, $L = 2R \cos 30^\circ$, 联立解得

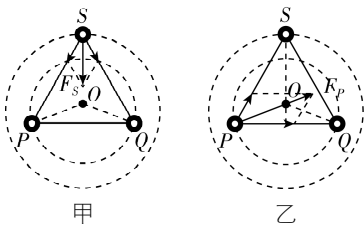
$F_n = \frac{\sqrt{3} G m^2}{3 R^2}$, 故 C 错误; 题图 1 中根据 $G \frac{m \cdot m}{(2R)^2} = m \frac{v_1^2}{R}$, 解得 $v_1 =$

$\sqrt{\frac{Gm}{4R}}$, 题图 2 中根据 $G \frac{m^2}{L^2} \times 2 \times \cos 30^\circ = m \frac{v_2^2}{R}$, $L = 2R \cos 30^\circ$, 解得

$v_2 = \sqrt{\frac{\sqrt{3} G m}{3 R}}$, 则 $\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sqrt{\frac{Gm}{4R}}}{\sqrt{\frac{\sqrt{3} G m}{3 R}}} = \frac{\sqrt{3}}{2}$, 故 D 正确.



- 5. BD** 【解析】三星系统中三颗星体都绕同一圆心 O 做匀速圆周运动, 它们转动的角速度相同, 由线速度与角速度的关系公式 $v = \omega r$, 可知星体的线速度 $v_P = v_Q < v_S$, 故 A 错误; 根据 $a = r\omega^2$, 可知 P 、 Q 、 S 三颗星体中 S 星的加速度最大, 故 C 错误; 三颗星体都绕同一圆心 O 做匀速圆周运动, 每个星体受到另外两个星体的万有引力的合力需指向 O 点, 因此可得星体 S 、 P 受力如图甲、乙所示, 可知 S 、 P 间的万有引力大小等于 S 、 Q 间的万有引力大小, S 、 P 间的万有引力小于 Q 、 P 间的万有引力, 两图中的两分力的夹角相等, 都为 60° , 因此 $F_S < F_P = F_Q$, 根据 $F = \frac{GMm}{r^2}$, 可知 $m_S < m_P = m_Q$, 故 B、D 正确.



- 6. A** 【解析】 a 、 b 、 c 三个天体角速度相同, 由于 $m \ll M$, 则对 a 天体有 $\frac{GMm}{(2r)^2} = M\omega^2 r$, 解得 $\omega = \sqrt{\frac{GM}{4r^3}}$, 故 D 错误; 设 c 与 a 、 b 的连线与 a 、 b 连线中垂线的夹角为 α , 对 c 天体有 $2 \frac{GMm}{\left(\frac{r}{\sin \alpha}\right)^2} \cos \alpha = m\omega^2 \frac{r}{\tan \alpha}$, 解得 $\alpha = 30^\circ$, c 的轨道半径为 $r_c = \frac{r}{\tan 30^\circ} = \sqrt{3}r$, 由 $v = \omega r$ 可知 c 的线速度大小为 a 的 $\sqrt{3}$ 倍, 故 A 正确; 由 $a = \omega^2 r$ 可知 c 的向心加速度大小是 b 的 $\sqrt{3}$ 倍, 故 B 错误; c 在一个周期内运动的路程为 $s = 2\pi r_c = 2\sqrt{3}\pi r$, 故 C 错误.

易错警示 题设条件中明确给出 c 天体的质量 m 远小于 a 、 b 天体的质量 M , 言外之意就是对 a 、 b 天体的分析可以不考虑 c 天体对 a 、 b 天体的万有引力作用, 但对 c 天体分析时, 其向心力来自 a 、 b 天体对 c 天体的万有引力的合力。

- 7. C** 【解析】被“压缩”后的电动摩托车成为球形黑洞, 设此黑洞的第一宇宙速度为 v_1 , 根据万有引力定律有 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v_1^2}{r}$, 第一宇宙速度与光速关系为 $c = \sqrt{2} v_1$, 电动摩托车的质量约 80 kg, 代入数据解得 $r = \frac{2GM}{c^2} \approx 10^{-25}$ m, 故 A、B、D 错误, C 正确。

8. 3×10^3 m

【解析】由第一宇宙速度意义可知 $G \frac{Mm}{R^2} = \frac{mv_1^2}{R}$, 解得第一宇宙速度为 $v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}}$, 又 $M = V\rho = \frac{4}{3}\pi R^3\rho$, 由题意可知 $v_2 = \sqrt{2} v_1$, 且对于黑洞有 $v_2 = c$, 联立可得 $R \approx 3 \times 10^3$ m。

第 5 节 相对论时空观与牛顿力学的局限性



对点上分

- 1. A** 【解析】狭义相对论的两个基本假设是爱因斯坦相对性原理和光速不变原理, 故 A 正确, B、C、D 错误。
- 2. A** 【解析】飞船上的人是以飞船为参考系, 故地球是高速运动的, 根据爱因斯坦狭义相对论的延缓效应, 飞船上的人观测到地球上的钟较慢, 飞船上的钟较快, 故 A 正确, B、C 错误; 地球上的人以地球为参考系, 认为飞船高速运动, 根据爱因斯坦狭义相对论的延缓效应, 地球上的人观测到飞船上的钟较慢, 地球上的钟较快, 故 D 错误。

知识拓展 时间延缓效应是在两个不同惯性系中进行时间比较的一种效应, 不是时钟的结构、精度或因运动而发生了改变, 而是在不同参考系中对时间的观测效应。

- 3. C** 【解析】根据时间延缓效应公式 $\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$ 可知, 相对于

观察者的速度 v 越大, 其上的时间进程越慢, a 放在地面上, 在地面上的人看来, a 钟没有变化; b 、 c 两钟放在两个火箭上, 根据爱因斯坦相对论可知, b 、 c 变慢, 由于 $v_b < v_c$, c 钟比 b 钟更慢, 所以 a 钟最快, c 钟最慢, 故 C 正确。

- 4. C** 【解析】由相对论长度收缩效应可知运动方向上的边长变短, 垂直运动方向的边长不变, 故 C 正确。

- 5. A** 【解析】根据长度收缩效应公式 $l = l_0 \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$, 可知火车运动的速度 v 越大, 所测长木棒的长度越小, 故 A 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 $l =$

$$l_0 \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}.$$

(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的长度不变.

6. BD 【解析】物理学的发展,使人们认识到经典力学有它的适用范围,以牛顿运动定律为基础的经典力学适用于处理宏观、低速物体的运动,具有相当高的正确性,在生产、生活以及科技中有着广泛的应用,有其存在的价值,故 A 错误, B、D 正确;虽然相对论和量子力学更加深入、科学地认识自然规律,它们是科学的进步,但并不是对经典力学的否定,故 C 错误.

素养上分

1. B 【解析】对该星球,有 $\frac{GMm}{r^2} = m \frac{\left(\frac{c}{\sqrt{2}}\right)^2}{r}$, 且由黄金代换公式,有

$$GM = gR^2, \text{联立得史瓦西半径 } r = \frac{2gR^2}{c^2} \approx 9 \times 10^{-3} \text{ m, 即 } 9 \text{ mm, 故 B}$$

正确.

2. CD 【解析】地球、月球以及任一位于拉格朗日点的卫星都具有相同的运行周期,故 A 错误;根据题意可知,监测卫星的运动轨道半径大于月球的运动轨道半径,根据 $v = \frac{2\pi r}{T}$ 可知,监测卫星的

线速度大于月球的线速度,根据 $a = \frac{4\pi^2}{T^2} r$ 可知,监测卫星的加速

度大于月球的加速度,故 B 错误, C 正确;设地球质量为 M ,地球

球心到 A 点的距离为 r_1 . 月球质量为 m ,月球球心到 A 点的距离

为 r_2 , 根据相互间万有引力提供向心力得 $G \frac{Mm}{(r_1 + r_2)^2} =$

$$M\omega^2 r_1 = m\omega^2 r_2, \text{又 } M = 81m, \text{可得 } \frac{r_1}{r_2} = \frac{1}{81}, \text{故 D 正确.}$$

3. A 【解析】设赤道卫星和极地卫星距离地球表面的距离分别为

h_1 和 h_2 , 则根据万有引力提供向心力可得 $G \frac{Mm_1}{(R + h_1)^2} =$

$$m_1 \frac{4\pi^2}{(1.5T)^2} (R + h_1), G \frac{Mm_2}{(R + h_2)^2} = m_2 \frac{4\pi^2}{T^2} (R + h_2), G \frac{Mm}{R^2} = mg, \text{联}$$

立可得 $h_1 + R = \sqrt[3]{2.25} (h_2 + R), gR^2 = \frac{4\pi^2}{T^2} (R + h_2)^3$, 若 $h_1 - h_2 = \Delta h$

已知,三个方程有三个未知量 h_1 、 h_2 和 R ,则可求解地球半径 R ;

但通过前两个方程不能求解 $h_1 - h_2$,也不能求解 $\frac{h_1}{h_2}$,故 A 正确,

B、D 错误;经过 $6T$ 两卫星都回到原来的位置,但是由于地球自转的周期未知,则不能确定是否到 N 点正上方,故 C 错误.

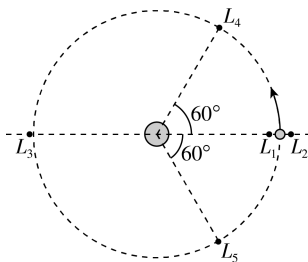
4. B 【解析】地球对月球的引力提供月球做圆周运动的向心力,则有 $G \frac{Mm_{\text{月}}}{r^2} = m_{\text{月}} \frac{4\pi^2}{T^2} r$, 可得地球的质量 $M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$, 地球的

密度 $\rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3\pi r^3}{GT^2 R^3}$, 故 A 错误; 对该卫星由牛顿第二定律有

$$G \frac{Mm}{(r+s)^2} + F_{\text{月星}} = m \frac{4\pi^2}{T^2} (r+s), \text{ 其中 } G \frac{Mm_0}{R^2} = m_0 g, \text{ 解得月球对该卫}$$

星的引力 $F_{\text{月星}} = \frac{4\pi^2 m}{T^2} (r+s) - \frac{mgR^2}{(r+s)^2}$, 故 B 正确; 在拉格朗日点的卫星与月球转动的角速度相等, 则根据 $a = \omega^2 r'$ 可知, 在拉格朗日点的卫星的向心加速度比月球的向心加速度大, 故 C 错误; 在拉格朗日点的卫星绕地球做圆周运动, 则不是处于平衡状态, 故 D 错误.

知识拓展 拉格朗日点: 一个小物体受两个大物体的引力作用, 处在空间中某一点时, 小物体相对于两大物体基本保持静止, 该点称为拉格朗日点, 有五个特解.



5. C 【解析】由图像可知 P 、 Q 的周期 $T_P = t_1$, $T_Q = 2t_2$, 可知 P 、 Q 绕行星公转的周期之比为 $T_P : T_Q = 1 : 2\sqrt{2}$, 故 A 错误; 设卫星 P 、 Q 的质量分别为 m_1 和 m_2 , 卫星 P 到行星最近距离为 r_1 , 到行星最远距离为 r_2 , 卫星 Q 到行星最近距离为 r'_1 , 到行星最远距离为 r'_2 , 由图可得 $8F = \frac{GMm_1}{r_1^2}$, $2F = \frac{GMm_1}{r_2^2}$, $9F = \frac{GMm_2}{r_1'^2}$, $F = \frac{GMm_2}{r_2'^2}$, 根据开

$$普勒第三定律有 \frac{\left(\frac{r_1+r_2}{2}\right)^3}{T_P^2} = \frac{\left(\frac{r'_1+r'_2}{2}\right)^3}{T_Q^2}, \text{ 联立解得 } \frac{r_1}{r'_1} = \frac{2}{3}, \frac{m_1}{m_2} = \frac{32}{81},$$

故 B 错误, C 正确; 根据 $G \frac{Mm}{r^2} = ma$, $a = \frac{GM}{r^2}$, 可得 P 、 Q 在离行星最近位置处的加速度大小之比为 $\frac{a_P}{a_Q} = \frac{r_1'^2}{r_1^2} = \frac{9}{4}$, 故 D 错误.

全章上分

1. C 【解析】根据光速不变原理可知, 地面上的人看到的光速为 c , 火车上的人看到的光速也为 c , 故 A、B 正确; 地面上的人测得火车上某光源发出的闪光同时到达车厢的前壁、后壁, 说明在地面上的人看来, 闪光所走的路程是相等的, 设光源到后壁的距离为 L_1 , 到前壁的距离为 L_2 , 汽车行驶时间为 t , 以地面为参考系, 则有 $L_1 = ct + vt$, $L_2 = ct - vt$, 可得 $L_1 > L_2$, 可知光源在火车中间偏向前的位

置,故 C 错误,D 正确.

2. B 【解析】设地球的质量为 M , 月球的质量为 m , 飞行器的质量为 m' , 飞行器距地心的距离为 r_1 , 距月心的距离为 r_2 , 由万有引力定律可得 $F_1 : F_2 = \frac{GMm'}{r_1^2} : \frac{Gmm'}{r_2^2} = \frac{GMm'}{r_1^2} : \frac{G \cdot \frac{1}{81}Mm'}{r_2^2} = 4 : 1$,

解得 $r_1 : r_2 = 9 : 2$, 故 B 正确.

3. A 【解析】设地球质量为 M , 半径为 R , 则地球表面的重力加速度大小 $g_1 = \frac{GM}{R^2}$, 地幔和地核交界处的重力加速度大小 $g_2 = \frac{\frac{8}{25}GM}{\left(\frac{11}{20}R\right)^2}$, 则有 $\frac{g_2}{g_1} \approx 1.06$, 故 A 正确.

4. D 【解析】设球体的密度为 ρ , 则没有挖去小球体前的质量为 $M = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi R^3$, 被挖去的小球体质量为 $M' = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi \left(\frac{R}{2}\right)^3 = \frac{1}{8}M$, 根据万有引力定律可得 $F_1 = \frac{GMm}{R^2} - \frac{GM'm}{\left(\frac{R}{2}\right)^2} = \frac{GMm}{2R^2}$, $F_3 = \frac{GMm}{R^2} - \frac{GM'm}{\left(\frac{3R}{2}\right)^2} = \frac{17GMm}{18R^2}$, 采用填补法, 可知剩余部分对位于 2 点处质点的万有引力大小等于挖掉的部分对位于 2 点处质点的万有引力大小, 即 $F_2 = \frac{GM'm}{\left(\frac{R}{2}\right)^2} = \frac{GMm}{2R^2}$, 则有 $F_1 = F_2 < F_3$, 故 D 正确.

5. C 【解析】 d 是静止在地球赤道表面上的物体, 其做圆周运动的向心力不等于重力, 所以其向心加速度不等于赤道处的重力加速度, 故 A 错误; a 是同步卫星, d 是静止在地球赤道表面上的一个物体, 则有 $\omega_a = \omega_d$, $T_a = T_d$, 卫星围绕地球做匀速圆周运动, 根据万有引力提供向心力有 $G \frac{Mm}{r^2} = m\omega^2 r$, 可得 $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$, 由于 a 的轨道半径大于 b 的轨道半径, b 的轨道半径大于 c 的轨道半径, 则有 $\omega_a = \omega_d < \omega_b < \omega_c$, 根据 $T = \frac{2\pi}{\omega}$ 可得 $T_a = T_d > T_b > T_c$, 故 B、D 错误; 卫星围绕地球做匀速圆周运动, 根据万有引力提供向心力有 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$, 可得 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, 且 a 的轨道半径大, 则 a 的线速度比 b 的线速度小, 且两者的轨道半径都大于地球半径, 所以两者线速度都小于第一宇宙速度, 故 C 正确.

6. B 【解析】鹊桥二号离开火箭时, 速度要大于第一宇宙速度小于第二宇宙速度, 才能进入环月轨道, 故 A 错误; 由开普勒第三定律 $\frac{a^3}{T^2} = k$, 鹊桥二号在捕获轨道上运行的周期大于在环月轨道上运行的周期, 故 B 正确; 在 P 点要由捕获轨道变轨到环月轨道, 做近心运动, 必须降低速度, 经过 P 点时, 需要点火减速, 故 C 错误; 根据万有引力提供向心力可知 $G \frac{Mm}{r^2} = ma$, 解得 $a = \frac{GM}{r^2}$, 则经过 A 点的加速度比经过 B 点时小, 故 D 错误.

7. AC 【解析】由开普勒第二定律可知地球在近日点运行速度最大,在远日点运行速度最小,冬至时地球在近日点附近,运行速度最大,故 A 正确;根据对称性可知,从冬至到夏至的运行时间为周期的一半,由开普勒第二定律可知从冬至到春分的运行速度大于春分到夏至的运行速度,故从冬至到春分的运行时间小于地球公转周期的 $\frac{1}{4}$,故 B 错误;地球和火星都是绕太阳运行的行星,由开普勒第一定律可知太阳既在地球公转轨道的焦点上,也在火星公转轨道的焦点上,故 C 正确;若用 a 代表椭圆轨道的半长轴, T 代表公转周期,由开普勒第三定律可知,比值 k 是对所有绕太阳运行的行星都相同的常量,地球和火星都是绕太阳运行的行星,则对应的 k 值相同,故 D 错误.

8. BD 【解析】设地球的质量为 M ,空间站绕地球做匀速圆周运动,由万有引力提供向心力有 $G \frac{Mm}{r^2} = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r$,解得地球的质量为 $M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$,故 A 错误;根据题意可知地球的体积为 $V = \frac{4}{3}\pi R^3$,所以地球的密度为 $\rho = \frac{M}{V} = \frac{\frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3\pi r^3}{GT^2 R^3}$,故 B 正确;根据向心加速度与周期的关系式可知,空间站运行的向心加速度大小为 $a = \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$,故 C 错误;根据线速度与周期的关系式可知,空间站运行的线速度大小为 $v = \frac{2\pi r}{T}$,故 D 正确.

9. BC 【解析】在月球表面 $G \frac{M_{\text{月}} m}{r_{\text{月}}^2} = mg_{\text{月}}$,解得 $g_{\text{月}} = G \frac{M_{\text{月}}}{r_{\text{月}}^2}$,同理可得 $g_{\text{火}} = G \frac{M_{\text{火}}}{r_{\text{火}}^2}$,所以 $\frac{g_{\text{月}}}{g_{\text{火}}} = \frac{M_{\text{月}}}{M_{\text{火}}} \times \frac{r_{\text{火}}^2}{r_{\text{月}}^2} = \frac{4}{9}$,故 A 错误;在月球表面,可以认为重力为其圆周运动提供向心力,故有 $mg_{\text{月}} = m \frac{v_{\text{月}}^2}{r_{\text{月}}}$,解得 $v_{\text{月}} = \sqrt{g_{\text{月}} r_{\text{月}}}$,同理可得 $v_{\text{火}} = \sqrt{g_{\text{火}} r_{\text{火}}}$,所以 $\frac{v_{\text{月}}}{v_{\text{火}}} = \sqrt{\frac{g_{\text{月}} r_{\text{月}}}{g_{\text{火}} r_{\text{火}}}} = \frac{\sqrt{2}}{3}$,故 B 正确;根据周期公式 $T = \frac{2\pi r}{v}$ 可知 $\frac{T_{\text{月}}}{T_{\text{火}}} = \frac{2\pi r_{\text{月}}}{v_{\text{月}}} \times \frac{v_{\text{火}}}{2\pi r_{\text{火}}} = \frac{3}{\sqrt{2}} \times \frac{1}{2} = \frac{3\sqrt{2}}{4}$,故 C 正确;开普勒第三定律是对于同一中心天体而言,嫦娥五号与天问一号做圆周运动的中心天体不同,故 D 错误.

10. AC 【解析】因为 S_1 、 S_2 做圆周运动的向心力均由二者之间的万有引力提供,所以向心力大小相等,又因为两天体绕 O 点做匀速圆周运动的周期相同,所以角速度相同,根据向心力公式有 $m_1 \omega^2 r_1 = m_2 \omega^2 r_2$,可得 $m_1 : m_2 = r_2 : r_1 = 2 : 1$,故 B、D 错误;根据 $v = \omega r$,可得 S_1 、 S_2 做圆周运动的线速度大小之比为 $v_1 : v_2 = r_1 : r_2 = 1 : 2$,故 C 正确;根据牛顿第二定律有 $G \frac{m_1 m_2}{L^2} = m_1 \frac{4\pi^2}{T^2} r_1 = m_2 \frac{4\pi^2}{T^2} r_2$,两天体之间的距离为 $L = r_1 + r_2$,联立解得两天体的质量之和为 $m_1 + m_2 = \frac{4\pi^2 L^3}{GT^2}$,故 A 正确.

11. (1) $\frac{F(2r+L)^2}{m^2}$ (2) B (3) ① 8.0 ② $\frac{gR^2}{G}$

【解析】(1) 根据万有引力计算公式 $F = G \frac{m \cdot m}{(2r+L)^2}$, 可得

$$G = \frac{F(2r+L)^2}{m^2}.$$

(2) “卡文迪什扭秤实验”中测量微小量的方法为放大法, 探究力的合成规律的实验中, 运用的科学思想方法为等效替代法, **故 A 错误**; 通过平面镜观察桌面的微小形变, 采用放大法, **故 B 正确**; 探究加速度与力、质量的关系采用控制变量法, **故 C 错误**; 探究小车速度随时间变化的规律中采用归纳法, **故 D 错误**.

(3) ① 由图 3 可知, 小球做平抛运动, 在竖直方向上有 $\Delta y = gT^2$, 代入数据解得 $g = 8.0 \text{ m/s}^2$.

② 根据万有引力与重力的关系 $G \frac{Mm}{R^2} = mg$, 可得 $M = \frac{gR^2}{G}$.

12. (1) 15 m/s^2 (2) $3.0 \times 10^4 \text{ m/s}$ (3) $8.1 \times 10^{26} \text{ kg}$

【解析】(1) 物块上滑过程中, 根据牛顿第二定律, 在沿斜面方向上有 $\mu mg \cos \theta + mg \sin \theta = ma_1$, 又根据 $v-t$ 图像的斜率表示加速度, 则上滑过程中物块的加速度大小为 $a_1 = \frac{6-0}{0.6} \text{ m/s}^2 = 10 \text{ m/s}^2$, 解得 $g = 15 \text{ m/s}^2$.

(2) 由万有引力提供向心力得 $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{v^2}{R}$, 在星球表面, 根据万有引力等于重力有 $G \frac{Mm}{R^2} = mg$, 解得该星球的第一宇宙速度为

$$v = \sqrt{gR} = \sqrt{15 \times 6 \times 10^4 \times 10^3} \text{ m/s} = 3.0 \times 10^4 \text{ m/s}.$$

(3) 在星球表面有 $\frac{GMm}{R^2} = mg$, 解得该星球的质量为 $M = \frac{gR^2}{G} = \frac{15 \times (6 \times 10^4 \times 10^3)^2}{6.67 \times 10^{-11}} \text{ kg} \approx 8.1 \times 10^{26} \text{ kg}$.

13. (1) 减速 减速 (2) $\sqrt{\frac{g_0 R}{5}}$ (3) $6\pi \sqrt{\frac{3R}{g_0}}$

【解析】(1) 根据变轨原理, 飞船在轨道 I 的 A 点减速, 做近心运动进入椭圆轨道 II, 飞船在轨道 II 的近月点 B 减速, 做近心运动进入近月轨道 III.

(2) 根据万有引力与重力的关系 $G \frac{Mm}{R^2} = mg_0$, 又有万有引力提供向心力 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$, 且 $r = 5R$, 解得飞船在轨道 I 上的运行速率为 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}} = \sqrt{\frac{g_0 R}{5}}$.

(3) 根据万有引力提供向心力 $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} R$, 解得飞船在轨道 III 上绕月运行一周所需的时间为 $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{R^3}{GM}} = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g_0}}$, 根

据开普勒第三定律 $\frac{R^3}{T^2} = \frac{\left(\frac{r+R}{2}\right)^3}{T_1^2}$, 飞船在轨道 II 上绕月运行一周所需的时间为 $T_1 = 6\pi \sqrt{\frac{3R}{g_0}}$.

14. (1) $\frac{vTm_1}{2\pi m_2}$ (2) $\frac{m_2^3}{(m_1+m_2)^2} = \frac{v^3 T}{2\pi G}$ (3) 暗星 B 有可能是黑洞

【解析】(1) 设 A、B 的轨道半径分别为 r_1 、 r ，根据牛顿第二定律有 $F = m_1 r_1 \omega^2 = m_2 r \omega^2$ ，A 的速率满足 $v = \frac{2\pi r_1}{T}$ ，解得 $r = \frac{vTm_1}{2\pi m_2}$ 。

(2) 对可见星 A 有 $G \frac{m_1 m_2}{L^2} = m_1 \frac{v^2}{r_1}$ ，其中 $v = \frac{2\pi r_1}{T}$ ， $L = r_1 + r$ ，结合

(1) 中分析，解得 $\frac{m_2^3}{(m_1+m_2)^2} = \frac{v^3 T}{2\pi G}$ 。

(3) 设 $m_2 = nm_s$ ($n > 0$)，并根据已知条件 $m_1 = 6m_s$ ，及相关数据

代入(2)中 $\frac{m_2^3}{(m_1+m_2)^2} = \frac{v^3 T}{2\pi G}$ ，可得 $\frac{n^3}{(n+6)^2} \approx 3.5$ ，由数学知识

知 $f(n) = \frac{n^3}{(n+6)^2}$ ，在 $n > 0$ 时为增函数，当 $n = 2$ 时，有 $f(2) =$

$\frac{1}{8} < 3.5$ ，为使 $f(n) = 3.5$ 成立，则 $n > 2$ ，即 $m_2 > 2m_s$ ，可以判

断暗星 B 可能是黑洞。

真题上分

1. C 【解析】“天都一号”在环月椭圆轨道上运行时与月球的距离

不断发生变化，根据 $F = G \frac{Mm}{r^2}$ 可知受月球的引力大小发生变化，

离月球越近，其所受月球的引力越大，故 A、D 错误；根据开普勒第二定律可知，“天都一号”在环月椭圆轨道上运行时，相对月球的速度大小改变，在近月点速度最大，在远月点速度最小，即离月球越近，相对月球的速度越大，故 B 错误，C 正确。

2. A 【解析】轨道器绕火星做匀速圆周运动，万有引力提供向心

力，可得 $\frac{GMm}{R^2} = m \frac{v^2}{R} = m\omega^2 R = m \frac{4\pi^2 R}{T^2} = ma$ ，题中已知的物理量有

轨道半径 R 、轨道周期 T 、引力常量 G ，可推算出火星的质量，故 A 正确；若想推算火星的体积和逃逸速度，则还需要知道火星的半径 r ，故 B、C 错误；根据上述分析可知，不能通过所提供物理量推算出火星的自转周期，故 D 错误。

3. D 【解析】地球绕太阳公转的周期 $T = 1$ 年，轨道半径为 r ，则小

行星轨道的半长轴 $a = \frac{5r+7r}{2} = 6r$ ，根据开普勒第三定律有 $\frac{T_1^2}{T^2} =$

$\frac{a^3}{r^3}$ ，解得 $T_1 = \sqrt{\frac{a^3}{r^3}} T = \sqrt{6^3} T = 6\sqrt{6}$ 年，故 A 错误；小行星从远日

点到近日点离太阳距离越来越小，所受太阳引力越来越大，故 B 错误；小行星从远日点到近日点，万有引力做正功，速度增大，故

C 错误；由 $F = \frac{GMm}{r^2} = ma$ 得 $a = \frac{GM}{r^2}$ ，则小行星在近日点加速度与

地球公转加速度之比为 $\frac{a_{\text{近}}}{a_{\text{地}}} = \frac{r^2}{(5r)^2} = \frac{1}{25}$ ，故 D 正确。

4. C 【解析】地球公转周期为一年，根据开普勒第三定律有 $3^3 <$

$\left(\frac{R_{\text{小}}}{R_{\text{地}}}\right)^3 = \left(\frac{T_{\text{小}}}{T_{\text{地}}}\right)^2 = 33.64 < 4^3$ ，所以小行星轨道半径介于 3 AU 和

4 AU 之间，由题图表可知小行星的公转轨道应介于火星与木星的公转轨道之间，故 C 正确。

5. C 【解析】星体做匀速圆周运动,由牛顿第二定律得 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$, 解得 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, 可知彗星在近日点处圆轨道上的速度大于地球绕太阳的公转速度, 彗星在圆轨道上近日点加速到达椭圆轨道, 因此彗星在近日点的速度大于地球绕太阳的公转速度, **故 A 错误**; 由开普勒第二定律知, 从 b 运行到 c 的过程中彗星速度一直减小, 故动能一直减小, **故 B 错误**; 根据开普勒第二定律可知, 彗星与太阳的连线经过相同的时间扫过的面积相同, 根据 $S_1 > S_2$ 可知, 彗星从 a 运行到 b 的时间大于从 c 运行到 d 的时间, **故 C 正确**; 由牛顿第二定律得 $G \frac{Mm}{r^2} = ma$, 解得 $a = \frac{GM}{r^2}$, 则彗星在近日点的加速度 a_1 与地球的加速度 a_2 比值为 $\frac{a_1}{a_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} = \frac{1}{0.36}$, **故 D 错误**.

6. D 【解析】根据开普勒第二定律可知小行星甲在远日点的速度小于近日点的速度, **故 A 错误**; 根据牛顿第二定律有 $\frac{GMm}{r^2} = ma$, 可得 $a = \frac{GM}{r^2}$, 所以小行星乙在远日点的加速度等于地球公转加速度, **故 B 错误**; 根据开普勒第三定律有 $\frac{\left(\frac{R_1+R}{2}\right)^3}{T_1^2} = \frac{\left(\frac{R_2+R}{2}\right)^3}{T_2^2}$, 小行星甲与乙的运行周期之比 $\frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{(R_1+R)^3}{(R_2+R)^3}}$, 甲、乙两星从远日点到近日点的时间之比 $\frac{t_1}{t_2} = \frac{\frac{1}{2}T_1}{\frac{1}{2}T_2} = \sqrt{\frac{(R_1+R)^3}{(R_2+R)^3}}$, **故 C 错误, D 正确**.

一题多解 小行星甲在同一轨道运行时机械能守恒, 由于远日点的引力势能大, 所以远日点的动能小, 小行星甲在远日点的速度小于近日点的速度, **故 A 错误**.

7. B 【解析】设行星质量为 m , 轨道半径为 r_1 , 周期为 T_1 , 红矮星质量为 M_1 , 由万有引力提供向心力有 $\frac{GM_1 m}{r_1^2} = m \left(\frac{2\pi}{T_1} \right)^2 r_1$, 可得 $M_1 = \frac{4\pi^2 r_1^3}{GT_1^2}$, 同理可得太阳质量 $M_2 = \frac{4\pi^2 r_2^3}{GT_2^2}$, $\frac{M_1}{M_2} = \frac{r_1^3}{r_2^3} \cdot \frac{T_2^2}{T_1^2} = \frac{(0.07)^3}{(0.06)^2} \approx 0.1$, **故 B 正确**.

8. A 【解析】由题意可知, $r_{\text{甲}} < r_{\text{乙}}$, 根据万有引力提供向心力, 可得 $\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r = ma$, 则 $T_{\text{甲}} < T_{\text{乙}}$, $v_{\text{甲}} > v_{\text{乙}}$, $\omega_{\text{甲}} > \omega_{\text{乙}}$, $a_{\text{甲}} > a_{\text{乙}}$, **故 A 正确**.

技巧必备 对于多个行星绕同一中心天体做圆周运动时, 可以直接用“高轨低速大周期”口诀进行快解.

9. A 【解析】行星绕恒星做匀速圆周运动, 恒星对行星的万有引力提供其做圆周运动的向心力, 则 $G \frac{M_{\text{恒}} m_{\text{行}}}{r_{\text{行}}^2} = m_{\text{行}} \frac{4\pi^2}{T_{\text{行}}^2} r_{\text{行}}$, $T_{\text{行}} =$

$$\sqrt{\frac{4\pi^2 r_{\text{行}}^3}{GM_{\text{恒}}}}, \text{ 则 } \frac{T_{\text{行}}}{T_{\text{地}}} = \sqrt{\frac{r_{\text{行}}^3 M_{\text{日}}}{r_{\text{地}}^3 M_{\text{恒}}}} = \sqrt{\frac{1}{14^3} \times \frac{7}{2}} = \frac{1}{28}, T_{\text{行}} = \frac{1}{28} T_{\text{地}} \approx 13 \text{ 天},$$

故 A 正确.

10. A 【解析】设卫星质量为 m , 卫星在同步轨道运行时, 根据牛顿

第二定律有 $G \frac{Mm}{(R+h)^2} = m \frac{4\pi^2}{T_0^2} (R+h)$, 得 $M = \frac{4\pi^2 (R+h)^3}{GT_0^2}$, 卫星在

小行星表面附近绕其做匀速圆周运动时有 $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{4\pi^2}{T_1^2} R$, 得

$$M = \frac{4\pi^2 R^3}{GT_1^2}, \text{ 联立可得 } R = \frac{T_1^{\frac{2}{3}}}{T_0^{\frac{2}{3}} - T_1^{\frac{2}{3}}} h, \text{ 所以 } a = T_1, b = T_0, c = T_1, \text{ 故 A}$$

正确.

11. A 【解析】由题意可知, 相邻两次信号最强的时间间隔为 $t = \frac{T}{2}$,

点拨: 卫星经过赤道上观测站正上方时观测

站接收到的信号最强, 相邻两次信号最强对应卫星比地球自转多转动一圈

$$\text{由 } \frac{t}{T_{\text{卫}}} - \frac{t}{T} = 1, \text{ 可得 } T_{\text{卫}} = \frac{T}{3}, \text{ 由 } G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T_{\text{卫}}^2} r \text{ 得 } r = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{36\pi^2}}, \text{ 故}$$

A 正确.

12. B 【解析】根据开普勒第三定律有 $\frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{T_2^2}$, 可得鹊桥二号在捕

获轨道运行时周期约为 $T_2 = 288 \text{ h}$, 故 A 错误; 根据开普勒第二定律可知近月点的速度大于远月点的速度, 故 B 正确; 由捕获轨道

进入冻结轨道, 鹊桥二号需要减速, 做向心运动, 所以在捕获轨道

近月点的速度大于在冻结轨道运行时近月点的速度, 故 C 错误; 根据 $\frac{GMm}{r^2} = ma$, 可得 $a = \frac{GM}{r^2}$, 可知在捕获轨道近月点的加速

度等于在冻结轨道运行时近月点的加速度, 故 D 错误.

13. BD 【解析】鹊桥二号围绕月球做椭圆运动, 从 $A \rightarrow C \rightarrow B$ 做减

速运动, 从 $B \rightarrow D \rightarrow A$ 做加速运动, 所以从 $C \rightarrow B \rightarrow D$ 的运动时间

大于半个周期, 即大于 12 小时, 故 A 错误; 在 A 点, 根据牛顿第

二定律, 有 $G \frac{Mm}{(r_{OA})^2} = ma_A$, 在 B 点, 根据牛顿第二定律, 有

$$G \frac{Mm}{(r_{OB})^2} = ma_B, \text{ 联立并代入数据可得鹊桥二号在 A、B 两点的加}$$

速度大小之比约为 $a_A : a_B = 81 : 1$, 故 B 正确; 根据物体做曲线运

动时速度方向沿该点的切线方向, 可知鹊桥二号在 C、D 两点的

速度方向不垂直于其与月心的连线, 故 C 错误; 鹊桥二号发射后

围绕月球沿椭圆轨道运动, 并未脱离地球引力束缚, 也在围绕地

球运动, 所以鹊桥二号在地球表面附近的发射速度大于

7.9 km/s 且小于 11.2 km/s, 故 D 正确.

关键点 7.9 km/s 是环绕地球运动的最小发射速度,

11.2 km/s 是脱离地球引力束缚的最小发射速度

14. BD 【解析】根据万有引力提供向心力有 $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{v^2}{R}$, 在星球

表面有 $G \frac{Mm}{R^2} = mg$, 解得 $v = \sqrt{gR}$, 又 $g_{\text{月}} = \frac{1}{6} g_{\text{地}}, R_{\text{月}} = \frac{1}{4} R_{\text{地}}$, 则返

回舱在月球表面的飞行速度 $v_{\text{月}} = \sqrt{\frac{1}{24}} v_{\text{地}}$, 返回舱相对于月球的

速度 $v_{\text{相}} = v_{\text{地}} - v_{\text{月}} = \frac{23}{24} v_{\text{地}}$, 故 A 错误; 返回舱相对于地球的速度 $v_{\text{相}} = \frac{23}{24} v_{\text{地}}$, 故 B 正确; 返回舱相对于月球的速度 $v_{\text{相}} = \frac{23}{24} v_{\text{地}}$, 故 C 错误; 返回舱相对于地球的速度 $v_{\text{相}} = \frac{23}{24} v_{\text{地}}$, 故 D 正确.

第八章 机械能守恒定律

第1节 功与功率

课时1 功



对点上分

1. D 【解析】功是标量,但有正负,正负不表示大小和方向,而代表的是动力做功还是阻力做功,所以+5 J的功小于-8 J的功,故 A 错误;若一个力对物体做功为零,可能是力与物体的位移方向垂直,则该物体不一定处于静止状态,故 B 错误;两物体间的一对滑动摩擦力做功的代数和为负值,所以两物体间的一对滑动摩擦力做功之和一定不等于零,故 C 错误;功是标量,所以物体所受多个力做功的代数和等于这几个力的合力做的功,故 D 正确.

注意说明 功有正、负之分,但功的正、负并不表示方向. 力对物体做正功,促进物体的运动,为动力做功;力对物体做负功,阻碍物体的运动,为阻力做功,常常说成物体克服这个力做功.

2. B 【解析】静摩擦力存在不表示物体不运动,则静摩擦力可以对物体做功,故 A 错误;两物体相对静止,所受静摩擦力等大反向,若静摩擦力对一个物体做正功,则对另一个物体一定做负功,故 B 正确;物体的运动方向与滑动摩擦力方向可能相同或相反,物体也可能静止,则滑动摩擦力对物体可能做正功,也可能做负功或不做功,故 C 错误;一对相互作用的滑动摩擦力对两物体做功代数和为负值,故 D 错误.

注意说明 静摩擦力可以做功,如传送带上匀速运动的物体,物体受到的静摩擦力做正功,空气阻力做负功.

3. B 【解析】对图甲中的人受力分析,受重力和支持力两个力,支持力与人位移方向的夹角为钝角,做负功,故 A 错误, B 正确;对图乙中的人受力分析,受重力、支持力与静摩擦力,支持力与人位移方向的夹角为 90° ,不做功,静摩擦力与人位移方向相反,做负功,故 C、D 错误.

关键点拨 判断正功还是负功看力与位移方向的夹角 θ : $0^\circ < \theta < 90^\circ$ 时,力做正功; $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$ 时,力做负功; $\theta = 90^\circ$ 时,力不做功. 如果摩擦力与位移同向则做正功,反向则做负功,垂直则不做功.

4. D 【解析】该过程中子弹的位移大小为 $(s+d)$,因此子弹克服阻力做的功为 $f(s+d)$,故 A、B 错误;该过程中木块的位

→ **关键:** 功的计算公式中的位移是以地面为参考系的绝对位移,区分相对位移与绝对位移

移大小为 s ,因此子弹对木块做的功为 fs ,故 C 错误, D 正确.

→ **注意:** 子弹对木块的作用力使木块运动位移为 s ,而非子弹相对于木块的深度 d

5. C 【解析】功是标量,当有多个力对物体做功的时候,总功就等

于各个力对物体做功的代数和,力 F_1 对物体做功 6 J ,力 F_2 对物体做功 -8 J ,故 F_1 与 F_2 的合力对物体做的功 $W = W_1 + W_2 = 6\text{ J} + (-8\text{ J}) = -2\text{ J}$,故 C 正确.

易错警示 功是标量,合力做功等于各分力做功的代数和,而非按矢量合成计算.如相互垂直的两力做功分别为 6 J 和 -8 J ,则合力做功为 -2 J ,而非按平行四边形定则计算.切记功的运算遵循代数法则,与力的矢量合成不同,避免混淆标量与矢量的运算规则.

6. C 【解析】重力做功为 $W_G = mgl \cos 90^\circ = 0$,故 A 错误;支持力做功为 $W_N = Nl \cos 90^\circ = 0$,故 B 错误;拉力做功为 $W_F = Fl \cos \theta$,故 C 正确;轮胎竖直方向受力平衡,有 $N + F \sin \theta = mg$,得 $N = mg - F \sin \theta$,则摩擦力大小为 $f = \mu N = \mu(mg - F \sin \theta)$,摩擦力做功为 $W_f = -fl = -\mu(mg - F \sin \theta)l$,故 D 错误.

7. D 【解析】根据功的定义可知,人对车的推力 F 做的功为 $W = FL$,故 A 正确;根据牛顿第二定律可知,车对人在水平方向上的合力大小为 $F_1 = ma$,方向向前,所以车对人做的功为 $W_1 = maL$,故 B 正确;根据牛顿第三定律可知,车对人的推力大小为 F ,方向向后,对人根据牛顿第二定律可得 $f - F = ma$,所以车对人的摩擦力大小为 $f = ma + F$,方向向前,则摩擦力做功为 $W_f = fL = (ma + F)L$,故 C 正确;车对人有三个作用力:竖直向上的支持力,大小为 mg ;向后的推力,大小为 F ;向前的摩擦力,大小为 $F + ma$.所以车对人的作用力大小为 $F_{\text{合}} = \sqrt{(mg)^2 + (ma)^2}$,故 D 错误.

8. ABC 【解析】由题意可知,两个力的大小相等,且与位移方向间的夹角相等,位移相等,所以两力做功一定相等,故 A 正确;由于 F_1 对 A 物体有向下压的效果,而 F_2 对 B 物体有向上提的效果,可知 A 物体受到的支持力要大于 B 物体受到的支持力, A 物体受到的摩擦力要大于 B 物体受到的摩擦力,所以 A 物体克服摩擦力做功更多,故 B 正确;支持力的方向与位移方向垂直,都不做功,所以支持力做功相等,故 C 正确; F_1 和 F_2 所做的功相同, A 物体克服摩擦力做功更多,所以合外力对 A 物体做功更小,故 D 错误.

9. BD 【解析】设物体向右做匀减速直线运动的加速度大小为 a_1 ,则由 $v-t$ 图像解得 $a_1 = 2\text{ m/s}^2$,方向与初速度方向相反,设物体向左做匀加速直线运动的加速度大小为 a_2 ,则由 $v-t$ 图像解得 $a_2 = 1\text{ m/s}^2$,方向与初速度方向相反,根据牛顿第二定律得 $F + \mu mg = ma_1$, $F - \mu mg = ma_2$,解得 $F = 1.5\text{ N}$, $\mu = 0.05$,故 A 错误; $v-t$ 图像中图线与横轴所围成的面积表示位移, 10 s 内物体的位移为 $x = \frac{8 \times 4}{2}\text{ m} - \frac{(10-4) \times 6}{2}\text{ m} = -2\text{ m}$,负号表示物体在计时起点位置的左侧,即 10 s 末物体在计时起点位置左侧 2 m 处,则 $0 \sim 10\text{ s}$ 内恒力 F 对物体做功 $W = -Fx = -1.5 \times (-2)\text{ J} = 3\text{ J}$,故 B 正确, C 错误; $0 \sim 10\text{ s}$ 内物体运动的路程 $s = \frac{8 \times 4}{2}\text{ m} + \frac{(10-4) \times 6}{2}\text{ m} = 34\text{ m}$,克服摩擦力做功 $W_{\text{克}f} = \mu mgs = 17\text{ J}$,故 D 正确.

注意说明 计算恒力做功要注意的三个问题

- (1) 计算功时一定要明确是哪个力对哪个物体在哪段运动过程中做的功。
- (2) 力 F 与位移 x 必须互相对应, 即 x 必须是力 F 作用过程中的位移。
- (3) 某力对物体做的功只与这个力、物体的位移以及力的方向和位移方向的夹角有关, 与物体的运动情况无关, 与物体是否还受其他力, 以及其他力是否做功均无关。

10. ACD

攻略上分 对斜面+水平面的摩擦力做功情况应用大招攻略 25, 将斜面上摩擦力做功等效为“ $-\mu mg \times$ 水平投影位移”, 与水平面摩擦力做功合并为“ $-\mu mg \times$ 总水平位移”, 融合分段求做功与几何转化思路, 避开倾角计算快速求解。

【解析】整个过程中重力做功为 mgh , 故 A 正确; 整个过程中摩擦

注意: 重力做功只与竖直高度差 h 有关, 与路径无关

力做功为 $W_f = -\mu mgx$, 故 B 错误, C 正确; 整个过程中重力和摩擦

大招攻略 25 斜面滑动摩擦功——等效法速解斜面滑动摩擦力做功

力做功之和为 $mgh - \mu mgx$, 故 D 正确。

技巧必备 求合力做功有两种方法: 一是先求各分力做功, 再代数求和; 二是先求合外力, 再用 $W = \text{合外力} \times \text{位移} \times \cos \theta$ 计算。注意功是标量, 代数求和运算时保留正负号。

- 11. C** **【解析】**题图甲中, F 大小不变, 根据功的定义可得物块从 A 到 C 过程中, 力 F 做的功为 $W = Fs = F(|\vec{OA}| - |\vec{OC}|)$, 故 A 错误; 题图乙中, $F-x$ 图像与横轴所围图形的面积代表做功, 则全过程中 F 做的总功为 $W = 15 \times 6 \text{ J} + (-3) \times 6 \text{ J} = 72 \text{ J}$, 故 B 错误; 题图丙中, 绳长为 R , 若空气阻力 f 大小不变, 可用微元法得小球从 A 运动到 B 过程中克服空气阻力做的功为 $W = f \cdot \frac{2\pi R}{4} = \frac{1}{2} \pi Rf$, 故 C 正确; 题图丁中, F 始终保持水平, 当 F 为恒力时将小球从 P 拉到 Q, F 做的功是 $W = Fl \sin \theta$, 而缓慢将小球从 P 拉到 Q, F 为水平方向的变力, F 做的功不能用力乘小球沿 F 方向的位移计算, 故 D 错误。

方法总结 $F-x$ 图线与横轴围成图形的面积表示 F 对物体做的功, 根据力的方向与物体运动方向的关系, 判断 F 对物体做功的正负。

专题上分 8 变力做功

- 1. C** **【解析】**由于阻力与深度呈线性关系, 则克服阻力做的功为

$$W = \bar{F}h = \frac{(F_0 + kh_0 + F_0)}{2} h_0 = F_0 h_0 + \frac{1}{2} kh_0^2, \text{故 C 正确。}$$

- 2. D** **【解析】**开始时弹簧的压缩量 $x_1 = \frac{mg}{k}$, 此时 $F_1 = 0$, 当物块 A

恰好离开地面时, 弹簧伸长量为 $x_2 = \frac{mg}{k}$, 此时 $F_2 = 2mg$, F 随位移

线性变化, 则 F 做功 $W = \frac{F_1 + F_2}{2} (x_1 + x_2) = \frac{2m^2 g^2}{k}$, 故 D 正确。

3. C



攻略上分

采用大招攻略 26 中的平均力法求变力做功,将变力(随位移线性增大的摩擦力)等效为平均力计算做功.

【解析】所有小方块进入粗糙水平面过程的位移为 l ,所有小方块受到的摩擦力随进入粗糙水平面的位移线性变化,摩擦力的平均值 $f = \frac{\mu Mg}{2}$,则所有小方块克服摩擦力做的功 $W_f = fl = \frac{1}{2}\mu Mgl$,

故 C 正确.

方法总结

若物体受到与位移呈线性关系的力时,可以把变力等效成 $\bar{F} = \frac{F_1 + F_2}{2}$ 的恒力,再由 $W = \bar{F} \cdot s$ 进行计算;也可以作出力 F 随物体位移变化的图像,由图像与横轴围成的图形面积进行计算.

4. C



攻略上分

采用大招攻略 26 中的图像法求变力做功,利用 $F-x$ 图像与横轴所围图形的面积进行求解,同时注意 F 做功应该用 F 在位移 x 上的分力求解.

【解析】由 $F-x$ 图像与横轴围成图形的面积以及变力 F 与位移方向的夹角来求解该过程中变力 F 做的功,可知力 F 所做的功为

$$W = \frac{1}{2} F x \cos 37^\circ = 120 \text{ J}, \text{故 C 正确.}$$

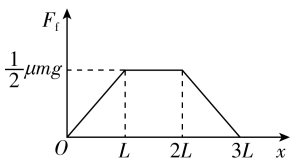
关键: 牢记功的定义式 $W = F s \cos \theta$, 避免遗漏力与位移方向夹角的余弦值

5. AC 【解析】由题图可知,匀速运动阶段根据受力平衡可得滑动摩擦力的大小 $f = F = 4 \text{ N}$,故 A 正确; $F-x$ 图像与横轴围成图形的面积表示拉力做的功,可知整个过程拉力做的功 $W_F = \frac{1}{2} \times (2 + 4) \times 4 \text{ J} = 12 \text{ J}$,故 B 错误;整个过程摩擦力对物体所做的功为 $W_f = -fx = -4 \times 4 \text{ J} = -16 \text{ J}$,故 C 正确;在刚开始的 2 m 内,物体做匀速直线运动,物体所受合外力为 0 ,则合外力对物体所做的功为 0 ,故 D 错误.

6. BC 【解析】根据题意可知, $0 \sim 3 \text{ m}$ 物体做匀速直线运动,结合题图可得,阻力大小为 4 N ,在 $3 \sim 7 \text{ m}$ 水平拉力 F 与 x 的关系式为 $F = \frac{3}{2}x - \frac{1}{2} (\text{N})$,则在 $x = 5 \text{ m}$ 处 $F_1 = 7 \text{ N}$,由牛顿第二定律有 $a = \frac{F_1 - f}{m} = \frac{7 - 4}{2} \text{ m/s}^2 = 1.5 \text{ m/s}^2$,故 A 错误; $F-x$ 图像与横轴所围图形的面积表示拉力做的功,由题图可得, $0 \sim 7 \text{ m}$ 拉力对物体做功 $W_F = 3 \times 4 \text{ J} + \frac{1}{2} \times (4 + 10) \times (7 - 3) \text{ J} = 40 \text{ J}$,故 B 正确;根据题意, $0 \sim 7 \text{ m}$ 物体克服阻力做功 $W = fx = 4 \times 7 \text{ J} = 28 \text{ J}$,故 C 正确;合力对物体做功等于所有力做功之和,则 $W_{\text{合}} = W_F + W_f$,又有 $W_f = -W = -28 \text{ J}$,则 $W_{\text{合}} = 12 \text{ J}$,故 D 错误.

7. A 【解析】木板穿过 BC 段所受摩擦力随位移 x 变化如图所示, F_f-x 图像与横轴围成的图形面积表示物体克服摩擦力做的功,

则 $W_f = \frac{L+3L}{2} \times \frac{1}{2} \mu mg = \mu mgL$, 故 A 正确.



方法总结 用图像法求变力做功需画出 $F-x$ 图像, 用图线与横轴围成图形的面积表示功, 直观简洁.

8. D 【解析】驴拉磨过程中驴对磨杆的拉力方向时刻在改变, 但是拉力 F 的方向与力的作用点的运动方向始终相同, 所以可以把运动一周的过程划分为无穷个长度趋于 0 的 Δs , 每个 Δs 内都可以认为 F 为恒力且和 Δs 同方向, 所以驴转动一周做功可以等效为驴沿直线走了 $2\pi r$ 时拉力 F 做的功, 可得驴运动一周拉力 F 所做的功为 $W = F \cdot 2\pi r = 600 \times 2 \times 0.5 \times \pi \text{ J} = 600\pi \text{ J} \approx 1884 \text{ J}$, 故 D 正确.

9. C 【解析】摆球所受重力方向竖直向下, 摆球的位移有竖直向下的分量, 所以重力做功不为零, 故 A 错误; 悬线的拉力始终与摆球速度方向垂直, 悬线的拉力不做功, 故 B 错误; 将圆弧路径分成若干小圆弧(尽量小), 则空气阻力所做的总功等于每个小圆弧段上所做功的代数和, 即 $W_f = -(f\Delta x_1 + f\Delta x_2 + \dots) = -\frac{1}{2}\pi fL$, 摆球克服空气阻力做功为 $\frac{1}{2}\pi fL$, 故 C 正确, D 错误.

技巧必备 变力做功的微元法中, 若力方向始终与位移方向相同(或相反), 可将运动轨迹分割为无数微元, 每段微元上力大小近似不变, 总功等于力的大小与路程的乘积. 如阻力大小不变的曲线运动, 直接用阻力乘路程求功, 无需考虑方向变化, 简化计算.

10. C 【解析】题图所示位置的均匀正方形薄金属片的重心位置与光滑轴的高度差 $h_1 = \frac{\sqrt{2}a}{2}$, 当 AB 边沿竖直方向时的重心位置与光滑轴的高度差 $h_2 = \frac{a}{2}$, 薄金属片的重心升高 $\Delta h = h_1 - h_2 = \frac{(\sqrt{2}-1)a}{2}$, 此过程中重力做功 $W_c = -G\Delta h = -\frac{(\sqrt{2}-1)Ga}{2}$, 所以外力做功至少应为 $\frac{(\sqrt{2}-1)Ga}{2}$, 故 C 正确.

11. 732 J

攻略上分 采用大招攻略 26 中的等效转换法求变力做功, 将变方向的拉力做功等效为恒力 F 对绳端做的功, 绳端位移由几何关系求解.

【解析】人对绳的拉力所做的功与绳对物体的拉力所做的功相等, 设人手到定滑轮的竖直距离为 h , 物体上升的高度等于滑轮右侧绳子增加的长度, 即 $\Delta h = \frac{h}{\sin 30^\circ} - \frac{h}{\sin 60^\circ}$, 又 $s = \frac{h}{\tan 30^\circ} - \frac{h}{\tan 60^\circ}$, 联立解得 $\Delta h = (2\sqrt{3}-2) \text{ m}$, 则人对绳的拉力做的功 $W = mg\Delta h = mg \cdot 2(\sqrt{3}-1) \text{ m} \approx 732 \text{ J}$.

课时2 功率

1. **D** 【解析】功率由力与速度共同决定,故 **A 错误**;功率定义为做功与时间的比值,做功多不代表功率大,故 **B 错误**;做的功等于功率与时间的乘积,功率大不表示做功多,故 **C 错误**;力和速度都很大,但二者方向间夹角为 90° 时,功率为零,即力和速度都很大,但功率不一定大,故 **D 正确**.

2. **C** 【解析】做功多少与时间有关,在不知道做功时间的情况下无法比较甲、乙两台挖掘机做功的多少,故 **A、B 错误**;根据图像可知,在相等时间内,甲比乙做功多,由 $P = \frac{W}{t}$ 可知,甲的功率大,即甲比乙做功快,故 **C 正确, D 错误**.

3. **B** 【解析】根据牛顿第二定律可得 $F \cos 60^\circ = ma$,解得 $a = 0.1 \text{ m/s}^2$,则 4 s 末的速度大小为 $v = at = 0.1 \times 4 \text{ m/s} = 0.4 \text{ m/s}$,则拉力的瞬时功率为 $P = Fv \cos 60^\circ = 2 \times 0.4 \times \frac{1}{2} \text{ W} = 0.4 \text{ W}$,故 **B 正确**.

4. **C** 【解析】每一次向上运动的过程中,该同学克服重力做的功为 $W_{G1} = mgh = 50 \times 10 \times 0.1 \text{ J} = 50 \text{ J}$,故 **A 错误**;该同学离开地面瞬间的速度大小不为零,则每次离开地面的瞬间,重力的瞬时功率不为零,故 **B 错误**;每次跳起时,地面对该同学的支持力作用点的位移为零,所以地面对该同学的支持力做功为零,故 **C 正确**;这次跳绳测验该同学克服重力做功的平均功率为 $\bar{P} = \frac{100W_{G1}}{t} = \frac{100 \times 50}{40} \text{ W} = 125 \text{ W}$,故 **D 错误**.

5. **D** 【解析】由于在上升和下降过程中,物体运动的高度 h 相同,因此在上升过程中克服重力所做的功和下降过程中重力所做的功相同,上升过程中,小球所受空气阻力向下,由牛顿第二定律得 $a_{\text{上}} = \frac{mg+f}{m}$,下降过程中,小球所受空气阻力向上,由牛顿第二定律得 $a_{\text{下}} = \frac{mg-f}{m}$,可知上升过程的平均加速度大于下降过程的平均加速度,根据 $h = \frac{1}{2}at^2$ 可知,上升过程中的时间小于下降过程中的时间,根据 $\bar{P} = \frac{W}{t}$ 可知,上升过程中克服重力做功的平均功率大于下降过程中重力做功的平均功率,故 **A、B 错误**;由以上分析可知,小球上升过程中的平均速度大于下降过程中的平均速度,而空气阻力的大小与小球的速度大小成正比,所以在上升过程中的平均阻力大于下降过程中的平均阻力,而位移大小相等,所以小球上升过程中阻力所做的功大于下降过程中阻力所做的功,故 **C 错误, D 正确**.

方法总结 变阻力运动中,需通过“总功/时间”计算平均功率;比较阻力做功时,可通过平均速度判断平均阻力大小,再结合位移比较总功.

6. **B** 【解析】设轨道的倾角为 θ ,根据牛顿第二定律可知 $a = g \sin \theta$,设 M 点到地面的距离为 h ,根据运动学规律有 $2a \frac{h}{\sin \theta} =$

v^2 , 可知物块沿不同轨道到达地面的速度大小相等, 则重力的瞬时功率为 $P = mgv \sin \theta$, 可知当物块滑到地面时, 沿 I 下滑重力的瞬时功率大于沿 II 下滑重力的瞬时功率, **故 A 错误, B 正确**;
根据运动学规律有 $\frac{h}{\sin \theta} = \frac{1}{2} g \sin \theta \cdot t^2$, 则物块重力的平均功率为 $\bar{P} = \frac{mgh}{t} = mgh \sqrt{\frac{g \sin^2 \theta}{2h}}$, 则物块运动过程中, 沿 I 下滑重力的平均功率大于沿 II 下滑重力的平均功率, **故 C、D 错误**.

7. D 【解析】由题图可知物体做匀速直线运动, 则 0 至 t_0 时间内, 拉力大小为 f , 做功为 $W_1 = fx_0$, **故 A 错误**; t_0 至 $2t_0$ 时间内, 拉

点拨: 匀速时拉力大小 = 摩擦力大小

力大小为 $2f$, 做功为 $W_2 = 2fx_0$, **故 B 错误**; 物体的速度大小为 $v =$

$\frac{x_0}{t_0}$, $1.5t_0$ 时刻拉力的功率为 $P = 2fv = \frac{2fx_0}{t_0}$, **故 C 错误**; 0 至 $2t_0$ 时

间内, 拉力的平均功率为 $\bar{P} = \frac{W_1 + W_2}{2t_0} = \frac{3fx_0}{2t_0}$, **故 D 正确**.

8. C 【解析】由题图可知, 物体在 0~2 s 内拉力的功率与时间的关系为 $P = 15t$ W, 速度大小与时间的关系为 $v = 3t$ m·s⁻¹, 又 $P = F_2 v$, 所以拉力的大小为 $F_2 = 5$ N, **故 A 错误**; 由题图可知, 在 2~6 s 内, 物体运动的速度大小为 6 m/s, 拉力的功率为 10 W, 物体做匀速直线运动, 摩擦力大小 $f = F_6 = \frac{P_6}{v_6} = \frac{10}{6}$ N ≈ 1.67 N, **故 B 错**

误; 0~6 s 内物体克服摩擦力做的功为 $W_{\text{克}f} = fx = \frac{10}{6} \times \frac{1}{2} \times (4+6) \times 6$ J = 50 J, **故 C 正确**; 0~6 s 内水平拉力做的功为 $W_F = \left(\frac{1}{2} \times 2 \times 30 + 4 \times 10 \right)$ J = 70 J, **故 D 错误**.

9. CD



思路分析 复杂运动阶段: 先从 $v-t$ 图像中判断运动性质(匀速、加速), 确定摩擦力大小(匀速时 $F=f$), 再用“ $F \times$ 位移”算功, 瞬时功率用“ $F \times$ 瞬时速度”, 确保力与运动状态匹配.

【解析】0~4 s 时间内物体沿水平方向移动的位移大小为 $x_1 = \frac{1}{2} \times 4 \times 3$ m = 6 m, 此过程拉力所做的功为 $W_1 = F_1 x_1 = 3 \times 6$ J = 18 J, **故 A 错误**; 由图可知, 物体所受摩擦力的大小为 $f = 2$ N,

提醒: 4~6 s 是匀速阶段, 此时 $f = F_2 = 2$ N

4~6 s 物体沿水平方向移动的距离 $x_2 = 3 \times 2$ m = 6 m, 故 0~6 s 时间内合外力所做的功 $W_{\text{合}} = W_1 + F_2 x_2 - f(x_1 + x_2) = 18$ J + 2×6 J - $2 \times (6+6)$ J = 6 J, **故 B 错误**; $t = 5$ s 时, 合外力做功的功率为 $P_{\text{合}} = (F_2 - f)v = (2-2) \times 3$ W = 0, **故 C 正确**; 0~8 s 时间内, 物体通过的位移大小 $x_3 = \frac{1}{2} \times (8+2) \times 3$ m = 15 m, 物体克服摩擦力所做的功为 $W_f = fx_3 = 2 \times 15$ J = 30 J, **故 D 正确**.

10. C 【解析】 $W-x$ 图线的斜率表示水平拉力 F 的大小, 由题图可知, 在 $x=0$ 至 $x=3$ m 的过程中, 水平拉力大小为 $F_1 = 5$ N, 由牛顿第二定律, 有 $F_1 - \mu mg = ma_1$, 解得 $a_1 = 1.5$ m/s², **故 A 错误**; 当 $x =$

3 m 时,物体的速度大小是 $v = \sqrt{2a_1x} = \sqrt{2 \times 1.5 \times 3} \text{ m/s} = 3 \text{ m/s}$,
由题图可知,在 $x=3 \text{ m}$ 至 $x=9 \text{ m}$ 的过程中,水平拉力大小为 $F_2 = 2 \text{ N}$,由牛顿第二定律可得 $F_2 - \mu mg = ma_2$,解得 $a_2 = 0$,可知该过程物体做匀速运动,则当 $x=9 \text{ m}$ 时,物体的速度大小是 3 m/s ,故 B 错误;当 $x=6 \text{ m}$ 时,物体的速度大小为 $v' = 3 \text{ m/s}$,则拉力的瞬时功率是 $P = F_2 v' = 6 \text{ W}$,故 C 正确;在 $x=3 \text{ m}$ 至 $x=9 \text{ m}$ 过程中,物体做匀速运动,所以合外力为零,合外力做功为零,故 D 错误。

11. A 【解析】列车匀速行驶时,牵引力与阻力等大反向,则有 $F = f = kv^2$,结合功率 $P = Fv = fv = kv^3$,即 $P \propto v^3$,故列车的速度变为原

 **易错:** 勿当成 P 与 v^2 成正比,对应关系错写成 “ $P = kv^2$ ”

来的 2 倍时,功率变为原来的 8 倍,故 A 正确。

12. D 【解析】设每节车厢受到的阻力大小为 F_f ,稳定后动车组做匀速直线运动,选车厢 4~10 为研究对象,两种情况下车厢 3 对 4 的拉力大小为 $F_{34} = 7F_f$,保持不变,故 A、B 错误;设每节车厢动力装置开启时的输出功率均为 P ,开启车厢 1、2 动力时稳定后速度大小为 v_1 ,开启车厢 1、2、3 动力时稳定后速度大小为 v_2 ,则 $\frac{2P}{v_1} = 10F_f$, $\frac{3P}{v_2} = 10F_f$,得 $v_1 = \frac{P}{5F_f}$, $v_2 = \frac{3P}{10F_f}$,两种情况下车厢 3 对 4 的拉力功率分别为 $P_1 = 7F_f \cdot v_1 = \frac{7}{5}P$, $P_2 = 7F_f \cdot v_2 = \frac{21}{10}P$,故 $P_1 < P_2$,车厢 3 对 4 的拉力功率变大,故 C 错误, D 正确。

方法总结 多车厢功率问题:先确定研究对象明确拉力(等于该部分阻力),再通过“总功率=总牵引力×速度”求速度,最后用“拉力×速度”算拉力功率,确保总功率与总牵引力对应。

专题上分 9 机车启动问题

1. D 【解析】汽车以速率 v_1 匀速运动时,根据 $P = Fv_1 = fv_1$,可得汽车受到的阻力的大小为 $f = \frac{P}{v_1}$,当汽车以速率 v_2 运动时,根据 $P = F'v_2$,可得此时的牵引力大小为 $F' = \frac{P}{v_2}$,由牛顿第二定律可得 $F' - f = ma$,所以加速度大小为 $a = \frac{F' - f}{m} = \frac{P(v_1 - v_2)}{mv_1v_2}$,故 D 正确。

2. BC 【解析】发动机的功率恒定,由 $P = Fv$ 可知加速阶段,发动机对高铁列车的牵引力逐渐减小,由牛顿第二定律 $F - f = ma$ 可知,高铁列车的加速度逐渐减小,故 A 错误, C 正确;高铁列车达到最大速度时有 $P = Fv_m$, $F - f = 0$,故高铁列车受到的阻力大小为 $f =$

 **提醒:** 达到最大速度时 $F = f = \frac{P}{v_m}$

$\frac{P}{v_m}$,故 B 正确;当高铁列车的速度大小为 $\frac{v_m}{2}$ 时,有 $P = F' \times \frac{v_m}{2}$,解得牵引力大小为 $F' = \frac{2P}{v_m}$,由牛顿第二定律得 $\frac{2P}{v_m} - \frac{P}{v_m} = ma'$,解得列车的加速度大小为 $a' = \frac{P}{mv_m}$,故 D 错误。

技巧必备 (1) 阻力: 达到最大速度时牵引力大小等于阻力

$$\text{大小}, f = \frac{P}{v_m};$$

(2) 瞬时加速度: 先由 $F = \frac{P}{v}$ 求牵引力, 再用 $a = \frac{F-f}{m}$ 计算;

(3) 最大速度: 仅由 P 和 f 决定, $v_m = \frac{P}{f}$, 与质量无关.

3. (1) $2.5 \times 10^3 \text{ N}$ (2) $8.0 \times 10^4 \text{ W}$ (3) 大小为 $\frac{5}{16} \text{ m/s}^2$, 方向与汽车运动方向相反

【解析】(1) 由于 $P = Fv$, 对汽车有 $F - f = ma$, 整理得 $a = \frac{1}{v} \cdot \frac{P}{m} - \frac{f}{m}$,

结合题图可知 $-1.25 \text{ m/s}^2 = -\frac{f}{m}$, 代入数据解得 $f = 2.5 \times 10^3 \text{ N}$.

(2) 结合上述分析和题图可知 $\frac{P}{m} = \frac{[1.25 - (-1.25)] (\text{m} \cdot \text{s}^{-2})}{\frac{1}{16} \text{ s} \cdot \text{m}^{-1}}$,

解得 $P = 8.0 \times 10^4 \text{ W}$.

(3) 达到最大速度时有 $P = Fv_{\max} = fv_{\max}$, 解得 $v_{\max} = 32 \text{ m/s}$, 此时功

率变为额定功率的 $\frac{3}{4}$, 有 $\frac{3}{4}P = Fv_{\max} - f = ma_1$, 解得 $a_1 = -\frac{5}{16} \text{ m/s}^2$, 所以

加速度大小为 $\frac{5}{16} \text{ m/s}^2$, 方向与汽车运动方向相反.

4. C

◎ 攻略上分 本题为恒定加速度启动问题, 先求过程中恒

定牵引力 F 与匀加速运动末速度 $v = \frac{P}{F}$, 再算时间 $t = \frac{v}{a}$, 对应大招攻略 27 中的“匀加速运动阶段计算”.

【解析】由牛顿第二定律得 $F - 0.01mg = ma$, 解得此过程列车的牵引力大小为 $F = 2.4 \times 10^5 \text{ N}$, 列车匀加速直线运动的末速度大小为 $v = \frac{P}{F} = 7.5 \text{ m/s}$, 则此过程最长时间为 $t = \frac{v}{a} = 25 \text{ s}$, 故 C 正确.

5. BD **【解析】**汽车匀速运动时, 牵引力大小等于阻力大小, 所以

$F_f = \frac{P}{v_2}$, 故 A 错误; 汽车在匀加速运动过程中, 有 $F - F_f = ma$, $a =$

$\frac{v_1}{t_1}$, 解得 $F = \frac{mv_1}{t_1} + \frac{P}{v_2}$, 故 B 正确; 汽车在 $0 \sim t_1$ 过程中的功率没达

到额定功率, 所以 $0 \sim t_2$ 过程中汽车牵引力所做的功小于 Pt_2 , 故

C 错误; 汽车在 $t_1 \sim t_2$ 过程中的功率达到了额定功率, 所以该过

程中汽车牵引力所做的功为 $P(t_2 - t_1)$, 故 D 正确.

关键点拨 解答本题的关键是知道汽车以最大速度运行时, 汽车的牵引力大小等于阻力大小.

6. D **【解析】**由题图乙可知, $0 \sim 1 \text{ s}$ 内物体做匀加速直线运动, 则电动机牵引力大小不变, 物体速度增大, 则 $0 \sim 1 \text{ s}$ 内电动机的输出功率变大, 故 A 错误; 由题图乙可知, $1 \sim 5 \text{ s}$ 内物体的加速度逐渐减小, 则电动机牵引力逐渐减小, 故 B 错误; 由题图乙可知, $0 \sim 1 \text{ s}$ 内物体的加速度大小为 $a = \frac{4}{1} \text{ m/s}^2 = 4 \text{ m/s}^2$, 由牛顿第二定律可得

$F - mg \sin \theta = ma$, $0 \sim 1$ s 内电动机牵引力大小为 $F = ma + mg \sin \theta = 45$ N, 故 C 错误; 1 s 后电动机的输出功率不变, 等于 1 s 末时的输出功率, 则有 $P = Fv = 45 \times 4 \text{ W} = 180 \text{ W}$, 故 D 正确.

7. C 【解析】匀速行驶时, 牵引力和阻力大小相等, 因此汽车所受

阻力大小 $f = \frac{P}{v_0}$, 0 时刻, 根据牛顿第二定律有 $f - \frac{2P}{3v_0} = Ma$, 可得汽

车的加速度大小 $a = \frac{P}{3Mv_0}$, 故 A 错误; 根据 $\frac{2}{3}P = Fv$, 由于在 $0 \sim t_1$

时间内, 汽车速度不断减小, 因此牵引力不断增大, 故 B 错误; t_1

时刻后, 汽车再次匀速运动时, 牵引力与阻力再次大小相等, 有

$\frac{2P}{3} = fv'$, 可得 $v' = \frac{2}{3}v_0$, 故 C 正确; 在 $0 \sim t_1$ 时间内, 如果汽车做匀

减速运动, 位移大小 $s = \frac{v_0 + v'}{2} \cdot t_1 = \frac{5}{6}v_0 t_1$, 而汽车做加速度逐渐

减小的减速运动, 因此位移小于 $\frac{5}{6}v_0 t_1$, 故 D 错误.

注意说明 功率突变时, 速度不能突变, 牵引力随功率同步突

$$\text{变} \left(F = \frac{P}{v} \right).$$

8. B 【解析】在 $0 \sim t_1$ 时间内, 汽车以功率 P_0 匀速行驶, 即 $P_0 =$

Fv_0 , 行驶的速度为 v_0 , 牵引力和阻力相等, 即 $F = \frac{P_0}{v_0} = f$, 则 $v-t$ 图

像为一条水平线; 在 $t_1 \sim t_2$ 时间内, 在 t_1 时刻将发动机的功率减

半, 但汽车速度仍为 v_0 , 汽车牵引力减为原来的一半, 阻力不变,

则汽车开始做减速运动, 速度减小, 由牛顿第二定律得 $f -$

$\frac{P_0}{2v} = ma_1$, v 减小, 则 a_1 减小, 故汽车做加速度减小的减速运动,

$v-t$ 图像的斜率绝对值减小, 当汽车的速度减到 $\frac{v_0}{2}$ 时, 汽车牵引

力再次等于阻力, 汽车再次做匀速直线运动; 在 $t_2 \sim t_3$ 时间内, 汽

车功率恢复到 P_0 的瞬间, 汽车速度仍为 $\frac{v_0}{2}$, 则汽车牵引力 $F' =$

$\frac{P_0}{\frac{v_0}{2}} = 2 \frac{P_0}{v_0} > f$, 则汽车开始做加速运动, 速度增大, 由牛顿第二定律

可知 $\frac{P_0}{v} - f = ma_2$, v 增大, 则 a_2 减小, 故汽车做加速度减小的加速运

动, 则 $v-t$ 图像的斜率减小, 当汽车速度增加到 v_0 时, 汽车牵引力

等于阻力, 汽车再次做匀速直线运动, 故 B 正确, A、C、D 错误.

9. (1) $6.25 \times 10^4 \text{ N}$ (2) 22 s 242 m (3) 110 m/s

攻略上分 本题为动车组多动力启动问题, 用到大招攻

略 27 的“恒定加速度启动规律”及“ $P = Fv$ ”. 先对整体受力分析求出牵引力, 然后隔离分析求车厢间作用力, 再算匀加速阶段的时间与位移, 最后用 $F = f = kv^2$ 求匀速速度.

【解】(1) 因为该动车组由 4 辆提供动力的动车和 4 辆无动力的拖车组成, 故匀加速阶段, 对动车组受力分析, 由牛顿第二定律有 $4F - 8kmg = 8ma$, 解得 $F = 1.25 \times 10^5 \text{ N}$,

将第 1、2、3 节车厢看成整体进行受力分析, 由牛顿第二定律有

$F - 3kmg - F_{43} = 3ma$, 解得 $F_{43} = -6.25 \times 10^4 \text{ N}$,

负号表示第4节对第3节车厢的作用力与动车组运动方向相同, 故第3节与第4节车厢间的相互作用力大小为 $6.25 \times 10^4 \text{ N}$.

(2) 当动车组匀加速阶段结束时, 功率恰好达到额定功率, 设此

时速度大小为 v , 由 $P = Fv$, 解得 $v = \frac{P}{F} = 22 \text{ m/s}$,

设匀加速阶段的时间为 t , 由运动学公式 $v = at$, 解得 $t = \frac{v}{a} = 22 \text{ s}$,

设匀加速阶段的位移大小为 x , 由运动学公式 $x = \frac{1}{2}at^2$,

代入数据解得 $x = 242 \text{ m}$.

(3) 当列车组匀速行驶时有 $4P = f_{\text{总}} v_m$, 整理得 $f_{\text{总}} = \frac{4P}{v_m}$,

又因为 $f_{\text{总}} = \frac{1000}{121}v_m^2$, 联立解得 $v_m = 110 \text{ m/s}$.

第2节 重力势能



对点上分

1. A 【解析】重力做功与物体运动的具体路径无关, 只与初、末位置的高度差有关, 不论是光滑路径还是粗糙路径, 也不论是直线运动还是曲线运动, 只要初、末位置的高度差相同, 重力做功就相同, 因此不论坡度大小、粗糙程度如何, 只要高度差相同, 物体克服重力做的功就同样多, 故 A 正确.

→ **关键:** 根据重力做功与路径无关, 仅与高度差有关可知, 上升高度相同则克服重力做功相同

2. B 【解析】掌心到肘关节的距离 $x = 0.3 \text{ m}$, 根据功的定义式可知, 杠铃克服重力做功约为 $W = mg(x + x \cos 60^\circ) = 20 \times 10 \times \left(0.3 + 0.3 \times \frac{1}{2}\right) \text{ J} = 90 \text{ J}$, 故 B 正确, A、C、D 错误.

3. AD 【解析】设物体在空中运动的时间为 t , 由平抛运动规律

$$\tan \theta = \frac{h}{x} = \frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0 t} = \frac{gt}{2v_0}, \text{ 解得 } t = \frac{2v_0 \tan \theta}{g}, \text{ 故 A 正确; 根据上述, 由}$$

平抛运动规律可得, 物体下落的高度为 $h = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{2v_0^2 \tan^2 \theta}{g}$, 重力

做的功为 $W_G = mgh = 2mv_0^2 \tan^2 \theta$, 故 B 错误; 设物体落到斜面上时的速度方向与水平方向的夹角为 α , 由平抛运动规律有 $\tan \alpha =$

$\frac{v_y}{v_0} = \frac{gt}{v_0} = 2 \tan \theta$, 可知 $\alpha \neq 2\theta$, 故 C 错误; 如果 v_0 的大小不同, 且

物体仍落到斜面上时, 物体位移与水平方向的夹角 θ 不变, 则速度方向与水平方向的夹角 α 不变, 故 D 正确.

4. BC 【解析】重力势能是标量, 没有方向, 正值表示物体在参考平面上方, 负值表示物体在参考平面下方; 同一物体重力势能 $E_{p1} = 5 \text{ J}$, $E_{p2} = -8 \text{ J}$, 则有 $E_{p1} > E_{p2}$, 故 A 错误, B 正确; 重力做功和重力势能变化量的关系是 $W_G = -\Delta E_p$, 故 C 正确; 重力势能具有

→ **关键:** 重力势能是标量, E_p 正负表示位置, 变化量 $\Delta E_p = -W_G$

相对性, 但重力势能的变化量没有相对性, 故 D 错误.

5. A 【解析】毛毛虫身体中点刚刚到达最高点时,毛毛虫具有的重力势能为 $E_p = 2 \times \frac{1}{3} mg \times \frac{L \sin 60^\circ}{2} = \frac{\sqrt{3}}{6} mgL$, 故 A 正确.

$$E_p = 2 \times \frac{1}{3} mg \times \frac{L \sin 60^\circ}{2} = \frac{\sqrt{3}}{6} mgL, \text{ 故 A 正确.}$$

易错: 误代入石块高度进行计算或混淆“身体中点”与“重心”位置, 要明确所计算部分质量的重心高度

注意说明 计算非质点物体的重力势能需根据物体的形状和位置确定重心高度, 不能简单以物体的某一位置来代替重心位置.

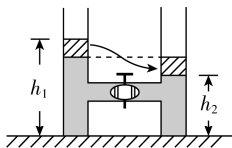
6. C 【解析】由于水的体积不变, 把连接两桶的阀门打开后, 两桶中水面高度相等, 利用等效法把左桶中高 $\frac{h_1 - h_2}{2}$ 部分的水移至右桶, 如图, 阴影部分从左桶移至右桶重力做的功为 $W_G = \frac{h_1 - h_2}{2} \cdot$

桶, 如图, 阴影部分从左桶移至右桶重力做的功为 $W_G = \frac{h_1 - h_2}{2} \cdot$

桶, 如图, 阴影部分从左桶移至右桶重力做的功为 $W_G = \frac{h_1 - h_2}{2} \cdot$

$$\rho g S \cdot \frac{h_1 - h_2}{2} = \frac{1}{4} \rho g S (h_1 - h_2)^2, \text{ 所以重力势能减少量 } \Delta E_p =$$

$$\frac{1}{4} \rho g S (h_1 - h_2)^2, \text{ 故 C 正确.}$$



7. BC 【解析】在小球从 A 点经 B 点运动到 C 点的过程中, 重力对小球做的功为 $mg \cdot h_{AC} = 1 \times 10 \times 1.2 \text{ J} = 12 \text{ J}$, 故 A 错误; 在小球从 B 点运动到 C 点的过程中, 重力对小球做的功为 $-mg \cdot h_{BC} = -1 \times 10 \times 0.8 \text{ J} = -8 \text{ J}$, 故 B 正确; 以桌面为重力势能为零的参考平面, 小球在 A 点重力势能为 $E_{pA} = mg \cdot h_{AC} = 1 \times 10 \times 1.2 \text{ J} = 12 \text{ J}$, 小球在 B 点重力势能为 $E_{pB} = mg \cdot h_{CB} = 1 \times 10 \times (-0.8) \text{ J} = -8 \text{ J}$, 故 C 正确, D 错误.

在小球从 A 点经 B 点运动到 C 点的过程中, 重力对小球做的功为 $mg \cdot h_{AC} = 1 \times 10 \times 1.2 \text{ J} = 12 \text{ J}$, 故 A 错误; 在小球从 B 点运动到 C 点的过程中, 重力对小球做的功为 $-mg \cdot h_{BC} = -1 \times 10 \times 0.8 \text{ J} = -8 \text{ J}$, 故 B 正确; 以桌面为重力势能为零的参考平面, 小球在 A 点重力势能为 $E_{pA} = mg \cdot h_{AC} = 1 \times 10 \times 1.2 \text{ J} = 12 \text{ J}$, 小球在 B 点重力势能为 $E_{pB} = mg \cdot h_{CB} = 1 \times 10 \times (-0.8) \text{ J} = -8 \text{ J}$, 故 C 正确, D 错误.

在小球从 B 点运动到 C 点的过程中, 重力对小球做的功为 $-mg \cdot h_{BC} = -1 \times 10 \times 0.8 \text{ J} = -8 \text{ J}$, 故 B 正确; 以桌面为重力势能为零的参考平面, 小球在 A 点重力势能为 $E_{pA} = mg \cdot h_{AC} = 1 \times 10 \times 1.2 \text{ J} = 12 \text{ J}$, 小球在 B 点重力势能为 $E_{pB} = mg \cdot h_{CB} = 1 \times 10 \times (-0.8) \text{ J} = -8 \text{ J}$, 故 C 正确, D 错误.

以桌面为重力势能为零的参考平面, 小球在 A 点重力势能为 $E_{pA} = mg \cdot h_{AC} = 1 \times 10 \times 1.2 \text{ J} = 12 \text{ J}$, 小球在 B 点重力势能为 $E_{pB} = mg \cdot h_{CB} = 1 \times 10 \times (-0.8) \text{ J} = -8 \text{ J}$, 故 C 正确, D 错误.

小球在 A 点重力势能为 $E_{pA} = mg \cdot h_{AC} = 1 \times 10 \times 1.2 \text{ J} = 12 \text{ J}$, 小球在 B 点重力势能为 $E_{pB} = mg \cdot h_{CB} = 1 \times 10 \times (-0.8) \text{ J} = -8 \text{ J}$, 故 C 正确, D 错误.

小球在 B 点重力势能为 $E_{pB} = mg \cdot h_{CB} = 1 \times 10 \times (-0.8) \text{ J} = -8 \text{ J}$, 故 C 正确, D 错误.

故 C 正确, D 错误.

关键点拨 理解重力势能时要注意:

- (1) 重力势能的大小与参考平面的选取有关;
- (2) 重力做功、重力势能的变化量与参考平面的选取无关;
- (3) 计算重力做功、重力势能和重力势能的变化量时要注意区分其正、负.

8. D 【解析】由于在力 F 的作用下物体处于静止状态, 此时弹簧处于压缩状态, 撤去 F 后, 物体在向右运动的过程中, 弹簧的弹力对物体先做正功后做负功, 所以弹簧的弹性势能先减小后增大, 故 D 正确, A、B、C 错误.

由于在力 F 的作用下物体处于静止状态, 此时弹簧处于压缩状态, 撤去 F 后, 物体在向右运动的过程中, 弹簧的弹力对物体先做正功后做负功, 所以弹簧的弹性势能先减小后增大, 故 D 正确, A、B、C 错误.

撤去 F 后, 物体在向右运动的过程中, 弹簧的弹力对物体先做正功后做负功, 所以弹簧的弹性势能先减小后增大, 故 D 正确, A、B、C 错误.

所以弹簧的弹性势能先减小后增大, 故 D 正确, A、B、C 错误.

9. BC 【解析】物体由 A 向 O 运动的过程中, 弹簧对物体的弹力向左, 物体对弹簧的作用力向右, 物体对弹簧做负功, 弹簧的弹性势能逐渐减小, 故 A 错误; 物体由 O 向 A' 运动的过程中, 弹簧对物体的弹力向右, 物体对弹簧的作用力向左, 物体对弹簧做正功, 弹簧的弹性势能逐渐增加, 故 B 正确; A、A' 关于 O 点对称, 弹簧的形变量大小相等, 弹性势能相等, 故 C 正确; 弹性势能没有负值, 故 D 错误.

物体由 A 向 O 运动的过程中, 弹簧对物体的弹力向左, 物体对弹簧的作用力向右, 物体对弹簧做负功, 弹簧的弹性势能逐渐减小, 故 A 错误; 物体由 O 向 A' 运动的过程中, 弹簧对物体的弹力向右, 物体对弹簧的作用力向左, 物体对弹簧做正功, 弹簧的弹性势能逐渐增加, 故 B 正确; A、A' 关于 O 点对称, 弹簧的形变量大小相等, 弹性势能相等, 故 C 正确; 弹性势能没有负值, 故 D 错误.

物体对弹簧做负功, 弹簧的弹性势能逐渐减小, 故 A 错误; 物体由 O 向 A' 运动的过程中, 弹簧对物体的弹力向右, 物体对弹簧的作用力向左, 物体对弹簧做正功, 弹簧的弹性势能逐渐增加, 故 B 正确; A、A' 关于 O 点对称, 弹簧的形变量大小相等, 弹性势能相等, 故 C 正确; 弹性势能没有负值, 故 D 错误.

故 B 正确; A、A' 关于 O 点对称, 弹簧的形变量大小相等, 弹性势能相等, 故 C 正确; 弹性势能没有负值, 故 D 错误.

故 C 正确; 弹性势能没有负值, 故 D 错误.

弹性势能没有负值, 故 D 错误.

弹性势能没有负值, 故 D 错误.

弹性势能没有负值, 故 D 错误.

弹性势能没有负值, 故 D 错误.

10. B 【解析】重物由 A 点摆向最低点的过程中, 重力做正功, 弹

簧对重物有沿弹簧向上的弹力,而弹簧伸长,所以弹力做负功,弹性势能增加,故 B 正确,A 错误;若用长度与弹簧原长相等的细绳代替弹簧后,重力仍做正功,重物下降的高度减小,重力做功减少,弹力方向始终与运动方向垂直,弹力不做功,故 C、D 错误.

11. D 【解析】如题图甲,弹簧的劲度系数 $k = \frac{\Delta F}{\Delta x} = 600 \text{ N/m}$, 由于在撤去外力后,物体静止在弹簧上端,此时物体受力平衡,即 $mg = kx$,解得弹簧的压缩量 $x = 3 \text{ cm}$,故 A 错误;弹簧的形变量越大,弹性势能越大,故 B 错误;在此过程中弹簧为压缩状态,此过程中弹簧弹力对物体做负功,故 C 错误;由 $F-x$ 图像与横轴所围图形的面积表示做功可知,放上物体的过程中,弹簧弹力对物体做功 $W = -\frac{1}{2}mgx = -0.27 \text{ J}$,故物体静止时弹簧的弹性势能 $E_p = -W = 0.27 \text{ J}$,故 D 正确.

第 1~2 节 节测上分

1. C 【解析】悬垂时单杠对人的支持力与人的重力大小相等,不随两手间的距离改变而改变,故 A 错误;上引过程中重力方向与位移方向相反,重力做负功,下放过程中重力方向与位移方向相同,重力做正功,且二者绝对值相等,所以一个完整的引体向上过程中重力所做的总功为零,故 B 错误;在身体被往上拉的过程中,单杠对人的作用力的作用点在手上,但没有位移,则单杠对人的作用力不做功,故 C 正确;该同学质量为 50 kg ,一次引体向上上引过程重心变化的高度为 0.4 m ,则一次引体向上上引过程中该同学克服重力所做的功为 $W = mgh = 50 \times 10 \times 0.4 \text{ J} = 200 \text{ J}$,由题意可知,在 1 分钟内该同学身体被往上拉时克服重力做功的平均功率为 $P = \frac{W_{\text{总}}}{t} = \frac{8 \times 200}{60} \text{ W} \approx 26.7 \text{ W}$,故 D 错误.

2. C 【解析】设电动玩具汽车的额定功率为 P ,受到的阻力大小为 f ,根据牛顿第二定律可得 $F - f = ma$,又由于 $P = Fv$,两式联立可得 $a = \frac{P}{m} \cdot \frac{1}{v} - \frac{f}{m}$,根据 $a - \frac{1}{v}$ 图像可得 $\frac{f}{m} = 2 \text{ m/s}^2$, $\frac{P}{m} = \frac{6 - (-2)}{2} \text{ W/kg} = 4 \text{ W/kg}$,解得 $m = 15 \text{ kg}$, $P = 60 \text{ W}$,当牵引力与阻力大小相等时,速度到达最大,则有 $v_m = \frac{P}{f} = \frac{60}{30} \text{ m/s} = 2 \text{ m/s}$,故 C 正确.

3. C 【解析】设滑块与斜面间的摩擦力大小为 f ,全过程中摩擦力做功为 $-2fs$,其中 s 为滑块运动到最高处时的位移大小,故 A 错误;在上滑和下滑两过程中,摩擦力做功相等,均为 $-fs$,故 B 错误;设 θ 为斜面与水平方向的夹角, μ 为滑块与斜面间的动摩擦因数,则滑块上滑过程中的加速度大小 $a_1 = g \sin \theta + \mu g \cos \theta$,下滑过程中的加速度大小 $a_2 = g \sin \theta - \mu g \cos \theta$,则上滑的加速度大于下滑的加速度,根据 $s = \frac{1}{2}at^2$ 可知,上滑的时间小于下滑的时间,根据 $P = \frac{W}{t}$,可知在上滑过程中摩擦力的平均功率大于下滑过程中摩擦力的平均功率,故 C 正确;滑块上滑过程和下滑过程

中摩擦力均做负功,故 D 错误.

4. C 【解析】前 2 s 内前进的距离为 $x = \frac{1}{2}at^2 = 2 \text{ m}$, 拉力所做的功为 $W = Fx \cos 60^\circ = 20 \text{ J}$, 故 A 错误; 前 2 s 内拉力的平均功率 $\bar{P} = \frac{W}{t} = 10 \text{ W}$, 故 B 错误; 2 s 末购物篮的速度大小为 $v = at = 2 \text{ m/s}$, 则 2 s 末拉力做功的瞬时功率 $P = Fv \cos 60^\circ = 20 \text{ W}$, 故 C 正确; 虽然阻力大小未知, 但拉力大小和拉力与运动方向间的夹角已知, 且运动速度和位移可算出, 所以拉力的功率可算出, 故 D 错误.

5. B 【解析】动车以额定功率在平直轨道上运动, 动车达到最大速度 $4v_0$ 时加速度为零, 牵引力大小等于阻力大小, 有 $4v_0 = \frac{P}{f}$, 当车速为 v_0 和 $2v_0$ 时, 由运动过程中功率为额定功率有 $P = F_1 \cdot v_0 = F_2 \cdot 2v_0$, 由牛顿第二定律有 $F_1 - f = ma_1$, $F_2 - f = ma_2$, 联立各式解得 $\frac{a_1}{a_2} = \frac{3}{1}$, 故 B 正确.

6. D 【解析】小猫爬到楼梯口 B 处时的重力势能为零, 则小猫在 A 处的重力势能为 $E_{pA} = -mgh_A = -1 \times 10 \times 1.5 \text{ J} = -15 \text{ J}$, 故 A 错误; 小猫在 E 处的重力势能 $E_{pE} = mgh_E = 1 \times 10 \times 4.5 \text{ J} = 45 \text{ J}$, 故 B 错误; 小猫从 B 到 D 过程中重力做的功为 $W_G = -mgh_{BD} = -1 \times 10 \times 3 \text{ J} = -30 \text{ J}$, 故 C 错误; 小猫从 A 到 B 重力势能增加了 $\Delta E_p = mgh_{AB} = 1 \times 10 \times 1.5 \text{ J} = 15 \text{ J}$, 故 D 正确.

7. AC 【解析】根据 $v-t$ 图像的斜率表示加速度, 可知物体加速和减速阶段的加速度大小分别为 $a_1 = \frac{10-5}{2} \text{ m/s}^2 = 2.5 \text{ m/s}^2$, $a_2 = \frac{10}{6-2} \text{ m/s}^2 = 2.5 \text{ m/s}^2$, 根据牛顿第二定律可得 $F - f = ma_1$, $f = ma_2$, 联立解得 $f = 10 \text{ N}$, $F = 20 \text{ N}$, 根据 $v-t$ 图像与横轴围成图形的面积表示位移, 可知物体加速和减速阶段的位移大小分别为 $x_1 = \frac{1}{2} \times (5+10) \times 2 \text{ m} = 15 \text{ m}$, $x_2 = \frac{1}{2} \times 10 \times 4 \text{ m} = 20 \text{ m}$, 则拉力 F 对物体做功为 $W_F = Fx_1 = 20 \times 15 \text{ J} = 300 \text{ J}$, 摩擦力对物体做功 $W_f = -f(x_1 + x_2) = -10 \times (15+20) \text{ J} = -350 \text{ J}$, 合力对物体做功为 $W_{\text{合}} = W_F + W_f = 300 \text{ J} - 350 \text{ J} = -50 \text{ J}$, 故 A、C 正确, B、D 错误.

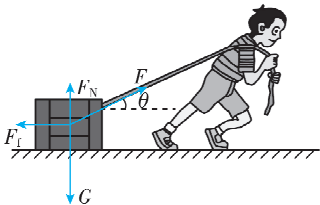
8. AD 【解析】设斜面的倾角为 α , $\tan \alpha = \frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0 t} = \frac{gt}{2v_0}$, 设小球的位移大小为 l , $l \cos \alpha = v_0 t$, 可得 $v_0 = \sqrt{\frac{gl \cos \alpha}{2 \tan \alpha}} \propto \sqrt{l}$, 又因 $\frac{l_{AD}}{l_{AC}} = \frac{1}{3}$, 可知 $\frac{v_{01}}{v_{02}} = \frac{1}{\sqrt{3}}$, $t = \frac{2v_0 \tan \alpha}{g} \propto v_0$, 可知 $\frac{t_1}{t_2} = \frac{v_{01}}{v_{02}} = \frac{1}{\sqrt{3}}$, 故 A 正确, C 错误; 落到斜面上的瞬间, 重力的瞬时功率 $P = mgv_y = mg^2 t \propto t$, 可知 $\frac{P_1}{P_2} = \frac{t_1}{t_2} = \frac{1}{\sqrt{3}}$, 故 B 错误; 落到斜面上时, 速度偏向角的正切值 $\tan \theta = \frac{gt}{v_0} = 2 \tan \alpha$, 可知 $\theta_1 = \theta_2$, 故 D 正确.

9. AD 【解析】由题图可知, 汽车最大速度为 v_2 , 当汽车达到最大

速度后有 $P=fv_2$, 可知 $f=\frac{P}{v_2}$, 故 A 正确; $0\sim t_1$ 时间内汽车做匀加速运动, 由 $v-t$ 图像可得位移 $x=\frac{v_1 t_1}{2}$, 阻力做负功, 所以 $W_f = -\frac{v_1 t_1 P}{2v_2}$, 故 B 错误; $0\sim t_1$ 时间内牵引力 F 不变, t_1 时刻 $P=Fv_1$, 当汽车速度大小为 $\frac{v_1}{2}$ 时, 功率 $P'=F \cdot \frac{v_1}{2} = \frac{P}{2}$, 故 C 错误; 汽车速度大小为 $\frac{v_1+v_2}{2}$ 时, 牵引力大小为 $F'=\frac{P}{\frac{v_1+v_2}{2}}=\frac{2P}{v_1+v_2}$, 根据牛顿第二定律有 $F'-f=ma$, 得 $a=\frac{F'-f}{m}=\frac{(v_2-v_1)P}{m(v_2+v_1)v_2}$, 故 D 正确.

10. (1) 见解析 (2) 800 J -400 J (3) 400 J

【解析】(1) 木箱受拉力 F 、重力 G 、地面的支持力 F_N 和阻力 F_f 作用, 受力分析如图所示.



(2) 绳的拉力对木箱做的功为 $W_F=FL\cos\theta=800\text{ J}$, 地面的阻力对木箱做的功为 $W_{\text{阻}}=-F_f L=-400\text{ J}$.

(3) 重力和地面对木箱的支持力不做功, 合外力对木箱做的总功为 $W=W_F+W_{\text{阻}}=400\text{ J}$.

11. (1) 12 J (2) 8 s

【解析】(1) P 、 Q 间的最大静摩擦力 $f_1=\mu_1 mg=4\text{ N}$, P 与水平面间的最大静摩擦力 $f_2=\mu_2(M+m)g=12\text{ N}$, 得 $f_1<f_2$, 所以对 Q 施加一个水平向右的恒力 $F_1=16\text{ N}$ 时, P 保持静止, 对 Q 分析, 根据牛顿第二定律有 $F_1-\mu_1 mg=ma_1$, 得 $a_1=\frac{F_1-\mu_1 mg}{m}=6\text{ m/s}^2$, 撤去恒力后 Q 的加速度大小 $a_2=\mu_1 g=2\text{ m/s}^2$, 撤去恒力后, Q 恰好滑到 P 的最右端时速度减为 0, 此时恒力做功最少, 由 $x=\frac{v^2}{2a}$ 可知, 撤去恒力前后 Q 的位移之比为 1:3, 所以 $x_1=\frac{1}{4}\times\frac{1}{2}L=0.75\text{ m}$, 则 $W_{F_1}=F_1 x_1=12\text{ J}$.

(2) P 、 Q 能保持相对静止的最大加速度 $a_0=\mu_1 g=2\text{ m/s}^2$, 假设施加恒力后 P 、 Q 一起加速, 则 $a_3=\frac{F_2-\mu_2(M+m)g}{M+m}=0.5\text{ m/s}^2<a_0$, 所以 P 、 Q 一起加速, 设加速时间为 t_2 , 则 $v=a_3 t_2$, 撤去恒力后, 对 Q 分析有减速的加速度大小 $a_2=2\text{ m/s}^2$; 对 P 分析有减速的加速度大小 $a_4=\frac{\mu_2(M+m)g-\mu_1 mg}{M}=8\text{ m/s}^2$, 所以 P 先停止, Q 停止在 P 的最右端时, 恒力的作用时间最短, 则有 $\frac{v^2}{2a_2}=\frac{v^2}{2a_4}$, 解得 $t_2=8\text{ s}$.

第3节 动能和动能定理

课时1 动能、动能定理的理解及简单应用



对点上分

1. **A** 【解析】物体由于运动而具有的能量是动能,运动的物体都具有动能,故 **A 正确**;物体在参考平面以下时重力势能是负的,在参考平面以上时重力势能是正的,物体的动能 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$,质量为正值,速度的平方为非负值,则动能一定为非负值,故 **B 错误**;一定质量的物体,动能变化,则速度的大小一定变化,所以速度一定变化,速度变化时,动能不一定变化,比如做匀速圆周运动的物体,速度方向变化,大小不变,所以速度变化但动能不一定变化,故 **C 错误**;动能不变的物体,速度方向可能变化,物体不一定处于平衡状态,如匀速圆周运动中,物体的动能不变,但物体不处于平衡状态,故 **D 错误**.

关键点拨 动能与速度的关系

动能是标量,速度是矢量,当动能发生变化时,物体的速度(大小)一定发生了变化;当速度发生变化时,可能仅是速度的方向变化,物体的动能可能不变.

2. **C** 【解析】动能 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$,动能大小由速度的平方决定,而非速度变化量,例如,物体速度从 5 m/s 变为 -5 m/s,速度变化量 $\Delta v = -10$ m/s,但动能相同,因此速度变化量大小与动能大小无直接关系,故 **A 错误**;动能变化量取决于速度平方的变化,若速度大小不变仅方向改变(如匀速圆周运动),速度变化量虽大,但动能变化量为零,因此速度变化量大小与动能变化量无必然联系,故 **B 错误**;根据动能定理 $W_{\text{合}} = \Delta E_k$,动能变化量等于合外力做的功,合外力对物体做功越多,动能变化量必然越大,故 **C 正确**;依据动能定理 $W_{\text{合}} = \Delta E_k$,明确合外力做功与动能变化量的唯一对应关系

故 **C 正确**;合力 $F = ma$,而加速度 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$,速度变化量 Δv 大时,若时间 Δt 也大,则加速度可能很小,即合力不一定大,因此合力大小与速度变化量无直接关系,故 **D 错误**.

关键点拨 动能定理核心应用

无需关注过程中速度变化的具体细节,只需通过合外力做功的多少,直接判断动能变化量的大小,避免被速度变化量干扰.

3. C



攻略上分 本题考查利用动能定理求变力做功,用到通法攻略 28 中“选取研究对象(水杯 B)”“选取研究过程(从静止到 A 即将发生相对滑动)”“受力分析(A 即将发生相对滑动时静摩擦力达到最大)”“确定初、末状态(求 B 的末速度)”,再用动能定理算转台对 B 的功.

【解析】根据牛顿第二定律有 $\mu mg = m\omega^2 r$,由于 A 的转动半径较

大,则 A 水杯先滑动,此时 $\omega = \sqrt{\frac{\mu g}{R}}$, B 的速度大小为 $v = \frac{R}{2}\omega$,根据动能定理可知,在这一过程中转台对水杯 B 所做的功为 $W = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{8}\mu mgR$,故 **C 正确**.

- 4. B** 【解析】小球从平衡位置 P 点缓慢地移动到 Q 点的过程中,重力与水平拉力做功,根据动能定理有 $W_1 - mgl(1 - \cos \theta) = 0$,则拉力 F 所做的功为 $W_1 = mgl(1 - \cos \theta)$,故 **B 正确**.

易错警示 恒力做功和变力做功的求解混淆

误认为拉力 F 是恒力,其实小球在水平拉力的作用下,从 P 点缓慢地移动到 Q 点的过程中轻绳与竖直方向的夹角 θ 变化,水平拉力 F 是变力,故不能利用 $W = Fl \sin \theta$ 求解,可根据动能定理进行求解.

- 5. A** 【解析】根据动能定理,依题意有 $\Delta E_k = 0 - 9.5 \text{ J} = -\mu mgx$,又因 $x = 5 \text{ m}$,解得 $\mu = 0.01$,根据 $\frac{1}{2}mv_0^2 = 9.5 \text{ J}$,解得 $v_0 = 1 \text{ m/s}$,故 **A 正确**.

- 6. B** 【解析】小物块在水平方向上受到恒力 F 和摩擦力 F_f 的作用,相对地面的位移大小为 $(L+x)$,则根据动能定理有 $\Delta E_k = \frac{1}{2}mv^2 - 0 = (F - F_f)(L+x)$,故 **A 错误**;小车相对地面的位移大小为 x ,在水平方向上仅受小物块对小车的摩擦力,根据动能定理有 $\Delta E'_k = \frac{1}{2}Mv'^2 - 0 = F_fx$,故 **B 正确**;小物块克服摩擦力做的功为 $W = F_f(L+x)$,故 **C、D 错误**.

课时 2 动能定理的综合应用

- 1. A** 【解析】设小球上升的最大高度为 h ,所受阻力大小为 f ,小球上升过程,由动能定理有 $-mgh - fh = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$,小球下落过程,由动能定理有 $mgh - fh = \frac{1}{2}m\left(\frac{v_0}{2}\right)^2 - 0$,联立解得 $f = \frac{3}{5}mg$,

点拨: 多过程直线运动优先分段列动能定理,利用相同物理量(如 h)联立求解未知力

故 **A 正确**.

- 2. B** 【解析】根据题意,由动能定理有 $mg(h+d) - W_f = 0$,由于 $f = kx$,则有 $W_f = fd = \frac{0+kd}{2} \cdot d = \frac{1}{2}kd^2$,联立解得 $k = \frac{2mg(h+d)}{d^2}$,

关键: 把在空中下落与在材料内运动两段作为全程处理,材料内阻力 $f = kx$ 用平均力计算功,全程列动能定理求 k

故 **B 正确**.

- 3. BC** 【解析】物块从 M 点开始到回到 M 点的过程中由动能定理可得 $-\mu mg \cdot 2x = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$,解得物块的初速度大小 $v_0 = 2\sqrt{\mu gx}$,

关键: 往返全程列动能定理求初速度(摩擦力做功 $= -\mu mg \cdot 2x$)

故 **A 错误, B 正确**;物块向右运动,速度最大时加速度为零,此时满足 $F_{\text{弹}} = \mu mg$,此时弹簧被压缩,则最大速度对应的位置在 N 点

点拨: 极值点通过“加速度为零”的临界条件分析

左侧,故 **C 正确, D 错误**.

注意说明 弹簧+摩擦系统: ①往返过程弹簧弹力不做功, 仅摩擦力做功; ②速度最大时合力为零, 即弹簧弹力与摩擦力平衡.

4. (1) 20 m/s (2) 0.5 (3) 390 N

【解析】(1) 游客在 AB 段做匀加速直线运动, 速度增大, 在 BC 段做匀减速直线运动, 速度减小, 所以整个滑雪过程中游客在 B 点的速度最大, 设最大速率为 v_m , 在 BC 段则有 $\frac{v_m}{2}t = L_2$, 其中 $t = 2.5$ s, 代入数据可得 $v_m = 20$ m/s.

(2) 游客在 AB 段运动过程, 由运动学公式有 $v_m^2 - 0 = 2a_1L$, 由牛顿第二定律有 $(m+M)g\sin 37^\circ - \mu(m+M)g\cos 37^\circ = (m+M)a_1$, 代入数据可得 $\mu = 0.5$.

(3) 在 BC 段对游客运用动能定理有 $-MgL_2\sin 11^\circ - f_{BC}L_2 = 0 - \frac{1}{2}Mv_m^2$, 代入数据可得 $f_{BC} = 390$ N.

5. C **【解析】** 滑块从 P 点到 Q 点的过程中根据动能定理有

$-\mu mgx_{PQ} = 0 - \frac{1}{2}mv_P^2$, 解得 $v_P = 1$ m/s, **故 A 错误**; 由运动学知识可知

滑块在水平地面上运动的时间为 $t = \frac{v_P}{\mu g} = 0.5$ s, **故 B 错误**; 滑块

沿圆弧轨道滑动过程中, 由动能定理有 $mgr - W_{克} = \frac{1}{2}mv_P^2$, 解得 $W_{克} =$

点拨: 曲线+直线多过程,

先从简单段(水平)求关键速度, 再推复杂段(圆弧)的功 0.4 J, **故 C 正确**; 在圆弧轨道最低点 P 时, 对滑块受力分析由牛

顿第二定律有 $F_N - mg = m\frac{v_P^2}{r}$, 解得 $F_N = 16$ N, 根据牛顿第三定律

可知, 滑块在 P 点时对轨道的压力大小 $F'_N = F_N = 16$ N, **故 D 错误**.

6. BCD **【解析】** 设滑块与斜面间的动摩擦因数为 μ , 滑块从静止

释放到第一次沿斜面上滑的最大高度为 $\frac{4}{5}H$ 的全过程, 根据动

能定理有 $mg\left(H - \frac{4}{5}H\right) - W_f = 0$, $W_f = W_{f1} + W_{f2}$, $W_{f1} = \mu mg\cos \alpha \cdot$

$\frac{H}{\sin \alpha}$, $W_{f2} = \mu mg\cos \alpha \cdot \frac{H}{\sin \alpha} \cdot \frac{4}{5}$, 联立解得 $W_{f1} = \frac{1}{9}mgH$, $\mu = \frac{1}{12}$,

故 A 错误, C 正确; 由于 $\mu = \frac{1}{12} < \tan \alpha$, 滑块最终不会停在斜面上,

左侧曲面光滑, 故滑块最终会停在斜面底端, **故 B 正确**; 滑块

从开始到最终停在斜面底端过程, 由动能定理有 $mgH - \mu mg\cos \alpha s = 0$, 解得 $s = 15H$, **故 D 正确**.

提醒: 总路程 s 包含在斜面上往返各段位移长度, 无须分段累加, 直接用重力和摩擦力做功等于动能变化量求解

7. ABC **【解析】** 设滑块第一次到达 D 点时, 弹簧具有的弹性势能为 E_p , 滑块从 A 点到 D 点, 由动能定理可得 $mgR - \mu mgL_{BC} -$

$mgL_{CD}\sin 30^\circ + W = 0$, 又由功能关系可得 $E_p = -W$, 解得 $E_p = 2$ J,

点拨: 含弹簧多过程, 需将“重力做功、摩擦力做功、弹簧弹力做功”纳入动能定理

故 A 正确;滑块最终停止在水平轨道 BC 上,设滑块在 BC 段运动的总路程为 s ,滑块从 A 点滑下到最终停下来的全过程,由动能定理可得 $mgR - \mu mgs = 0$,解得 $s = 2.5 \text{ m}$,由 $n = \frac{s}{L_{BC}} = 5$,可知整个运动过程中滑块完整滑过 BC 段 5 次,滑块最终停在 C 点,故 B 正确,D 错误;滑块在 D 点时,弹簧的压缩量 $x = 0.2 \text{ m}$,由 $E_p = \frac{1}{2}kx^2 = 2 \text{ J}$,解得 $k = 100 \text{ N/m}$,故 C 正确.

思路分析 以 A 到 D 为过程列动能定理,根据圆弧 AB 段重力做功、BC 段摩擦力做功、CD 段重力和弹簧弹力做功且初末速度为 0,结合功能关系求 D 点弹簧弹性势能;以从 A 点静止释放到最终停止为全程列动能定理,求滑块在 BC 段运动的总路程,结合 BC 长度判断滑过 BC 段次数并确定最终停止位置;再用弹性势能表达式和滑块在 D 点时弹簧的压缩量,求劲度系数.

8. A 【解析】设空气阻力大小为 f ,全程根据动能定理可得 $-f \times 2h = \Delta E_k$,其中 $\Delta E_k = 20 \text{ J} - 40 \text{ J} = -20 \text{ J}$, $h = 3 \text{ m}$,解得 $f = \frac{10}{3} \text{ N}$,上升过程中,根据动能定理可得 $-fh - mgh = \Delta E'_k$,其中 $\Delta E'_k = 0 - 40 \text{ J} = -40 \text{ J}$, $h = 3 \text{ m}$,解得 $m = 1 \text{ kg}$,故 A 正确.

9. A 【解析】设斜面与水平方向夹角为 θ , x 为物块水平方向的位移,从开始下滑到在水平面上运动,根据动能定理可知 $mgh - \mu mg \cos \theta \cdot \frac{x}{\cos \theta} = E_k - 0$,化简可得 $mgh - \mu mgx = E_k$,即物块在水平面上的同一位置,所有物理量相等,两图像是重合的,再取一个特殊点,当物块水平位移大小等于斜面 II 的水平长度时,物块在斜面 II 下降的高度比在斜面 I 下降的高度大,所以重力做功多,即在斜面上水平位移相等时沿斜面 II 下滑对应的动能大,故 A 正确.

一题多解 物块在斜面上运动时有 $E_k = mgx \tan \theta - \mu mgx$,斜面 II 倾角大则 $\tan \theta$ 大,故斜面 II 对应图像前半段的斜率较大

10. A 【解析】设篮球质量为 m ,向上抛出的初速度大小为 v_0 ,对应动能 E_{k0} ,上升、下降阶段加速度大小分别为 a_1 、 a_2 ,空气阻力大小为 f . 上升阶段,根据牛顿第二定律 $mg + f = ma_1$,下降阶段,根据牛顿第二定律 $mg - f = ma_2$,可知 $a_1 > a_2$,根据 $h = \frac{1}{2}at^2$,可知上升时间小于下降时间,上升阶段,有 $E_k = E_{k0} - ma_1 \cdot \left(v_0 t - \frac{1}{2}a_1 t^2 \right)$,下降阶段,有 $E_k = ma_2 \cdot \frac{1}{2}a_2(t - t_1)^2$,故 A 正确,B 错误;上升阶段,

关键: 上升阶段 $a_1 = g + \frac{f}{m}$, 加速度大, $E_k - t$ 图像更陡、所用时间短,下降阶段 $a_2 = g - \frac{f}{m}$, $E_k - t$ 图像较缓,且两段均为开口向上的抛物线

有 $E_k = E_{k0} - ma_1 \cdot h$,下降阶段,有 $E_k = ma_2 \cdot (h_0 - h)$,可知上升阶段的斜率的绝对值大于下降阶段的斜率的绝对值,且在最高点

h_0 处动能应为零,且 E_k-h 图线均为直线,故 C、D 错误.

关键: E_k-h 图像斜率表示为合外力

($mg \pm f$, 恒定), 应为直线

11. AD 【解析】物块运动的线速度 $v = \omega r = \frac{\omega_0}{t_0} rt$, 则加速度大小为

$a = \frac{r\omega_0}{t_0}$, 故 A 正确, B 错误; 由于不知道摩擦力大小, 因此无法求

易错: 混淆“角速度增大”与“加速度增大”, 误将速度

变化等同于加速度变化

轻绳的拉力大小, 故 C 错误; 根据动能定理, 合外力对物块做的

功 $W = \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mr^2\omega_0^2$, 故 D 正确.

点拨: 用动能定理将“合外力功”转化为“动能差”, 避

开未知摩擦力

12. D 【解析】设运动半径为 R_1 和 R_2 时小球做圆周运动的线速度

大小分别为 v_1 和 v_2 , 由向心力公式得 $F_1 = \frac{mv_1^2}{R_1}$, $F_2 = \frac{mv_2^2}{R_2}$, 由动能

定理得 $W = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$, 联立解得 $W = \frac{1}{2}(F_2R_2 - F_1R_1)$,

点拨: 利用向心力公式与动能定理的关联, 消去其中的速度,

直接求变力做的功

故 D 正确.

13. BC 【解析】高尔夫球的重力势能的减少量为 $mg(H+h)$, 故 A

错误; 对高尔夫球从坡上击出到落至坑底的过程, 根据动能定理,

合外力对高尔夫球所做的功等于高尔夫球动能的变化量 $W =$

$0 - \frac{1}{2}mv_0^2 = -\frac{1}{2}mv_0^2$, 故 B 正确; 设地面对高尔夫球做的功为 W_1 ,

点拨: 直接用初、末动能差求合外力做的功, 避开复杂的

分段受力分析

则由动能定理有 $mg(H+h) + W_1 = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$, 解得 $W_1 = -mg(H+$

$h) - \frac{1}{2}mv_0^2$, 故 C 正确, D 错误.

关键点拨 全程用动能定理解题时, 先明确初末状态: 初态是

球被击出, 动能为 $\frac{1}{2}mv_0^2$; 末态是球落至坑底静止, 动能为 0.

再梳理力的做功: 重力做正功, 大小为 $mg(H+h)$; 地面对球的力做负功, 记为 W_1 . 最后列全程动能定理方程, 无须拆分平抛和砸坑阶段, 直接求解 W_1 , 简化计算.



能力上分

1. C 【解析】依题意, 滑块上滑过程, 由动能定理可得 $-(mg\sin\theta +$

$\mu mg\cos\theta)L = 0 - \frac{1}{2}mv^2$, 其中 $L = \frac{v}{2}t$, 滑块下滑过程, 由动能定理

可得 $(mg\sin\theta - \mu mg\cos\theta)L = \frac{1}{2}mv'^2 - 0$, 其中 $L = \frac{v'}{2} \times 2t$, 联立解得

$$\mu = \frac{3}{5} \tan \theta, \text{故 C 正确.}$$

易错警示 漏算摩擦力做功,或误将上滑、下滑的摩擦力方向搞反,两段过程中摩擦力均做负功

2. A 【解析】物块的初动能为 100 J, 根据 $E_{k0} = \frac{1}{2}mv_0^2$, 可得物块的

初速度大小 $v_0 = \sqrt{\frac{2E_{k0}}{m}} = 10 \text{ m/s}$, **故 A 错误**; 由图乙可知, 物块上升的最大高度为 $h = x_0 \sin 37^\circ = 5 \times 0.6 \text{ m} = 3 \text{ m}$, **故 C 正确**; 由动能定理有 $-mgh - \mu mg \cos 37^\circ \cdot x_0 = 0 - E_{k0}$, 解得物块和斜面间的动摩擦因数为 $\mu = 0.5$, **故 B 正确**; 物块上滑和下滑时克服摩擦力做功均为 $W_f = \mu mg \cos 37^\circ \cdot x_0 = 40 \text{ J}$, 物块从开始上滑到回到斜面底端时根据动能定理有 $-2W_f = E_k - E_{k0}$, 解得 $E_k = 20 \text{ J}$, **故 D 正确**. 此题选择不正确的, 故选 A.

3. AC 【解析】 $O \sim h$ 段小汽车以额定功率运动, 则根据 $P = Fv$, 随着速度的增大, 牵引力减小, 根据牛顿第二定律可知 $F - f = ma$, 加速度也减小, 所以在 $O \sim h$ 段, 小汽车做加速度减小的加速运动, **故 A 正确**; 当牵引力等于阻力时, 小汽车做匀速直线运动, 即 $F_1 = f = kmg$, 此时动能为 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = 2mgh$, 解得 $v = 2\sqrt{gh}$, 则小汽车的额定功率为 $P = F_1 v = kmg \cdot 2\sqrt{gh} = 2kmg\sqrt{gh}$, **故 B 错误, C 正确**; 在 $2h \sim 3h$ 段, 小汽车速度减小, 此时根据 $E_k - x$ 图像的斜率表示合外力, 有 $ma(3h - 2h) = 0 - E_k$, $a = -2g$, 则加速度大小为 $2g$, **故 D 错误**.

4. (1) 12 m/s 6 s (2) 346.5 m

思路分析 本题为汽车恒定加速度启动问题, 分“匀加速(OA 段)→额定功率行驶(AB 段)→匀速(BC 段)”三阶段. 先根据牛顿第二定律求匀加速阶段牵引力, 结合额定功率求匀加速阶段最大速度与时间; 再用动能定理求 AB 段的路程, 核心是明确各阶段功率、牵引力与速度的关系.

【解析】(1) 根据牛顿第二定律 $F - f = ma$, 解得匀加速时汽车的牵引力为 $F = 5\,000 \text{ N}$, 当汽车达到额定功率时, 匀加速阶段的速度达到最大, 为 $v_1 = \frac{P}{F} = 12 \text{ m/s}$, 所用时间为 $t_1 = \frac{v_1}{a} = 6 \text{ s}$.

点拨: 恒定加速度启动分为匀加速阶段 (F 恒定) 和变加速阶段 (P 恒定)

(2) 当牵引力与阻力平衡时, 汽车达到最大行驶速度, 即 $v_2 = \frac{P}{f} = 30 \text{ m/s}$, 汽车在 $t_1 \sim t_2$ 时间内, 根据动能定理 $P(t_2 - t_1) - fs = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$, 解得 $s = 346.5 \text{ m}$.

提醒: 变加速阶段功率恒定, 牵引力做功为 $W = P(t_2 - t_1)$, 阻力做功为 $W_f = -fs$, 其中 s 为路程

5. (1) $\sqrt{2gR}$ (2) $2R$ $2\sqrt{gR}$ (3) $2mg$ 不能

【解析】(1)对物块第一次通过桌面右边缘后的运动过程,由动能

定理有 $-\mu mg \cdot 2R = 0 - \frac{1}{2}mv^2$, 解得 $v = \sqrt{2gR}$.

(2)设物块从地面抛出到第一次通过桌面右边缘所用的时间为

t , 有 $x = vt$, $R = \frac{1}{2}gt^2$, 解得 $x = 2R$, 物块抛出时沿竖直方向的分速

度大小 $v_y = gt$, 又 $v_0 = \sqrt{v^2 + v_y^2}$, 解得 $v_0 = 2\sqrt{gR}$.

(3)设物块第一次通过圆弧轨道底端时的速度大小为 v' , 由动能

定理有 $-\mu mgR = \frac{1}{2}mv'^2 - \frac{1}{2}mv^2$, 解得 $v' = \sqrt{gR}$, 设物块在第一次

通过圆弧轨道底端时所受圆弧轨道的支持力大小为 F' , 有

$F' - mg = m \frac{v'^2}{R}$, 根据牛顿第三定律有 $F = F'$, 解得 $F = 2mg$, 设物块

第一次通过圆弧轨道底端后最高能到达距桌面的高度为 h 处,

由动能定理有 $-mgh = 0 - \frac{1}{2}mv'^2$, 解得 $h = \frac{R}{2}$, 因为 $h < R$, 所以物块

不能到达圆弧轨道的最高点.

6. (1) $\sqrt{2}$ m/s (2) $1.5 \text{ m} \leq L_1 \leq 4 \text{ m}$ (3) 2.75 m 3 J

【解析】(1)若滑块恰好能通过圆轨道的最高点 D , 则 $mg = m \frac{v_D^2}{R}$,

解得 $v_D = \sqrt{2}$ m/s.

(2)滑块经过圆轨道时不脱轨且能通过最高点, 则 $v_D' \geq \sqrt{2}$ m/s,

根据动能定理 $mgL_1 \sin \theta - \mu mgL_1 \cos \theta - 2mgR = \frac{1}{2}mv_D'^2 - 0$, 解得

$L_1 \geq 1.25 \text{ m}$. 若滑块恰好到达 F 点, 则 $mgL_1 \sin \theta - \mu mgL_1 \cos \theta -$

$\mu mgL_2 = 0$, 解得 $L_1 = 1.5 \text{ m}$. 综上, 滑块经过圆轨道时不脱轨且最

终能落在挡板 MN 上, 需满足 $L_1 \geq 1.5 \text{ m}$. 因圆轨道能承受来自

滑块的最大压力 $F_{\max} = 34 \text{ N}$, 当在最低点 $F_{\max} - mg = m \frac{v_{C\max}^2}{R}$,

$mgL_1 \sin \theta - \mu mgL_1 \cos \theta \leq \frac{1}{2}mv_{C\max}^2$, 解得 $L_1 \leq 4 \text{ m}$, 所以 L_1 需满足

条件的范围 $1.5 \text{ m} \leq L_1 \leq 4 \text{ m}$.

(3)设滑块在 F 点的速度大小为 v_0 , 则 $x = v_0 t$, $H - y = \frac{1}{2}gt^2$ 且 $y =$

$0.5x^2$, 整理得 $v_0^2 = \frac{10y}{2-y} (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}) = \frac{20}{2-y} - 10 (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2})$, 落在挡板

上时的动能 $E_k = \frac{1}{2}mv_0^2 + mg(H-y) = \frac{2}{2-y} - 2y + 3 (\text{J})$, 当 $y = 1$ 时, E_k

最小, 为 $E_k = 3 \text{ J}$, 则代入上面方程解得 $v_0 = \sqrt{10}$ m/s, 根据

$mgL_1 \sin \theta - \mu mgL_1 \cos \theta - \mu mgL_2 = \frac{1}{2}mv_0^2$, 解得 $L_1 = 2.75 \text{ m}$.

第4节 机械能守恒定律

课时1 机械能守恒定律的理解及应用



对点上分

1. D 【解析】从1到3的过程中, 由于题图无法反映位移大小, 故

无法判断速度变化情况,即动能变化情况未知,故 A 错误;从 4 到 7 的过程中,杆的形变量先增大后减小,故杆的弹性势能先增大后减小,故 B 错误;从 6 到 8 的过程中,运动员的高度逐渐增大,重力势能逐渐增大,故 C 错误;从 6 到 8 的过程中,杆的形变量逐渐减小,弹性势能逐渐减小,故 D 正确。

关键点拨 撑杆跳能量变化:①助跑阶段(动能增加,势能不变);②撑杆形变阶段(动能转化为弹性势能和重力势能);③撑杆形变恢复阶段(弹性势能转化为动能和重力势能);④下落阶段(重力势能转化为动能),分阶段结合速度、高度、形变判断能量变化。

2. C

攻略上分 本题用到通法攻略 30 的“做功分析法”(分析除重力、弹力外其他力的做功情况)和“能量转化法”(判断是否有其他能量产生)。逐一分析选项中“对象”的受力及能量变化,判断是否只有重力或弹力做功,机械能是否守恒。

【解析】做匀速圆周运动的物体,机械能不一定守恒,如在竖直平面内做匀速圆周运动的物体,动能不变,重力势能不断变化,机械能就不断变化,故 A 错误;变速运动的物体机械能可能守恒,如在竖直面内做平抛运动的物体,其运动过程中只有重力做功,机械能一定守恒,故 B 错误, C 正确;做自由落体运动的物体,其运动过程中只有重力做功,机械能一定守恒,故 D 错误。

3. CD

攻略上分 本题用到通法攻略 30 的“做功分析法”(分析系统内外力做功)和“能量转化法”(判断系统能量转化)。对甲、乙、丙、丁图分别确定研究系统,分析内力和外力的做功情况,判断机械能是否守恒。

【解析】图甲中,物体 A 将弹簧压缩的过程中,弹簧弹力对物体 A 做负功,物体 A 机械能不守恒,物体 A 与弹簧组成的系统机械能守恒,故 A 错误;图乙中,物体 B 沿固定斜面匀速下滑,说明 B 受到摩擦力的作用,物体 B 机械能在减少,故 B 错误;图丙中,不计任何阻力和定滑轮质量时,在 A 加速下落、B 加速上升过程中,A、B 组成的系统只有重力和系统内弹力做功,A、B 组成的系统机械能守恒,故 C 正确;图丁中,系在轻绳一端的小球向下摆动时,只有重力做功,轻绳拉力不做功,则小球机械能守恒,故 D 正确。

注意说明 分析机械能守恒问题,要注意研究对象,单个物体和系统的机械能变化往往不同。

4. C 【解析】不计空气阻力,企鹅做斜上抛运动,企鹅经过最高点时速度不为 0,则动能不为 0,故 A 错误;若企鹅以同样大小的

速度竖直向上起跳,由动能定理知,重力做功等于动能的变化量,在两种情况下,企鹅的初动能相同,重力做功相同,则末动能相同,即落水时速度大小相同,故 B 错误;以海面为零势能面,由机械能守恒定律知 $W_G + \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv^2 + 0$, 则重力做功为 $W_G = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$, 故 C 正确;企鹅做斜上抛运动,速度方向和大小不断变化,故 D 错误.

5. B

◎ 攻略上分 本题用到通法攻略 30 的“做功分析法”(分析除重力、弹力外其他力的做功情况)和“能量转化法”(判断是否有其他能量生成).逐一分析选项中“对象”的受力及能量变化,判断是否只有重力或弹力做功,机械能是否仅在动能与势能间转化.

【解析】在刚抛出时,物体的动能为 $\frac{1}{2}mv^2$,重力势能为 mgH ,机械能为 $E = \frac{1}{2}mv^2 + mgH$,在下落过程中,只有重力做功,因此该物体的机械能守恒,即物体在 A 点的机械能等于物体在刚抛出时的机械能,即 $E_A = E = \frac{1}{2}mv^2 + mgH$,故 A、D 错误, B 正确;根据机械能守恒得 $\frac{1}{2}mv^2 + mgH = mgh + E_{kA}$, 则 $E_{kA} = \frac{1}{2}mv^2 + mgH - mgh$, 故 C 错误.

点拨: 列等式时,先写全初态能量(动能+势能),再等于末态能量,避免漏项

6. (1) 8 N (2) 2 m/s (3) -8 J (4) 1 s

◎ 思路分析 本题研究“细绳连接的 A、B 系统”,整体围绕“牛顿第二定律求加速度与拉力”“机械能守恒和运动学求 A 着地速度”“功的公式求拉力做功”“机械能守恒、牛顿第二定律和运动学求 B 返回时间”展开,核心是通过“整体法+隔离法”求受力,用“能量/运动学”求速度,再分析 B 断开后的运动.

【解析】(1) 设物体 A 着地前,整体的加速度大小为 a_1 ,对物体 A 进行受力分析,根据牛顿第二定律有 $mg - T = ma_1$,对 B 分析,根据牛顿第二定律有 $T - mgsin \theta = ma_1$,

点拨: 用“隔离法”对系统内物体分别根据牛顿第二定律列式,通过“绳拉力大小相等、加速度大小相等”联立

联立解得 $T = 8 \text{ N}$, $a_1 = 2 \text{ m/s}^2$.

(2) 设物块 A 着地的速度为 v_1 ,根据速度—位移公式有 $v_1^2 = 2a_1h$,解得 $v_1 = 2 \text{ m/s}$.

(3) 物体 A 从运动到落地过程中,绳上的拉力对物体 A 做的功为 $W_T = -Th = -8 \text{ J}$.

(4) 由题意分析可知,在绳断之前,物体 B 的速度大小等于物体 A 的速度大小,为 $v_1 = 2 \text{ m/s}$,

设物体 B 再次回到斜面底端时的速度大小为 v_B , 根据机械能守

$$\text{恒定律有 } \frac{1}{2}mv_B^2 = mgsin\theta \cdot h + \frac{1}{2}mv_1^2,$$

点拨: 绳断后分“上滑-下滑”阶段, 用机械能守恒求末速度, 再借运动学公式求总时间, 简化多过程分析

解得 $v_B = 4 \text{ m/s}$,

绳断开之后, 设物体 B 在斜面上运动的加速度为 a_2 , 根据牛顿第二定律有 $ma_2 = mgsin\theta$,

解得 $a_2 = 6 \text{ m/s}^2$,

取沿斜面向下的方向为正方向, 知 $v_{B1} = -2 \text{ m/s}$, 根据速度—时间公式 $v_B = v_{B1} + a_2 t_2$,

解得 $t_2 = 1 \text{ s}$.

7. B



攻略上分

本题用到通法攻略 30 的“机械能守恒条件的理解”, 满足“只有重力做功(无摩擦、空气阻力)”的守恒条件. 选滑雪爱好者为研究对象, C 点所在平面为零势能面, 先算 A 点机械能(动能+势能), 再借守恒关系得 B 点机械能, 核心是忽略中间过程, 直接关联初末态能量.

【解析】 设滑雪爱好者在 C 点时的重力势能为零, 则在 A 点的机械能 $E_A = mgh_{AC} = 2400 \text{ J}$, 根据机械能守恒可知, 其在 B 点的机械能为 $E_B = E_A = 2400 \text{ J}$, 故 B 正确.

点拨: 用“零势能面+高度差”算势能, 借守恒跳过 B 点速度计算, 快速得结果

8. D



攻略上分

本题用到通法攻略 30 的“机械能守恒条件的理解”. 选被抛物体为研究对象, 以地面为零势能面, 物体运动过程中仅重力做功, 机械能守恒. 通过初态机械能(动能+势能)判断各选项, 关键是明确海平面处势能为负, 且全程机械能等于初态机械能.

【解析】 若以地面为零势能面, 物体到海平面时的重力势能为 $-mgh$, 故 A 错误; 物体到海平面之前任一位置机械能均等于在地面时的机械能, 即为 $E = \frac{1}{2}mv_0^2$, 故 B 错误, D 正确; 物体在海平面上的动能为 $E_k = \frac{1}{2}mv_0^2 + mgh$, 故 C 错误.

提醒: 根据机械能守恒, 海平面动能+海平面重力势能=地面动能

9. B



思路分析

结合“四分之三圆形轨道的曲线运动”与“ v^2-x 图像”, 利用“机械能守恒定律”“牛顿第二定律”, 分析“ C 点作用力方向”“ A 点初速度”“ M 点对应位置”“ B 点作用力”, 核心是从图像提取关键速度信息—— C 点 v 最小, B 点 v 最大.

【解析】 由图可知, 小球运动到 C 点时速度最小, 对应图中 P 点,

根据 $mg+F=\frac{mv_C^2}{R}$, 解得 $F=-5\text{ N}$, 负号表示小球受到轨道向上的

力, 根据牛顿第三定律, 小球运动到 C 点时对轨道的作用力方向
竖直向下, 故 A 错误; 从 A 点到达最高点 C , 以 A 点所在平面

点拨: 先用向心力公式求轨道对小球的力, 再用牛顿第三定律反推小球对轨道的力

为零势能面, 根据机械能守恒定律有 $\frac{1}{2}mv_C^2+mgR=\frac{1}{2}mv_A^2$, 解得 $v_A=$

10 m/s , 故 B 正确; 图乙中的 M 点不一定对应小球运动过程中的

提醒: A 点与圆心等高, C 点在最高点, 竖直方向上的高度差为 R

A 点, 也可以表示轨道左侧与 A 等高的点, 故 C 错误; 从 A 点到 B

点, 根据机械能守恒定律, $-mgR+\frac{1}{2}mv_B^2=\frac{1}{2}mv_A^2$, 在 B 点根据牛

顿第二定律 $F_N-mg=\frac{mv_B^2}{R}$, 根据牛顿第三定律 $F_{\text{压}}=F_N$, 解得 $F_{\text{压}}=$

55 N , 故 D 错误.

点拨: 先通过机械能守恒定律求 B 点速度, 再用向心力公式求轨道支持力

10. (1) 0.4 s (2) 60 N , 方向竖直向下

【解析】(1) 对小球在 C 点由重力提供向心力有 $mg=m\frac{v^2}{R}$,

解得 $v=3\text{ m/s}$,

对小球, 从 C 点运动到 D 点, 由平抛规律有 $\tan\theta=\frac{v}{gt}$,

得 $t=0.4\text{ s}$.

(2) 对小球, 从 B 点运动到 C 点, 由机械能守恒定律得 $2mgR=$

$\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}mv^2$,

对小球, 在 B 点有 $N-mg=\frac{mv_0^2}{R}$,

解得 $N=60\text{ N}$,

由牛顿第三定律得, 小球对轨道的压力为 60 N , 方向竖直向下.

点拨: 用机械能守恒关联 B 、 C 两点速度, 再用牛顿第二定律求轨道支持力, 最后用牛顿第三定律得压力

注意说明 恰好能从最高点飞出圆形轨道说明: ①若小球在外轨上运动, 临界条件为“重力提供向心力, 轨道弹力为 0”; ②若小球在管内运动, 临界速度可为 0, 需明确轨道类型, 本题为外轨, 按重力提供向心力计算.

课时 2 系统机械能守恒定律的应用

1. B

攻略上分 本题用到大招攻略 31 的“绳模型”, 核心是借速度关联判断 P 的速度为零的时刻, 用做功判断机械能变化.

【解析】根据题意，由图可知， P 、 Q 沿绳方向的速度大小始终相同，但 P 、 Q 速度大小不相同，故 A 错误； $\theta=90^\circ$ 时， Q 在 O 点正下方，速度方向水平，绳子与运动方向垂直， Q 沿绳方向速度为零，所以 P 的速度为零，故 B 正确；根据上述分析可知， P 的速度是

关键： P 、 Q 沿绳方向分速度大小相等，但速度大小不同

方，速度方向水平，绳子与运动方向垂直， Q 沿绳方向速度为零，所以 P 的速度为零，故 B 正确；根据上述分析可知， P 的速度是

点拨： 借特殊位置 ($\theta=90^\circ$) 快速判断关联速度

从零到零，所以加速度先向下后向上，先失重后超重，故 C 错误；机械能的变化量看除重力以外的其他力做功，即绳的拉力做功， θ 向 90° 增大的过程中， P 一直向下运动，绳的拉力做负功，故 P 的机械能一直减小，故 D 错误。

提醒： 除重力外其他力做负功，机械能必减小

2. BD 【解析】根据动滑轮特性， A 的位移为 h 时，细线自由端下降的高度为 $2h$ ，故 B 下降的高度为 $2h$ ，则 B 的速度大小是 A 的两倍，设 A 的速度为 v ，则 B 的速度大小为 $2v$ ，以 A 、 B 两个物体组成

提醒： 动滑轮特性是物体位移是线端的二分之一，速度也为二分之一

的系统为研究对象，由机械能守恒定律得 $2mg \times 2h - mgh = \frac{1}{2}mv^2 +$

$\frac{1}{2} \times 2m(2v)^2$ ，解得 $v = \frac{\sqrt{6gh}}{3}$ ，则 B 的速度大小为 $\frac{2\sqrt{6gh}}{3}$ ，

点拨： 先明确动滑轮关联，再代入守恒方程，注意质量差异

故 A 错误，B 正确；运动过程中细线拉力对 B 做负功， B 的机械能不守恒，故 C 错误；运动过程中细线拉力对 B 做的功大小等于细线对 A 做的功大小，等于 B 机械能的减少量，故 D 正确。

关键点拨 结合“根据动滑轮特性，由 A 的位移为 h 可得出 B 的位移为 $2h$ ，即 $v_B = 2v_A$ ”“系统机械能守恒”“机械能变化”进行判断，核心是利用动滑轮的位移与速度关系。

3. C

攻略上分 本题用到大招攻略 31 的“绳模型”（甲的速度沿绳分速度等于乙的速度），通过几何关系得位移，列守恒方程求甲的动能，关键是区分单体与系统守恒。

【解析】在 B 位置对甲进行受力分析，由平衡条件得 $T \cos \alpha = mg$ ，对乙由平衡条件得 $T = Mg$ ，联立解得 $\alpha = 60^\circ$ ，故 A 错误；当甲到达最低点时速度为零，甲从 A 点到最低点的过程中，对乙、甲组成的系统，由机械能守恒定律得 $mgh = Mg(\sqrt{L^2 + h^2} - L)$ ，联立解得 $h = \frac{16}{3}m$ ，故 B 错误；当甲运动到 B 点时所受合力为零，速度最大，对乙、甲组成的系统，由机械能守恒定律得 $mg \frac{L}{\tan \alpha} =$

$Mg\left(\frac{L}{\sin \alpha}-L\right)+\frac{1}{2}mv^2+\frac{1}{2}Mv'^2$, 根据速度的分解有 $v'=v\cos \alpha$, 联立解得 $v \approx 3.8 \text{ m/s}$, **故 C 正确**; 甲下降 $H=3 \text{ m}$ 时, 根据速度的分解有 $v_M=v_m\cos \theta$, $\cos \theta=\frac{H}{\sqrt{H^2+L^2}}$, 乙上升的高度为 $H'=\sqrt{H^2+L^2}-L$, 对乙、甲组成的系统, 由机械能守恒定律得 $mgH=M'gH'+\frac{1}{2}mv_m^2+\frac{1}{2}M'v_M^2$, 解得 $\frac{M'}{m}=\frac{35}{29}$, **故 D 错误**.

注意说明 注意物块甲的速度包括沿绳方向的速度和垂直于绳方向的速度, 求乙速度时要注意甲速度的分解.

4. D

攻略上分 本题用到大招攻略 31 的“杆模型”(甲、乙速度沿杆方向分速度相同), 根据乙初末速度为 0, 列方程求甲到最低点的速度, 关键是分析甲的机械能变化(杆的弹力做功).

【解析】两小球沿轻杆方向的速度大小相等, 当小球甲刚要落地时, 小球甲沿轻杆方向的分速度为零, 此时小球乙的速度为零, 因此小球乙向右先加速后减速, 轻杆对小球乙先施加推力后施加拉力, 轻杆对小球甲也是先施加推力后施加拉力, 因此轻杆对小球甲先做负功后做正功, 小球乙的动能先增大后减小, **故 A、C 错误**; 小球甲和乙组成的系统机械能守恒, 小球乙的机械能先增大后减小, 因此小球甲的机械能先减小后增大, **故 B 错误**; 当小球甲刚要落地时, 小球乙的速度为零, 则小球甲减少的重力势能全部转化为小球甲的动能, 则此时小球甲的速度最大, **故 D 正确**.

5. B 【解析】以 BC 所在水平面为零势能面, 小球 a 、 b 组成的系统机械能守恒, 则有 $3mgR=3mgh_1+mgh_2$, 又 $h_2-h_1=R$, 解得 $h_2=\frac{3}{2}R$, 所以小球 b 能到达的最大高度为 $h=h_2+R=\frac{3}{2}R+R=\frac{5}{2}R$, **故 B 正确**.

6. BD 【解析】下落过程中, 轻杆对小球 b 做功, 故小球 b 的机械能不守恒, **故 A 错误**; 通过几何关系可知 $Ob=\sqrt{(ab)^2-(Oa)^2}=0.8 \text{ m}$, 小球 a 第一次经过 O 点时有最大速度且此时 b 的速度为 0, 对 a 、 b 组成的系统, 由动能定理有 $mg(ab-Ob)=\frac{1}{2}mv^2$, 联立解得小球 a 运动过程中的最大速度 $v=2 \text{ m/s}$, **故 B 正确**; 小球

点拨: 找 a 速度最大的临界状态, 结合几何关系求下落高度, 列守恒方程

a 和 b 组成的系统机械能守恒, 小球 a 处于 O 点右侧最远时, 小球 b 必处于出发时的位置, 即小球 a 在 O 点右侧最远距离应为 0.6 m , **故 C 错误**; 小球 b 向下运动的过程中速度最大时, 小球 b

易错: 误认“ a 会一直右移”, 忽略势能限制

所受合力为 0, 可知此时轻杆的弹力的竖直方向分力等于 mg , 故连接 a 、 b 的轻杆的弹力大小大于 mg , 故 D 正确.

方法总结 对于轻杆+双杆系统: ①找特殊状态(某物体速度为 0 时, 另一物体速度最大); ②某物体速度最大时, 其所受合力为 0, 通过受力分析判断杆的弹力; ③系统能量守恒时, 初末状态势能变化仅与物体的初始位置和末位置有关, 与路径无关.

7. D

攻略上分 本题用到大招攻略 31 的“弹簧模型”(自由下落 h_1 、弹簧压缩 h_2). 根据系统机械能守恒求弹性势能, 联立质量变化前后的能量方程求速度, 核心是区分小球与系统的机械能.

【解析】 小球到达 B 点时, 速度等于 0, 弹簧弹力大于小球重力, 小球到达 A 、 B 之间的 C 点时, 速度最大, 弹簧弹力等于小球重力,

点拨: 通过“速度先增后减”判断平衡位置在 A 、 B 之间, 非端点

故 A 错误; 小球下落过程中受弹簧弹力作用, 小球机械能减小, 小球和弹簧组成的系统机械能守恒, 故 B 错误; 小球减少的重力势能等于弹簧增加的弹性势能, 小球到达 B 点时弹簧弹性势能为 $mg(h_1+h_2)$, 故 C 错误; 根据题意得 $mg(h_1+h_2) = E_p$, $2mg(h_1+h_2) = E_p + \frac{1}{2} \cdot 2mv^2$, 解得 $v = \sqrt{g(h_1+h_2)}$, 故 D 正确.

提示: 两次压缩到 B 点, 弹簧弹性势能 E_p 相同, 可直接联立消去

8. CD

攻略上分 本题用到大招攻略 31 的“弹簧模型”(压缩弹簧: 弹力 < 重力 → 加速, 弹力 > 重力 → 减速; 弹簧弹起: 弹力 > 重力 → 加速, 弹力 < 重力 → 减速). 结合 $F-t$ 图像判断运动状态, 分析各阶段动能变化, 关键是抓“弹力 = 重力”的平衡位置(动能最大点).

【解析】 此运动过程, 弹簧对小球做功, 则小球的机械能不守恒, 故 A 错误; $t_1 \sim t_2$ 这段时间内, 弹簧处于开始压缩到达到最大压缩量的过程, 根据牛顿第二定律 $mg - F_{\text{弹}} = ma$, 可知小球受到的弹力开始时小于重力, 再等于重力, 后来大于重力, 所以小球的动能先增大, 后减小, 在 t_2 时刻小球的动能为零, 故 B 错误, C 正确;

点拨: 结合 $F-t$ 图像, 先找“ $F = mg$ ”的时刻, 此时动能最大, 再判断特殊点 F 最大或 $F = 0$ 时的动能

$t_2 \sim t_3$ 这段时间内, 小球的弹力从最大开始减小, 说明小球在由最低点上升, 小球受到的弹力开始时大于重力, 小球向上做加速运

动,后来小于重力,小球做减速运动,所以小球的动能先增大,后减小,故 D 正确.

9. D



攻略上分

本题用到大招攻略 31 的“弹簧模型”(P 到最低点时速度为 0,弹性势能最大). 借系统机械能守恒求弹性势能最大值,分析 P 的机械能变化(杆做负功导致其机械能减少),核心是扩展系统范围以满足守恒条件.

【解析】对于 P、Q 组成的系统,由于弹簧对 Q 做功,所以 P、Q 组成的系统的机械能不守恒. 但对 P、Q、弹簧组成的系统,只有重力或系统内弹簧弹力做功,故系统的机械能守恒,从 P 开始向下运动,轻杆一直阻碍 P 下落,对 P 做负功,所以 P 的机械能一直减小,故 A、B 错误;P 下降过程中,先加速下降达到最大速度后,再减速下降,对 P、Q 整体分析,在竖直方向上,根据牛顿第二定律有 $3mg - N = ma$,当 P 达到最大动能时有 $a = 0$,可得 $N = 3mg$,

易错: 漏算 P 的质量 m , 仅用 Q 的质量 $2m$ 计算支持力 $N = 2mg$

故 C 错误;当 P 运动到最低点时,速度为 0, Q 的速度也为 0,此时弹性势能达到最大,根据系统机械能守恒可得 $E_p = mgL(\cos 30^\circ - \cos 60^\circ)$,解得弹性势能的最大值为 $E_p = \frac{\sqrt{3}-1}{2}mgL$,

点拨: 用几何关系(杆长 L 、夹角 60°)求 P 下落高度,结合系统机械能守恒求弹性势能

故 D 正确.

10. (1) 30° (2) $g\sqrt{\frac{m}{k}}$

【解析】(1)物块 D 达到最大速度时,A、B、D 系统受力平衡,由平衡条件,对 D 有 $T = 2mg$,对 A、B 系统有 $4mg\sin \theta = T$,解得 $\theta = 30^\circ$.

(2)释放物块 D 前,对物块 A 有 $2mg\sin \theta = kx_1$,

物块 D 达到最大速度时,对物块 B 有 $2mg\sin \theta = kx_2$,得 $x_2 = x_1 = \frac{mg}{k}$,

即从静止释放物块 D 到物块 D 达到最大速度的过程中,弹簧的弹性势能不变,

则由机械能守恒定律得 $2mg(x_1 + x_2) = 2mg(x_1 + x_2)\sin 30^\circ + \frac{1}{2} \cdot 4mv_m^2$,

联立解得 $v_m = g\sqrt{\frac{m}{k}}$.

11. D **【解析】**设 U 形管的横截面积为 S ,液体的密度为 ρ . 拿去盖板,液体开始运动,根据机械能守恒定律得 $\rho \cdot \frac{1}{2}hSg \cdot \frac{1}{2}h =$

$$\frac{1}{2}\rho \cdot 4hSv^2, \text{解得 } v = \sqrt{\frac{1}{8}gh}, \text{故 D 正确.}$$

关键点拨 液体运动的整个过程仅有系统内动能和重力势能的转化,根据机械能守恒定律列式计算.

12. A 【解析】设链条的总质量为 m ,选取桌面为零势能面,则刚开始时的重力势能 $E_{p1} = -\frac{1}{3}mg \cdot \frac{1}{6}L$,整个链条刚离开桌面时的重力势能 $E_{p2} = -mg \cdot \frac{L}{2}$,在此过程中,重力势能减少量 $\Delta E_p = E_{p1} - E_{p2} = -\frac{1}{18}mgL - \left(-\frac{1}{2}mgL\right) = \frac{4}{9}mgL$,根据机械能守恒可得 $\Delta E_p = \frac{1}{2}mv^2$,即 $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{4}{9}mgL$,解得 $v = \frac{2\sqrt{2gL}}{3}$,故 A 正确.

关键点拨 分析链条的重力势能,要将桌面上的链条和垂在桌边的链条的重力势能相加,得到总的重力势能,求重力势能时要注意链条重心的位置.

13. BD 【解析】物块下降的高度为 $h=l$,物块重力做功为 $W=mgl$,所以物块重力势能减少了 $\Delta E_p = mgl$,物块减少的重力势能转化为软绳的机械能和物块自身的动能,故 A 错误, B 正确;

→ **关键:** 物块势能减少量为 mgl ,一部分转化为软绳机械能,一部分转化为物块动能

物块未释放时,软绳的重心离斜面顶端的高度为 $h_1 = \frac{l}{2} \sin 30^\circ =$

$\frac{l}{4}$,软绳刚好全部离开斜面时,软绳的重心离斜面顶端的高度

$h_2 = \frac{l}{2}$,则软绳重力势能共减少 $mg \cdot \left(\frac{l}{2} - \frac{l}{4}\right) = \frac{1}{4}mgl$,故 C 错误;

→ **提醒:** 需考虑软绳初态在斜面上的重心位置,与末态离开斜面的重心位置,差值为高度变化

根据动能定理有 $mgl + \frac{1}{4}mgl = \frac{1}{2}(m+m)v^2$,则 $v = \frac{1}{2}\sqrt{5gl}$,

→ **点拨:** 列守恒方程时,明确系统总质量,确保动能项的质量与系统一致

故 D 正确.

注意说明 软绳势能计算:需明确“初态时在斜面上”与“末态时全部离开”的重心位置,斜面内软绳重心在“对应高度的中点”,离开后重心在“绳长中点”,高度差计算需带正负.

第3~4节 节测上分

1. A 【解析】游客从跳台跳下直至下落到最低点过程中,重力一直做正功,所以重力势能一直减小,故 A 正确;橡皮绳刚绷紧时绳上的弹力小于重力,加速度向下,游客速度增大,动能增大,当弹力继续增大至等于重力时,加速度为零,速度达到最大,动能达到最大,之后弹力将大于重力,加速度向上,速度减小,游客动

能减小,故 B 错误;橡皮绳绷紧后弹性势能不断增大,游客的机械能不断减小,故 C、D 错误.

2. A 【解析】由动能定理,上升过程 $-mgh-fh=0-\frac{1}{2}mv_0^2$,下落过程

$mgh-fh=\frac{1}{2}m\left(\frac{3}{5}v_0\right)^2$,联立解得 $f=\frac{8}{17}mg$,故 A 正确.

点拨: 分阶段列动能定理,利用高度相同消去 h ,联立求解阻力

3. D 【解析】小纸帽在最高点时受竖直向下的重力作用,所受合力不为零,因此不处于平衡状态,故 A 错误;设小纸帽的质量为 m ,弹簧的劲度系数为 k ,任意位置处弹簧的压缩量为 x ,则初始状态有 $kx-mg=ma$,随着弹簧压缩量的减小,小纸帽的加速度不断减小,而当弹簧的弹力在某一位置处等于小纸帽重力时,小纸帽的加速度减为零,此时速度达到最大值,之后弹簧继续向上至恢复原长,弹簧的弹力均小于小纸帽的重力,根据牛顿第二定律有 $mg-kx'=ma'$,小纸帽做加速度大小逐渐增大的减速运动,故 B 错误;小纸帽在弹起过程中弹簧的弹性势能转化为小纸帽的动能和重力势能,直至小纸帽上升至最高点,弹簧的弹性势能此刻完全转化为了小纸帽的重力势能,故 C 错误;换用劲度系数较大的弹簧,往下压相同距离,则该弹簧所具有的弹性势能更大,而根据系统机械能守恒有 $E_{\text{弹}}=mgh$,可知弹簧的弹性势能越大,小纸帽上升的最大高度越高,故 D 正确.

4. C 【解析】小物块先向左运动后向右运动,所以传送带沿顺时针方向转动,故 A 错误;3~4.5 s 段为直线,表明物块与传送带有相同的速度. 传送带速度大小为 $v=\frac{3-1}{4-3} \text{ m/s}=2 \text{ m/s}$,故 B 错误;

点拨: 识别 $x-t$ 图像中“直线段”为匀速阶段,用该段的 Δx 和 Δt 算速度

物块前 2 s 内做匀减速直线运动,末速度等于 0,则 $x=\frac{0+v_0}{2}t$,解

得 $v_0=4 \text{ m/s}$,故 C 正确;根据动能定理得 $W=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2=-$

提醒: 匀减速阶段用位移公式和速度公式联立,注意位移正负

-3 J,故 D 错误.

关键点拨 $x-t$ 图像中“直线段斜率=匀速速度”,物块最终匀速方向即为传送带方向;匀减速阶段用“位移公式+速度公式”联立求初速度,动能定理需代入初末动能.

5. AC 【解析】物体滑上传送带后在滑动摩擦力作用下做匀减速直线运动,设其运动的加速度大小为 a ,根据牛顿第二定律有 $\mu mg=ma$,根据加速度定义式解得运动的加速度大小为 $a=\frac{v_1}{t}=3 \text{ m/s}^2$,物体与传送带之间的动摩擦因数为 $\mu=0.3$,故 A 正确,

提醒: 动摩擦因数由加速度和 g 决定, 需用准确的 a 值代入

B 错误: 根据题意可知 $v_C = 5 \text{ m/s}$, 又由题意可知, 物体返回到光滑的水平面且沿着半圆轨道恰能运动到 E 点, 设经过最高点 E 时的速度为 v_E , 在 E 处, 根据牛顿第二定律和向心力公式有 $mg = m \frac{v_E^2}{R}$, 在由 C 运动至 E 的过程中, 根据动能定理有 $-mg \times 2R = \frac{1}{2}mv_E^2 - \frac{1}{2}mv_C^2$, 联立解得 $R = 0.5 \text{ m}$, **故 C 正确;** 物体向左

点拨: 先明确临界条件求 v_E , 再用动能定理关联 C 点与 E 点速度, 解 R

滑行时, 相对传送带的位移为 $\Delta x_1 = \frac{v_1}{2} \cdot t + vt$, 物体向右滑行时,

相对传送带的位移为 $\Delta x_2 = v \cdot \frac{v}{\mu g} - \frac{v^2}{2\mu g}$, 物体在传送带上滑动过程中系统产生的热量为 $Q = \mu mg(\Delta x_1 + \Delta x_2)$, 联立并代入数据解得 $Q = 121 \text{ J}$, **故 D 错误.**

提醒: 分“向左”“向右”两阶段算相对位移, 求和后代入 Q 公式

方法总结 多阶段运动问题: ①按运动顺序拆分阶段; ②每个阶段用对应规律(运动学、动能定理); ③关键物理量(如速度)衔接各阶段.

6. AB 【解析】 小物块在传送带上运动的加速度大小为 $a = \frac{\mu_2 mg}{m} =$

$\mu_2 g = 2 \text{ m/s}^2$, 小物块加速到与传送带共速通过的位移大小为 $x_1 = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a} = 5 \text{ m} < 9 \text{ m}$, 用时 $t_1 = \frac{v_2 - v_1}{a} = 1 \text{ s}$, 小物块与传送带一起匀速

运动的时间为 $t_2 = \frac{L - x_1}{v_2} = \frac{2}{3} \text{ s}$, 则小物块在传送带上运动的时间

为 $t = t_1 + t_2 = \frac{5}{3} \text{ s}$, **故 A 正确;** 小物块在传送带上因摩擦产生的热

提醒: 先判断是否能共速, 再分加速和匀速阶段算时间

量为 $Q = \mu_2 mg \times (v_2 t_1 - x_1) = 4 \text{ J}$, **故 B 正确;** 小物块在传送带上运动过程中传送带对小物块做的功为 $W = \mu_2 mg x_1 = 20 \text{ J}$, **故 C 错误;**

易错: 误将“摩擦生热”当作“传送带做功”, 或算错动能变化

小物块由 A 点运动到 B 点的过程, 由动能定理得 $mgL_{AB} \sin 37^\circ -$

$\mu_1 mg \cos 37^\circ \cdot L_{AB} = \frac{1}{2}mv_1^2$, 解得 $\mu_1 = 0.25$, 小物块以 v_1 滑上传送

带后, 经 Δt 速度减为 0, 可知 $\Delta t = \frac{v_1}{a} = 2 \text{ s}$, $\Delta x = \frac{v_1^2}{2a} = 4 \text{ m} < 9 \text{ m}$, 小

物块再随传送带返回 B 点, $v_B = 3 \text{ m/s}$, 经分析可知, 之后小物块每次在传送带上运动过程的末速度与初速度大小相等, 传送带对小物块做功为零, 小物块最终将静止在 B 点, 根据动能定理有

$\mu_1 mg \cos 37^\circ \cdot s_1 = \frac{1}{2}mv_B^2$, 解得 $s_1 = 2.25 \text{ m}$, 则在 AB 上运动的总

路程 $s = s_1 + L_{AB} = 2.25 \text{ m} + 2 \text{ m} = 4.25 \text{ m}$, 故 D 错误.

→ **点拨**: 先由 AB 段运动求 μ_1 , 再用动能定理求总路程

7. (1) 26 N, 方向竖直向上 (2) 12.36 J (3) $0.45 < \mu_2 < 0.9$

思路分析 本题为“弹簧+斜面+圆弧+水平面”综合题, 核心是“牛顿第二定律(C 点压力)”“功能关系(弹性势能)”“动能定理(μ_2 范围)”. 先利用 C 点向心力求压力, 再通过 P 到 C 的能量守恒求弹性势能, 最后通过“恰到 D 点”“恰返 C 点”的临界求 μ_2 范围.

【解析】(1) 在 C 点, 根据牛顿第二定律得 $F + mg = m \frac{v^2}{R}$,

代入数据解得 $F = 26 \text{ N}$, 方向竖直向下,

根据牛顿第三定律得, 小物块对圆弧轨道的压力大小等于 26 N, 方向竖直向上.

(2) 根据几何关系得, PC 两点高度差为 $h = R + R \cos 37^\circ + L_1 \sin 37^\circ$,

代入数据解得 $h = 0.69 \text{ m}$,

根据功能关系, 得 $E_p = mgh + \mu_1 mg L_1 \cos 37^\circ + \frac{1}{2}mv^2$,

→ **点拨**: 按“弹簧弹性势能 → 物块机械能(势能+动能) + 摩擦消耗”的逻辑, 列功能关系方程

代入数据解得 $E_p = 12.36 \text{ J}$.

(3) 对小物块, 若恰好到达 D 点, 根据动能定理得 $-\mu_2 mg L_2 = 0 - \frac{1}{2}mv^2$, 代入数据解得 $\mu_2 = 0.9$,

对小物块, 若恰好能第二次到达 C 点, 根据动能定理得 $-2\mu_2 mg L_2 = 0 - \frac{1}{2}mv^2$, 代入数据解得 $\mu_2 = 0.45$,

则 $0.45 < \mu_2 < 0.9$.

8. (1) 6 m/s (2) 60 N (3) $\frac{9}{4} \text{ m}$

【解析】(1) 弹簧的弹性势能转化为小木块的动能, 根据动能定理

有 $E_p = W = \frac{1}{2}mv_0^2$, 得小木块刚滑上木板时的速度大小 $v_0 =$

$$\sqrt{\frac{2E_p}{m}} = 6 \text{ m/s}.$$

(2) 小木块恰好能通过半圆轨道顶点 D, 则有 $mg = m \frac{v_D^2}{R}$, 解得

$v_D = \sqrt{gR} = \sqrt{3.2} \text{ m/s}$, 从 C 点到 D 点, 由动能定理有 $-mg \cdot 2R =$

$\frac{1}{2}mv_D^2 - \frac{1}{2}mv_C^2$, 解得 $v_C = \sqrt{v_D^2 + 4gR} = 4 \text{ m/s}$, 小木块在最低点 C 点

时, 由牛顿第二定律有 $F_N - mg = m \frac{v_C^2}{R}$, 解得 $F_N = mg + m \frac{v_C^2}{R} = 60 \text{ N}$,

由牛顿第三定律得小木块在最低点 C 点时对轨道的压力大小为

$$F'_N = F_N = 60 \text{ N}.$$

(3) 当小木块的速度为 v_c 时, 小木块刚好运动到木板的最右端,

木板运动过程中的加速度大小 $a_2 = \frac{\mu mg}{M} = 2 \text{ m/s}^2$, 小木块在木板

上运动时的加速度大小 $a_1 = \frac{\mu mg}{m} = 4 \text{ m/s}^2$, 假设木块与木板先达

到共速, 则有 $v_{\text{共}} = v_0 - a_1 t_0 = a_2 t_0$, 得 $v_{\text{共}} = 2 \text{ m/s} < v_c$, 即木块不会与

木板共速. 设 BC 之间的水平距离为 x , 则由运动学公式有

$-2\mu gx = v_c^2 - v_0^2$, 可得 $x = 2.5 \text{ m}$, 设木板的长度至少为 L , 小木块由

B 运动到 C 过程中, 所用时间为 t , 则有 $t = \frac{v_c - v_0}{-\mu g} = 0.5 \text{ s}$, $x - L =$

$$\frac{1}{2} a_2 t^2, \text{ 则 } L = \frac{9}{4} \text{ m}.$$

专题上分 10 常见力学模型的功能关系

1. B 【解析】依题意, 物块在上滑过程中, 速度越来越小, 如题图乙

所示, 当 $E_{k1} = 0$ 时, 物块的机械能 $E_1 = 6 \text{ J}$, 此时物块上滑到最高

点, 物块的机械能等于重力势能, 即 $mgh = 6 \text{ J}$, 解得 $h = \frac{3}{25} \text{ m}$, 当

$E_{k2} = 10 \text{ J}$ 时, 物块的机械能 $E_2 = 10 \text{ J}$, 此时物块在斜面的最低点,

有 $E_{k2} = \frac{1}{2} m v_0^2$, 解得 $v_0 = 2 \text{ m/s}$, 物块从斜面最低点到最高点的过

程中, 摩擦力做功, 机械能减少, 设物块沿斜面向上滑行的位移大

小为 x , 由功能关系得 $E_1 - E_2 = -F_f x$, 其中 $F_f = \mu mg \cos \theta$, $\sin \theta = \frac{h}{x}$,

解得 $\tan \theta = \frac{3}{4}$, 即 $\theta = 37^\circ$, 故 B 正确.

点拨: 先通过图像得初、末状态能量, 再借功能关系求摩擦力做功, 最后结合受力分析求倾角

2. B 【解析】设货车冲上避险车道时的初速度为 v_0 , 根据运动学公

式可得 $-2g \frac{h}{\sin 30^\circ} = 0 - v_0^2$, 解得 $v_0 = 2 \sqrt{gh}$, 则货车的动能损失量

$|\Delta E_k| = \frac{1}{2} M v_0^2 = 2Mgh$, 故 A、C 错误; 货车的机械能损失量 $|\Delta E| =$

$|\Delta E_k| - \Delta E_p = 2Mgh - Mgh = Mgh$, 根据功能关系可知, 货车的机械

能损失量等于“动能减少量减去势能增加量”, 本质是克服阻力做功

能损失量等于货车克服阻力所做的功, 所以避险车道对货车的

阻力对货车做功为 $-Mgh$, 故 B 正确, D 错误.

点拨: 根据“机械能损失量 = 克服阻力做功”, 得阻力做功 $W_f = -\text{机械能损失量}$, 明确功的正负

关键点拨 本题通过运动学公式求初速度, 用机械能减少量 = 摩擦产生的热量, 计算阻力做功, 关键是区分动能损失与机械能损失.

3. (1) 2 m/s (2) 4 J (3) $\frac{1}{9} \text{ m}$

【解析】(1) 物块从 A 点滑到 O 点过程, 由动能定理得 $mgh - \frac{\mu mgh}{\tan \theta} = \frac{1}{2}mv^2 - 0$, 代入数据解得物块在 O 点时速度大小 $v = 2 \text{ m/s}$.

(2) 在水平滑道上, 由机械能守恒定律得 $\frac{1}{2}mv^2 = E_p$, 代入数据解得弹簧最大弹性势能 $E_p = 4 \text{ J}$.

(3) 设物块 A 能够上升的最大高度为 h_1 , 物块被弹回后上升过程中由动能定理得 $-mgh_1 - \frac{\mu mgh_1}{\tan \theta} = 0 - \frac{1}{2}mv^2$, 代入数据解得 $h_1 = \frac{1}{9} \text{ m}$.

4. C

攻略上分 本题用到大招攻略 32 的“能量角度分析” (拉力为外力做功, 滑动摩擦力为内力生热). 区分物块与小车的对地位移, 计算各自机械能变化与系统内能, 核心是对地位移与相对位移的应用.

【解析】小物块对地的位移方向向右, 大小为 $x = s - L$, 小物块受到的摩擦力方向水平向右, 则摩擦力对小物块做的功等于小物块的机械能增加量, 有 $\Delta E_1 = F_f(s - L)$, 故 A 错误; 小物块与小车系

→ **点拨**: 物块从车头滑到车尾, 相对小车位移大小为 L , 故 $x_{\text{物}} = x_{\text{车}} - L = s - L$, 明确相对位移与对地位移的关系

统的机械能增加量为 $\Delta E_2 = Fs - F_f L$, 故 B 错误; 小车的机械能增加量为 $\Delta E_3 = (F - F_f) \cdot s$, 故 C 正确; 物块与小车组成的系统产

→ **提醒**: 小车受拉力 F (做正功) 和物块摩擦力 F_f (做负功), 总功等于机械能增加量

生的热量为 $Q = F_f L$, 故 D 错误.

→ **易错**: 用“小车对地位移 s ”替代“相对位移 L ”, 导致计算错误

5. (1) 5 m/s^2 5 m/s^2 (2) -13.5 J (3) 9 J

【解析】(1) 对物块根据牛顿第二定律有 $\mu mg = ma_1$, 解得 $a_1 =$

→ **点拨**: 对两物体分别受力分析, 明确摩擦力方向 (物块受阻力, 木板受动力), 再用牛顿第二定律列式 5 m/s^2 , 对木板根据牛顿第二定律有 $\mu mg = Ma_2$, 解得 $a_2 = 5 \text{ m/s}^2$.

(2) 设物块冲上木板后经时间 t 二者共速, 对物块有 $v_{\text{共}} = v_0 - a_1 t$, 对木板 $v_{\text{共}} = a_2 t$, 解得 $t = 0.6 \text{ s}$, $v_{\text{共}} = 3 \text{ m/s}$, 对物块由动能定理得 $W_f = \frac{1}{2}mv_{\text{共}}^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$, 可得 $W_f = -13.5 \text{ J}$.

→ **点拨**: 先通过共速条件求时间与末速度, 再代入动能定理, 明确功的正负 (阻力做负功)

(3) 对木板和物块组成的系统, 由能量守恒定律得 $\frac{1}{2}mv_0^2 = Q +$

$$\frac{1}{2}(M+m)v_{共}^2, \text{ 可得 } Q=9 \text{ J.}$$

点拨: 直接用“系统初动能-系统末动能”求产生热量, 避开复杂的位移计算, 简化过程

思路分析 本题为“物块滑上木板”的板块模型, 先通过“牛顿第二定律”求两者加速度, 再用“运动学公式”求共速时间与速度, 最后借“动能定理”求摩擦力做功、“能量守恒”求生热, 核心是“加速度-速度-能量”的逻辑衔接.

6. D

攻略上分 本题用到大招攻略33的“动力学角度分析”(物体先匀加速 t 时间, 后匀速 t 时间)、“能量角度分析”(传送带克服摩擦力做功=物体动能+ Q). 通过阶段划分算平均速度, 借能量关系判断各选项, 核心是区分物体与传送带的位移差.

【解析】 物体 A 由传送带左端到右端的平均速度大小等于位移与

时间的比值, 即 $\bar{v} = \frac{\frac{v}{2}t + vt}{2t} = \frac{3}{4}v$, 故 **A 正确**, 与题意不符;

提醒: 分“匀加速+匀速”两阶段算总位移, 勿直接用 $\frac{0+v}{2}$ 算平均速度

传送带对物体做功等于物体动能的增加量, 即 $W = \frac{1}{2}mv^2$, 故 **B**

正确, 与题意不符; 传送带克服摩擦力做功 $W_{克服} = \mu mgx$, $x = vt$, 传

送带和物体组成系统产生的热量 $Q = \mu mgx_{相对}$, $x_{相对} = vt - \frac{v}{2}t = \frac{vt}{2}$,

又 $W_{克服} = Q + \frac{1}{2}mv^2$, 得 $\mu mgvt = \frac{1}{2}\mu mgvt + \frac{1}{2}mv^2$, 则 $\frac{1}{2}\mu mgvt =$

$\frac{1}{2}mv^2$, $Q = \frac{1}{2}mv^2$, 故 **C 正确**, 与题意不符; 由能量守恒定律可知,

传送带克服物体 A 对它的摩擦力所做的功, 等于传送带对物体做功和摩擦产生热量的和, 即 $W_{克服} = W + Q = mv^2$, 故 **D 错误**,

易错: 误将“物体动能增量”当作“传送带克服摩擦力做功”, 忽略生热与题意相符.

7. (1) 96 J (2) 48 J (3) $W = 104 - 8v^2$ (J)

【解析】 (1) 若传送带速度大小为 0.5 m/s , 由于 $v_A = 1 \text{ m/s} > 0.5 \text{ m/s}$, 可知物块受到的滑动摩擦力方向沿传送带向下, 根据牛顿第二定律有 $F - mgsin \theta - \mu mgcos \theta = ma$, 解得 $F = 48 \text{ N}$, 则拉力 F 做的功为 $W = FL = 96 \text{ J}$.

(2) 若传送带速度大小为 5 m/s , 物块从 A 到 B 过程, 假设物块不与传送带共速, 根据运动学公式有 $2aL = v_B^2 - v_A^2$, 解得 $v_B = 3 \text{ m/s} < 5 \text{ m/s}$, 假设成立, 可知物块受到的滑动摩擦力方向一直

沿传送带向上, 物块从 A 到 B 所用时间为 $t = \frac{v_B - v_A}{a} = 1 \text{ s}$, 物块与传

送带发生的相对位移大小为 $\Delta x = v_{传}t - \frac{v_A + v_B}{2}t = 3 \text{ m}$, 物块与传送带

间由于摩擦产生的热量为 $Q = \mu mg \cos \theta \cdot \Delta x = 48 \text{ J}$.

(3) 若传送带速度大小范围为 $1 \text{ m/s} < v < 3 \text{ m/s}$, 则物块与传送带共速前受到的滑动摩擦力方向沿传送带向上, 根据牛顿第二定律有 $F_1 - mg \sin \theta + \mu mg \cos \theta = ma$, 解得 $F_1 = 16 \text{ N}$, 共速前物块发生的位移大小为 $x_1 = \frac{v^2 - v_A^2}{2a} = \frac{v^2 - 1}{4} (\text{m})$, 此过程拉力做的功为 $W_1 = F_1 x_1 = 4(v^2 - 1) (\text{J})$, 物块与传送带共速后继续加速, 受到的滑动摩擦力方向沿传送带向下, 根据牛顿第二定律有 $F_2 - mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta = ma$, 解得 $F_2 = 48 \text{ N}$, 此过程拉力做的功为 $W_2 = F_2 (L - x_1) = 12(9 - v^2) (\text{J})$, 则全过程拉力做的功为 $W = W_1 + W_2 = 104 - 8v^2 (\text{J})$.

8. CD



思路分析

以“A、B 整体”为研究对象, 分析“传送带做功”“共速时间”“摩擦生热”“电动机耗能”, 进行判断.

【解析】传送带对 B 无摩擦力作用所以不做功, 对 A、B 整体, 由动能定理 $W = \frac{1}{2} \times 2mv^2 - 0 = mv^2$, 故 A 错误;

提醒: 传送带做功对象是 A, 需对 A、B 整体列动能定理, 总质量为 $2m$

对 A、B 整体有 $a = \frac{\mu mg}{2m} = \frac{1}{2}\mu g$, 共速时用时 $t = \frac{v}{a} = \frac{2v}{\mu g}$, 故 B 错误;

易错: 用 A 的质量算加速度 ($a = \mu g$), 导致时间计算错误

共速前滑块运动距离 $x = \frac{v}{2}t = \frac{v^2}{\mu g}$, 传送带的位移大小为 $x_1 =$

$vt = \frac{2v^2}{\mu g}$, 产生的热量 $Q = \mu mg \cdot (x_1 - x) = mv^2$, 故 C 正确;

点拨: 用前面算得的 $t = \frac{2v}{\mu g}$ 代入, 简化生热计算 (μ 、 g 可约去)

电动机多消耗的电能为两滑块增加的动能和产生的热量, $E = Q + mv^2 = 2mv^2$, 故 D 正确.

提醒: 耗电 = 整体动能 + 生热, 两者均为 mv^2 , 总和为 $2mv^2$

9. CD

【解析】小车从斜面的顶端由静止开始下滑, 最终停在 B 点, 设斜面长为 L , 则斜面在水平面的投影为 $x_1 = L \cos \theta$, 根据功能关系可得 $mgh = \mu mg L \cos \theta + \mu mg (x - x_1)$, 整理可得 $mgh = \mu mg x$,

解得 $\mu = \frac{h}{x}$, 改变斜面倾角和斜面长度, 小车仍在 B 点停下, 设小车静止释放点的坐标为 (x', h') . 根据前面的分析可得 $mgh' =$

$\mu mg (x - x')$, 整理可得 $h' = h - \frac{h}{x} \cdot x'$, 当 $x' = \frac{1}{9}x$ 时, 解得 $h' =$

$\frac{8}{9}h$, 当 $x' = \frac{2}{7}x$ 时, 解得 $h' = \frac{5}{7}h$, 当 $x' = \frac{3}{5}x$ 时, 解得 $h' = \frac{2}{5}h$,

当 $x' = \frac{2}{3}x$ 时, 解得 $h' = \frac{1}{3}h$, 故 C、D 正确.

10. (1) 15 J (2) 10 m/s (3) 20 J

【解析】(1) 石块从抛出到落地过程中重力做的功 $W = mgh = 0.1 \times 10 \times 15 \text{ J} = 15 \text{ J}$.

(2) 石块从抛出到落地过程中, 根据动能定理有 $mgh = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$, 解得石块抛出时的速度大小 $v_0 = 10 \text{ m/s}$.

(3) 石块上升的最大高度 $h_1 = \frac{(v_0 \sin 30^\circ)^2}{2g}$, 石块在最高点的机械能为 $E = mg(h + h_1) + \frac{1}{2}m(v_0 \cos 30^\circ)^2 = 20 \text{ J}$.

11. (1) 能 22.5 J (2) 15 N, 方向竖直向上 (3) 12.5 J

【解析】(1) 根据动能定理得 $\mu_1 m_1 gl = \frac{1}{2}m_1 v^2$,

解得 $l = 3.75 \text{ m} < L = 5 \text{ m}$, 物块 a 能与传送带共速.

全程传送带对物块 a 做的功 $W = \frac{1}{2}m_1 v^2 = 22.5 \text{ J}$.

提醒: 传送带做功等于物块动能增加量 (水平传送带, 无势能变化)

(2) 根据机械能守恒定律 $\frac{1}{2}m_1 v^2 = \frac{1}{2}m_1 v_D^2 + m_1 g \cdot 2R(1 - \cos 60^\circ)$,

解得 $v_D = 5 \text{ m/s}$.

根据牛顿第二定律得 $F'_N + m_1 g = m_1 \frac{v_D^2}{R}$,

解得 $F'_N = 15 \text{ N}$, 方向竖直向下.

根据牛顿第三定律, 物块 a 到达 D 点时对管道的作用力 $F_N = 15 \text{ N}$, 方向竖直向上.

(3) 当物块 a 滑上小车瞬间, 轻质小车受力为 $\mu_1 m_1 g + F = 7 \text{ N} > \mu_2 m_2 g = 3 \text{ N}$,

点拨: 先对小车受力分析判断运动状态 (匀速), 再分别算 a 、 b 的位移, 求相对位移与生热

所以小车与物块 a 保持相对静止, 物块 b 相对小车发生滑动, 最终三者速度相同.

物块 a 和小车的加速度 $a_1 = \frac{\mu_2 m_2 g - F}{m_1} = 2 \text{ m/s}^2$,

物块 a 和小车向右做匀减速直线运动.

物块 b 的加速度 $a_2 = \frac{\mu_2 m_2 g}{m_2} = 1 \text{ m/s}^2$,

物块 b 向右做匀加速直线运动.

设达到共同速度所需要的时间为 t , 则 $v_{\text{共}} = v_D - a_1 t = a_2 t$,

解得 $t = \frac{5}{3} \text{ s}$, $v_{\text{共}} = \frac{5}{3} \text{ m/s}$.

物块 b 相对于小车的位移大小 $\Delta x = \frac{v_D + v_{\text{共}}}{2} t - \frac{v_{\text{共}}}{2} t = \frac{25}{6} \text{ m}$,

此过程物块 a 、 b 与小车间因摩擦产生的总热量 $Q = \mu_2 m_2 g \Delta x = 12.5 \text{ J}$.

12. (1) 3 m/s (2) 21 N (3) 不能滑离 2 m 39 J

【解析】(1) 滑块 P 第一次从 G 点到 A 点时与弹簧分离, 从 A 点滑上传送带, 滑块 P 在 A 点的速度大小为 v_A , 对滑块 P 由动能定理得 $W_F = \frac{1}{2}mv_A^2$, 由 $F-x$ 图像知弹簧从 G 点到 A 点对 P 做功

$$W_F = \frac{1}{2}Fx, \text{ 代入解得 } v_A = 3 \text{ m/s.}$$

点拨: 借 $F-x$ 图像求弹簧对滑块的功, 再用动能定理求滑上传送带的速度

(2) P 滑上传送带时速度大小 $v_A = 3 \text{ m/s} < v$, 可知滑块 P 在传送带上做匀加速运动, 加速度大小为 a , 则 $\mu_1 mg = ma$.

假设滑块 P 在传送带上一直匀加速运动到从右端离开传送带, 到 B 点时的速度大小为 v_B , 有 $v_B^2 - v_A^2 = 2as$,

$$\text{代入数据得 } v_B = 4 \text{ m/s} < v = 5 \text{ m/s},$$

故假设成立, 滑块 P 以 $v_B = 4 \text{ m/s}$ 的速度大小水平冲出传送带,

点拨: 通过“假设-验证”判断传送带末端滑块的速度
在 C 点有 $v_B = v_C \cos \theta$,

$$\text{解得 } v_C = 8 \text{ m/s.}$$

$$\text{由牛顿第二定律得 } F_N - mg \cos \theta = \frac{mv_C^2}{R},$$

$$\text{解得 } F_N = 21 \text{ N.}$$

$$\text{由牛顿第三定律得, 压力大小 } F'_N = F_N = 21 \text{ N.}$$

$$(3) \text{ 滑块从 } C \text{ 到 } D \text{ 点, 由动能定理得, } mgR(1 - \cos \theta) = \frac{1}{2}mv_D^2 - \frac{1}{2}mv_C^2,$$

$$\text{解得 } v_D = 2\sqrt{26} \text{ m/s.}$$

滑上木板后, 以滑块速度方向为正方向, 对滑块由牛顿第二定律有 $-\mu_2 mg = ma_1$,

$$\text{对木板由牛顿第二定律有 } \mu_2 mg = Ma_2,$$

$$\text{解得 } a_1 = -3 \text{ m/s}^2, a_2 = 1 \text{ m/s}^2.$$

设二者达到速度相等所用时间为 t , 设共速时速度为 $v_{\text{共}}$, 则有

$$v_D + a_1 t = a_2 t,$$

$$\text{解得 } t = \frac{\sqrt{26}}{2} \text{ s, 共速时速度 } v_{\text{共}} = \frac{\sqrt{26}}{2} \text{ m/s,}$$

$$\text{滑块位移 } s_1 = v_D t + \frac{1}{2}a_1 t^2 = \frac{65}{4} \text{ m,}$$

$$\text{木板位移 } s_2 = \frac{1}{2}a_2 t^2 = \frac{13}{4} \text{ m,}$$

$$\text{相对位移 } \Delta s = s_1 - s_2 = 13 \text{ m} < L = 15 \text{ m,}$$

提醒: 相对位移为两者的位移差, 且需与木板长度对比

$$\text{故滑块未滑离木板, 滑块与木板右端距离 } \Delta x = L - \Delta s = 2 \text{ m,}$$

$$\text{摩擦热 } Q = \mu_2 mg \cdot \Delta s = 39 \text{ J.}$$

关键点拨

本题是“弹簧+传送带+圆弧轨道+板块模型”的综合题,需按“滑块与弹簧作用→滑块与传送带作用→滑块与圆弧轨道作用→滑块与木板作用”的运动顺序,串联“ $F-x$ 图像做功、传送带运动分析、平抛与圆弧衔接、板块相对运动”等核心考点,用“动能定理、牛顿第二定律、运动学公式、摩擦生热公式”逐步求解,最终判断滑块是否滑离木板并计算相关物理量。

第5节 实验:验证机械能守恒定律



对点上分

1. (1) AB (2) $-mgh_B$ $\frac{m(h_C-h_A)^2}{8T^2}$ (3) $gh_B = \frac{(h_C-h_A)^2}{8T^2}$

【解析】(1)应选择质量大、体积小的重物进行实验,以减小空气阻力的影响,故 A 正确;释放纸带之前,纸带必须处于竖直状态,以减小纸带和打点计时器之间的摩擦力,故 B 正确;实验应先接通电源,后释放纸带,故 C 错误。

(2)从打 O 点到打 B 点的过程中,重物的重力势能变化量

$$\Delta E_p = -mgh_B, \text{打 } B \text{ 点时的速度大小 } v_B = \frac{h_C - h_A}{2T}, \text{动能变化量 } \Delta E_k =$$

$$\frac{1}{2}mv_B^2 = \frac{1}{2}m\left(\frac{h_C - h_A}{2T}\right)^2 = \frac{m(h_C - h_A)^2}{8T^2}.$$

(3)在误差允许范围内,当 $mgh_B = \frac{1}{2}mv_B^2$,即满足关系式 $gh_B = \frac{(h_C - h_A)^2}{8T^2}$ 时,可验证机械能守恒定律。

2. (1) A (2) $\frac{d}{\Delta t}$ (3) 19.6 (19.0~20.6 均可)

(4) 高度 h 测量带来的误差(或其他正确表述)

【解析】(1)重锤下落高度已知,还要知道重锤通过光电门时的速度,因此需要测量重锤的长度 d ,结合 Δt 求得重锤通过光电门时的速度,故 A 正确;不需要测量重锤从 A 下落到 B 的时间 t ,故 B 错误;实验要验证的关系式中质量 m 可约去,不需要测量重锤的质量 m ,故 C 错误。

(2)重锤通过光电门的平均速度约等于瞬时速度,则重锤通过光电门的瞬时速度 $v = \frac{d}{\Delta t}$ 。

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

$$(3) v^2 - h \text{ 图像斜率为 } k = \frac{9.40}{0.5 - 0.02} \text{ m/s}^2 \approx 19.6 \text{ m/s}^2.$$

(4)所绘制出的 $v^2 - h$ 图像并不过坐标原点,主要原因可能是高度 h 测量带来的误差。

3. (1) 36.50 (36.48~36.52 均可) (2) $\frac{d}{t}$ (3) $g\left(L + \frac{d}{2}\right)(1 - \cos \theta) = \frac{d^2}{2t^2}$



攻略上分

本题用到大招攻略 34 的“速度计算”

(光电门测速度 $v = \frac{d}{t}$)、“数据处理”(验证 $g\left(L + \frac{d}{2}\right)(1 - \cos \theta) = \frac{1}{2}\left(\frac{d}{t}\right)^2$)。核心是将单摆与光电门结合,规避传统纸带摩擦导致的误差。

【解析】(1)刻度尺的分度值为 1 mm,读数时要估读 1 位,则绳长为 $L = 36.50 \text{ cm}$ 。

提醒: 读数需估读到分度值下一位,避免漏估读

(2)小球通过光电门时的速度大小为 $v = \frac{d}{t}$ 。

点拨: 光电门测的是小球直径的通过时间,直接用 d 与 t 计算

(3)如果满足机械能守恒,则有 $mg\left(L + \frac{d}{2}\right)(1 - \cos \theta) = \frac{1}{2}mv^2$,

易错: 漏加小球半径,用“悬点到上沿距离 L ”计算小球重心下降的高度,导致误差

整理可得 $g\left(L + \frac{d}{2}\right)(1 - \cos \theta) = \frac{d^2}{2t^2}$ 。

4. (1) 0.35 (0.33~0.37 均可) $\frac{d}{t_2}$ (2) $\frac{1}{2}m\left(\frac{d^2}{t_2^2} - \frac{d^2}{t_1^2}\right) mg(h_1 - h_2)$ (3) 滑块下滑过程中受到空气阻力(合理即可)

【解析】(1)图乙中刻度尺的分度值为 0.1 cm,由图乙可知遮光条的宽度为 $d = 0.35 \text{ cm}$;滑块经过光电门 II 时的速度大小为

$$v_2 = \frac{d}{t_2}.$$

(2)滑块经过光电门 I 时的速度大小为 $v_1 = \frac{d}{t_1}$,滑块从通过光电

门 I 到通过光电门 II 的过程中动能的增加量为 $\Delta E_k = \frac{1}{2}mv_2^2 -$

$\frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}m\left(\frac{d^2}{t_2^2} - \frac{d^2}{t_1^2}\right)$;重力势能的减少量为 $\Delta E_p = mg(h_1 - h_2)$ 。

点拨: 滑块下滑, A 点高度 h_1 大于 B 点高度 h_2 , 重力势能减少量为正值

(3)导致滑块动能的增加量小于重力势能的减少量的原因是滑块下滑过程中受到空气阻力。

易错: 误认为“气垫导轨无阻力”,忽略空气阻力的影响

5. (1) A (2) 86.75 (86.69~86.81 都正确) (3) $\frac{d}{t}$ (4) $\left(\frac{d}{t}\right)^2 = 2gh$ (5) 不正确 见解析

【解析】(1)在做验证机械能守恒定律的实验时,为了使阻力的影响尽可能小,要选择体积小质量大的物块,故 A 正确。

点拨: 按“质量大、体积小”原则选择物块,减小系统误差

(2)根据题中给出的米尺图样,读数时需要估读到 0.01 cm。因此图中遮光条中心所处的位置,读数约为 86.75 cm。

提醒: 读数需估读到 0.01 cm , 避免漏估读或看错刻度

(3) 遮光条较窄且通过光电门的时间很短, 可近似将其通过光电门的平均速度当成是物块中心通过时的瞬时速度, 所以 $v = \frac{d}{t}$.

(4) 若物块运动过程中机械能守恒, 重力势能转化为动能, 有 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$, 代入数据后, 可整理为 $\left(\frac{d}{t}\right)^2 = 2gh$.

(5) 设光电门到台面的距离为 h_1 , 物块下落过程中满足的机械能守恒表达式应为 $mg(h - h_1) = \frac{1}{2}mv^2$, 即变形为 $2gh - 2gh_1 =$

$\left(\frac{d}{t}\right)^2$, 此时, 可以利用图像法进行验证, 以 $\frac{1}{t^2}$ 为纵轴、以 h 为横轴建立直角坐标系, 描点作图, 若得到一条不过原点, 但斜率约为 $\frac{2g}{d^2}$ 的直线, 就能证明物块是机械能守恒的, 所以小明同学的说法是不正确的.

关键: 小明观点不正确, 因 h 测量值偏大时, 可通过图像法验证

素养 上分

1. C 【解析】第一次木板固定, 木板的位移为零, 摩擦力对木板做的功为零, 第二次木板不固定, 木板的位移不为零, 则摩擦力对木板做的功不为零, **故 A 错误**; 木板固定时和木板不固定时, 将木块从木板左端拉到右端, 木块的位移不同, 则恒力 F 对木块做功不同, **故 B 错误**; 由于两种情况下, 木块与木板间的相对运动

关键: 木板固定时木块位移 = 板长 L , 不固定时木块位移 = L + 板的位移, 位移不同, 恒力 F 做功 $W = Fx$ 不同

位移大小相等, 根据 $Q = f\Delta x$ 可知因摩擦产生的热量相等,

点拨: 无论木板是否固定, 木块从木板左端滑到右端, 相对位移大小始终等于板长, 直接用 L 计算 Q

故 C 正确; 根据动能定理知, 恒力 F 以及摩擦力的合力对木块做功不同, 则木块动能不同, **故 D 错误**.

2. AC 【解析】杆处于竖直状态时, 石子和配重都绕水平轴 OO' 转动, 故石子和配重角速度大小相等, 由于旋转半径不同, 石子和配重的线速度大小不等, **故 A 正确, B 错误**; 配重下降过程, 杆对石子做正功, 石子的机械能增大, 杆对配重做负功, 配重的机械能减少, 但对于杆、石子和配重构成的系统而言, 杆、石子和配重之间的力, 属于系统内力, 不会改变系统的机械能, 故系统的机械能守恒, **故 C 正确, D 错误**.

点拨: 圈定“杆+石子+配重”系统, 判断仅重力做功, 满足机械能守恒条件, 分析配重的受力(重力+杆的力), 判断机械能变化

3. AD 【解析】第 5 s 末时, 汽车的功率达到额定功率, 前 5 s 由牛顿第二定律可知 $F - f = ma$, 又 $P_{\text{额}} = Fv$, $f = 0.1mg$, 其中 v 为达到额定功率时汽车的瞬时速度, 由题图乙可知 $a = 1\text{ m/s}^2$, $v = 5\text{ m/s}$,

联立得 $m = 2\ 000\ \text{kg}$, 故 A 正确; 当汽车牵引力的功率为额定功率, 汽车速度达到最大时, 此时牵引力等于汽车所受阻力, 则

$$v_{\max} = \frac{P_{\text{额}}}{f}, \text{ 则汽车的最大速度 } v_{\max} = v_0 = \frac{P_{\text{额}}}{f} = 10\ \text{m/s}, \text{ 故 B 错误;}$$

前 5 s 内, 汽车做匀加速直线运动, 由题图乙可知前 5 s 内的位移

$$\text{大小 } s_1 = \frac{5 \times 5}{2}\ \text{m} = 12.5\ \text{m}, \text{ 阻力对汽车所做的功为 } W_f = -fs_1 =$$

$-25\ 000\ \text{J} = -25\ \text{kJ}$, 故 C 错误; 在 0~5 s 内, 牵引力恒定, 大小为

$$F = ma + f, \text{ 则牵引力做的功 } W_1 = Fs_1, \text{ 联立得 } W_1 = 50\ 000\ \text{J}, \text{ 在 } 5 \sim$$

15 s 内, 牵引力功率恒定, 则牵引力做的功 $W_2 = P_{\text{额}} t = 200\ 000\ \text{J}$,

在 0~15 s 内, 牵引力对汽车做功 $W = W_1 + W_2 = 250\ \text{kJ}$, 故 D 正确.

4. BC 【解析】玩具在下落过程中, 根据牛顿第二定律有 $mg - F = ma$, $4h_0 \sim 2h_0$ 过程中, 由图可知, F 从零增大到 $2mg$, 在 $3h_0$ 时大小为 mg , 所以加速度开始时向下并逐渐减小, 速度在增大, 当达到 $3h_0$ 时合力为零, 加速度为零, 此时速度达到最大值, 继续运动, 合力向上, 此时加速度向上并逐渐增大, 速度在减小, 故 A 错误,

关键: 速度最大时合力为 0, 即 $F = mg$, 对应图中 $h = 3h_0$ 处

B 正确; 根据上面分析, 到达 $3h_0$ 时速度最大, $4h_0 \sim 3h_0$ 过程中 F 做负功, 大小为图线与横轴围成图形的面积大小, 所以有 $W_F = -$

$$(4h_0 - 3h_0) \cdot mg \cdot \frac{1}{2} = -\frac{1}{2} mgh_0, \text{ 对该过程根据动能定理}$$

$$\text{有 } mgh_0 - \frac{1}{2} mgh_0 = \frac{1}{2} mv_m^2 - 0, \text{ 解得 } v_m = \sqrt{gh_0}, \text{ 故 C 正确,}$$

点拨: 严格列动能定理, 明确“重力做功+升力 F 做功=

动能增加量”

D 错误.

5. AC 【解析】在最高点, 对 A、B 整体, 根据牛顿第二定律有

$$2mg \sin \theta + kx_0 = 2ma_0, \text{ 对 } B \text{ 分析有 } mg \sin \theta + f_0 = ma_0, \text{ 解得 } f_0 = \frac{kx_0}{2},$$

故可知物块 B 在最高点所受摩擦力方向沿斜面向下, 故 A 正确;

$$\text{当 } 2mg \sin \theta = kx_1 \text{ 时, 此时 A、B 速度最大, 则 } x_1 = \frac{mg}{k}, \text{ 根据机械能}$$

$$\text{守恒定律可得 } -2mgx_1 \cdot \sin \theta + \frac{1}{2} kx_1^2 + 2E_{\text{km}} = \frac{1}{2} kx_0^2 + 2mgx_0 \cdot$$

$$\sin \theta, \text{ 解得 } E_{\text{km}} = \frac{1}{4} kx_0^2 + \frac{1}{2} mgx_0 + \frac{m^2 g^2}{4k}, \text{ 故 B 错误;}$$

点拨: 先找动能最大的临界条件 ($a = 0$), 再根据机械能

守恒定律列式

$$\text{令最低点到 } O \text{ 点的距离为 } x_2, \text{ 则有 } 2mg(x_0 + x_2) \sin \theta = \frac{1}{2} kx_2^2 -$$

$$\frac{1}{2} kx_0^2, \text{ 解得 } x_2 = \frac{4mg \sin \theta}{k} + x_0 = \frac{2mg}{k} + x_0, \text{ 故 C 正确;}$$

提醒: 最低点动能为 0, 重力势能减少量全部转化为弹性

势能, 需明确 x_0 为压缩量

$$\text{根据牛顿第二定律有 } kx_2 - 2mg \sin \theta = 2ma, \text{ 解得 } a = \frac{1}{2} g + \frac{kx_0}{2m},$$

易错：漏算重力分力，或将弹力方向搞反，导致加速度计

算错误

故 D 错误.

关键点拨 弹簧板块模型：动能最大的临界条件是“系统加速度为 0”，此时弹簧弹力与总重力沿斜面向下的分力平衡.

6. (1) $1.6mg$ (2) $0.2mg$ (3) $\frac{2}{15}\sqrt{165gR}$

【解析】(1) 对小球 A, 根据平衡条件有 $F - mg\sin 37^\circ - T = 0$, 对小球 B, 则有 $T = mg$, 联立可得作用于小球 A 上的拉力 F 大小为 $F = 1.6mg$.

(2) 撤去拉力 F 的瞬间, 对小球 A, 根据牛顿第二定律有 $T' + mg\sin 37^\circ = ma$, 对小球 B 有 $mg - T' = ma$, 联立解得 $T' = 0.2mg$.

(3) 设撤去拉力 F 后, 小球 A 向下运动到与 O 等高的位置时, 小球 A 的速度大小为 v , 此时小球 B 的速度为零, 对小球 A、B 组成的系统, 根据机械能守恒定律有 $mgR\sin 53^\circ + mg \left[R\tan 53^\circ - \left(\frac{R}{\cos 53^\circ} - R \right) \right] = \frac{1}{2}mv^2$, 联立解得 $v = \frac{2}{15}\sqrt{165gR}$.

7. (1) 2 m/s^2 7 m/s^2 (2) 10.2 J (3) 80.28 J

【解析】(1) 滑块与木板共速前, 对滑块和木板, 根据牛顿第二定律分别有 $\mu_1 mg = ma_1$, $\mu_1 mg + \mu_2(m+M)g = Ma_2$, 解得 $a_1 = 2 \text{ m/s}^2$, $a_2 = 7 \text{ m/s}^2$.

(2) 设经过时间 t_1 两者速度相等, 根据运动学规律有 $a_1 t_1 = v - a_2 t_1$, 解得 $t_1 = 1 \text{ s}$, 此时两者的共同速度大小为 $v_1 = a_1 t_1 = 2 \text{ m/s}$,

达到共同速度前, 滑块和木板的位移大小分别为 $x_1 = \frac{v_1 t_1}{2} = 1 \text{ m}$,

$x_2 = \frac{(v_1 + v)t_1}{2} = 5.5 \text{ m}$, 两者相对位移为 $\Delta x_1 = x_2 - x_1 = 4.5 \text{ m} < L = 5 \text{ m}$; 达到共同速度后, 假设两者可以以相同的加速度做匀减速运动, 则根据牛顿第二定律有 $\mu_2(m+M)g = (m+M)a$, 解得 $a = 4 \text{ m/s}^2$, 此时滑块所受摩擦力大小为 $f = ma = 4 \text{ N} > \mu_1 mg = 2 \text{ N}$, 即假设不成立; 所以达到共同速度后两者以不同的加速度做匀减速运动, 对滑块和木板分别有 $\mu_1 mg = ma_3$, $\mu_2(m+M)g - \mu_1 mg = Ma_4$, 解得 $a_3 = 2 \text{ m/s}^2$, $a_4 = 5 \text{ m/s}^2$, 可知木板先停止运动, 从达到共速到各自停下的过程中, 滑块和木板的位移大小分别为 $x_3 = \frac{v_1^2}{2a_3} = 1 \text{ m}$, $x_4 = \frac{v_1^2}{2a_4} = 0.4 \text{ m}$, 两者相对位移为 $\Delta x_2 = x_3 - x_4 = 0.6 \text{ m} < \Delta x_1 = 4.5 \text{ m}$, 根据功能关系可得 $Q = \mu_1 mg(\Delta x_1 + \Delta x_2) = 10.2 \text{ J}$.

(3) 两者共速后, 设木板经过时间 t_2 停止运动, 则 $t_2 = \frac{v_1}{a_4} = 0.4 \text{ s}$, 木板停下时, 滑块的速度大小为 $v_2 = v_1 - a_3 t_2 = 1.2 \text{ m/s}$, 从开始至木板刚停止时, 摩擦力做功 W_f 等于系统动能变化, 又由题知

$W_f = U$, 则 $U + \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}Mv^2$, 解得 $U = 80.28 \text{ J}$.

全章上分

1. D 【解析】运动员下落高度 h 的过程中,重力做功为 mgh ,运动员的重力势能减少了 mgh ,故 A、B 错误;运动员的动能增加了 $\frac{1}{2}mv^2$,故 C 错误;根据功能关系可知,运动员的机械能减少了 $\Delta E = mgh - \frac{1}{2}mv^2$,故 D 正确.

2. B 【解析】 $F-x$ 图像与坐标轴所围图形的面积表示 F 做的功,且 x 轴上方的面积表示正功, x 轴下方的面积表示负功,则位移从 0 到 7 m 的过程, F 对物体所做的功为 $W = 2 \times (7-4) \text{ J} = 6 \text{ J}$,根据动能定理则有 $W = \frac{1}{2}m(3v_0)^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$,联立解得 $v_0 = \frac{\sqrt{6}}{2} \text{ m/s}$,

点拨:分段计算图像面积(0~2 m、2~4 m、4~7 m),代数求和得 W ,再代入动能定理

故 B 正确.

3. A 【解析】设小球抛出时离地高度为 h ,根据动能定理可得 $mgh = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$,可得小球落地时的速度大小为 $v = \sqrt{2gh+v_0^2}$,设 b 球落地瞬间速度与水平方向的夹角为 β ,由于 b 球抛出时速度与水平方向成 45° 角,则有 $\beta > 45^\circ$,则有 $P_a = mgv$, $P_b = mgv_y = mgv \sin \beta$, $P_c = mgv'_y = mgv \sin 45^\circ$,可得 $P_a > P_b > P_c$,

点拨:分别分析三球落地时的竖直分速度,结合 $P = mgv_y$ 判断功率大小

故 A 正确.

注意说明 重力功率仅与“竖直分速度”有关,与水平分速度无关,需根据运动类型分析 v_y .

4. C 【解析】A、B 两球组成的系统只有重力做功,系统机械能守恒,则当轻杆水平时,A、B 两球组成的系统机械能不变,故 A 错误;当轻杆水平时,系统的重力势能减少量最大,根据系统的机械能守恒可知系统的总动能最大,所以当杆水平时,A、B 球的速度最大,故 B 错误;当 B 球运动至最低点 D 时,两球速度大小相等,由机械能守恒定律得 $mg \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}R + mgR \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2}\right) = \frac{1}{2} \cdot 2mv^2$,解得 B 球速度大小为 $v = \sqrt{gR}$,故 C 正确;小球 A、B 的质量相等,小球 A、B 与轻杆组成的系统的质心位于轻杆的中点,质心以 $\frac{\sqrt{2}}{2}R$ 为半径做圆周运动,只要此系统的质心能通过质心做圆周运动轨迹的最高点,A、B 两球就可以做完整的圆周运动,设质心恰好做完整圆周运动需要的初速度大小为 v_0 ,质心恰能通过其圆周运动轨迹的最高点时速度为零,根据机械能守恒定律得 $\frac{1}{2} \cdot 2mv_0^2 = 2mg \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}R$,解得 $v_0 = \sqrt{\sqrt{2}gR}$,故 D 错误.

关键点拨 多个物体组成的系统在竖直面内做圆周运动,需要找到系统的质心,当质心满足做完整圆周运动的条件时,则系统能够做完整的圆周运动.

5. C 【解析】根据功的定义式 $W = Fx$, 可知图像的斜率表示拉力的大小, $0 \sim 4 \text{ m}$ 的过程中, 拉力大小为 $F_1 = \frac{48}{4} \text{ N} = 12 \text{ N}$, 根据功能关系, 拉力做的功等于小球机械能的增加量, 故 $h = 4 \text{ m}$ 时, 小球的机械能为 $E_1 = F_1 h = 48 \text{ J}$, 故 A 错误; 结合上述分析可知, $4 \sim 8 \text{ m}$ 的过程中, 拉力的大小为 $F_2 = \frac{84 - 48}{8 - 4} \text{ N} = 9 \text{ N} < mg = 10 \text{ N}$, 可知小球在减速上升, 在 $0 \sim 8 \text{ m}$ 的整个过程中, 由动能定理有 $W - mgh = \frac{1}{2}mv^2$, 解得小球在 $h = 8 \text{ m}$ 时的速度大小为 $v = 2\sqrt{2} \text{ m/s}$, 故 $h = 8 \text{ m}$ 时拉力的功率 $P = F_2 v = 18\sqrt{2} \text{ W}$, 故 B 错误; 小球上升到最高点过程中, 拉力一直做正功, 则在最高点处, 小球的机械能最大, 设小球在 $h = 4 \text{ m}$ 后减速上升的高度为 Δh , 由动能定理有 $W_1 + F_2 \Delta h - mg(\Delta h + h) = 0$, 解得 $\Delta h = 8 \text{ m}$, 所以小球的机械能为 $E = mg(\Delta h + h) = 120 \text{ J}$, 故 C 正确; 由于小球上升到最大高度后开始下降, 结合上述分析可知, $4 \sim 12 \text{ m}$ 内, 在小球上升过程和下降过程中, 拉力对小球做的总功为零, 重力对小球做的总功也为零, 所以小球上升过程经过 $h = 4 \text{ m}$ 时的机械能等于下降过程经过此位置时的机械能, 故 D 错误.

6. B 【解析】设细绳与水平方向的夹角为 α ($\alpha \leq 90^\circ$), 由关联速度可得, 沿绳方向的分速度 $v_1 = v \cos \alpha$, 人从 A 点向 B 点移动过程中, α 减小, v 不变, 故 v_1 增大, 由动滑轮特点可知, 重物上升的速度 $v_2 = \frac{1}{2}v_1$, 即重物加速上升, 处于超重状态, 故 A 错误;

点拨: 通过 v_1 的变化判断重物运动状态 (加速), 再由加速度方向判断超重或失重

人到达 B 点时, 重物的速度大小为 $v'_2 = \frac{1}{2}v \cos \theta$, 重物重力的功率

$P = mg \cdot \frac{1}{2}v \cos \theta = 200 \text{ W}$, 故 B 正确; 由功能关系可知, 人对重物

做的功等于重物机械能的增加量, 右侧绳长增长 $\Delta L = \frac{h}{\sin \theta} - h =$

2 m , 重物上升的高度 $H = \frac{1}{2}\Delta L = 1 \text{ m}$, 则 $W = mgH + \frac{1}{2}mv_2'^2 = 120 \text{ J}$,

提醒: 机械能的增加量包括重力势能和动能的增加量, 需同时计算

故 C 错误; 人行走时, 受到的静摩擦力水平向右, 根据牛顿第三定律, 人对地面的摩擦力方向水平向左, 故 D 错误.

7. C

思路分析 $v-t$ 图像在拐点处斜率发生变化, 说明物块加速度发生变化, 即所受合力发生变化, 结合题意可知, 拐点处物块所受滑动摩擦力的方向发生改变, 由物块向上运动可知, 滑动摩擦力方向先沿传送带向下, 后沿传送带向上, 分两个过程进行讨论即可.

【解析】在 $0 \sim 1$ s 内,物块的速度大于传送带速度,传送带对物块的摩擦力方向沿传送带向下,在 $1 \sim 2$ s 内传送带的速度大于物块的速度,传送带对物块的摩擦力方向沿传送带向上,故物块在 $0 \sim 2$ s 过程中,所受摩擦力方向改变,故 A 错误;在 $0 \sim 1$ s 内,物块的速度大于传送带速度,传送带对物块的摩擦力方向沿传送带向下,根据牛顿第二定律有 $mg\sin 37^\circ + \mu mg\cos 37^\circ = ma_1$,根据题图乙可得 $a_1 = \frac{12-4}{1} \text{ m/s}^2 = 8 \text{ m/s}^2$,解得 $\mu = 0.25$,由题图乙可知在 $0 \sim 1$ s 内,物块相对地面的位移大小为 $x_1 = \frac{(12+4) \times 1}{2} \text{ m} = 8 \text{ m}$,故摩擦力对物块做功为 $W_1 = -\mu mg\cos 37^\circ \cdot x_1 = -16 \text{ J}$,故 B 错误;由上述分析可知传送带运行的速率 $v_1 = 4 \text{ m/s}$,由题图乙可知在 $0 \sim 1$ s 内,物块相对传送带的位移大小为 $\Delta x_1 = x_1 - v_1 t_1 = 8 \text{ m} - 4 \times 1 \text{ m} = 4 \text{ m}$,由题图乙可知在 $1 \sim 2$ s 内,物块相对地面的位移大小为 $x_2 = \frac{4 \times 1}{2} \text{ m} = 2 \text{ m}$,故物块相对传送带的位移大小为 $\Delta x_2 = v_1 t_2 - x_2 = 4 \times 1 \text{ m} - 2 \text{ m} = 2 \text{ m}$,所以在 $0 \sim 2$ s 过程中,物块与传送带因摩擦产生的热量为 $Q = \mu mg\cos 37^\circ (\Delta x_1 + \Delta x_2) = 12 \text{ J}$,故 C 正确;在 $0 \sim 2$ s 过程中物块重力做功为 $W = -mg(x_1 + x_2) \cdot \sin 37^\circ = -60 \text{ J}$,则在 $0 \sim 2$ s 过程中,物块克服重力做功的平均功率为 $P = \frac{-W}{t} = 30 \text{ W}$,故 D 错误。

8. AC **【解析】**物体做竖直上抛运动,由物体的动能 E_k 与时间 t 的关系图像可知,上升到最高点所用时间为 $t = 1 \text{ s}$,由运动学公式可得,物体离开地面时的速度大小 $v_0 = gt = 10 \text{ m/s}$,故 A 正确;物体在离开地面时的速度最大,动能最大,由动能公式 $E_k = \frac{1}{2}mv_0^2$ 可得,物体的质量为 $m = \frac{2E_k}{v_0^2} = 0.5 \text{ kg}$,故 B 错误;由瞬时功率计算公式可得,物体离开地面时克服重力做功的功率为 $P = mgv_0 = 50 \text{ W}$,故 C 正确;取地面为零势能面,由机械能守恒定律可得 $mgh_m = E_k$,则物体离开地面后上升的最大高度为 $h_m = \frac{E_k}{mg} = \frac{25}{0.5 \times 10} \text{ m} = 5 \text{ m}$,故 D 错误。

9. AC **【解析】**根据题图 2 可知 $G = F_0$,当合力为零时,满足 $G = k(1.2L - L)$,解得 $k = \frac{F_0}{0.2L} = \frac{5F_0}{L}$,故 A 正确;蹦极绳拉力对游戏者做负功,游戏者机械能不守恒,故 B 错误;根据题图 2 可知,当 $x = 1.2L$ 时,游戏者的动能最大,结合动能定理及 $F-x$ 图线与横轴所围图形面积表示合力做的功,可得 $\frac{1}{2}F_0(L + 1.2L) = E_{km}$,解得 $E_{km} = 1.1F_0L$,故 C 正确;游戏者由静止开始下落到达最低点过程中,游戏者和蹦极绳组成的系统机械能守恒,得 $E_{p弹} = E_{pG} = F_0 \cdot 1.5L = 1.5F_0L$,故 D 错误。

10. ABD **【解析】**小球在半圆形轨道上从 A 运动到 C 的过程中,根据动能定理有 $-mgh = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$,解得 $v^2 = v_0^2 - 2gh$,由题图乙

可知,当 $h=0.25\text{ m}$ 时, $v^2=4\text{ m}^2/\text{s}^2$,代入上式解得 $v_0=3\text{ m/s}$,又当 $h=0$ 时有 $v^2=v_0^2=9\text{ m}^2/\text{s}^2$,解得 $x=9\text{ m}^2\cdot\text{s}^{-2}$,故 A 正确;由题图乙可知,最大高度为 0.25 m ,则轨道半径 $R=\frac{0.25}{2}\text{ m}=0.125\text{ m}$,对应小球在 C 点的速度 $v_C=\sqrt{4}\text{ m/s}=2\text{ m/s}$,在 C 点,由牛顿第二定律可得 $F+mg=m\frac{v_C^2}{R}$,解得 $m=0.5\text{ kg}$,故 B 正确;结合上述分析可知,小球在 A 点的速度 $v_0=3\text{ m/s}$,在 A 点,根据牛顿第二定律可得 $N_A-mg=m\frac{v_0^2}{R}$,代入数据解得 $N_A=41\text{ N}$,故 C 错误;小球从 A 到 B 过程中,根据动能定理有 $-mgR=\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_0^2$,在 B 点,根据牛顿第二定律可得 $N_B=m\frac{v_B^2}{R}$,代入数据解得 $N_B=26\text{ N}$,由于小球还受重力作用,则小球在 B 点所受合力大小为 $\sqrt{N_B^2+(mg)^2}=\sqrt{26^2+5^2}\text{ N}>26\text{ N}$,故 D 正确.

提醒: B 点为半圆中点,弹力水平(指向圆心),重力竖直,需用平行四边形定则求合力

方法总结 图像与圆周运动结合:①从图像中提取关键数据(v^2 、 h);②用动能定理关联不同位置的速度;③圆周运动各点受力分析,明确力的方向列出向心力公式.

11. (1) A (2) 2.10 (3) $\frac{2g}{d^2}$ (4) 空气阻力的影响 (5) 小于

【解析】(1) 为了减小实验误差,应选用密度较大的铁球,故 A 正确.

(2) 刻度尺的分度值是 1 mm ,读数为 2.10 cm .

(3) 小球经过光电门时的速度大小为 $v=\frac{d}{t}$,根据机械能守恒

定律有 $mgh=\frac{1}{2}mv^2$,解得 $\frac{1}{t^2}=\frac{2gh}{d^2}$,则 $\frac{1}{t^2}-h$ 图像的斜率为

$\frac{2g}{d^2}$ 可验证小球下落过程中机械能守恒.

(4) 小球动能增加量总是略小于重力势能减少量,原因可能是空气阻力的影响.

(5) 小球通过光电门的平均速度等于该过程中间时刻的瞬时速度,因小球做加速运动,在中间时刻小球球心还没到达光电门位置,所以小球通过光电门的平均速度小于小球球心通过光电门的瞬时速度,即动能的测量值小于真实值.

点拨: 结合加速运动的速度变化规律,判断平均速度与真实瞬时速度的大小关系,进而确定动能偏差

12. (1) B (2) 光电门 0.5 cm (3) $gh_A+\frac{1}{2}v_A^2=gh_B+\frac{1}{2}v_B^2$ (4) 3

摆锤运动过程中受到一定的空气阻力

【解析】(1) 释放摆锤,由 A 点运动到 D 点的过程中,连杆的拉力

总是与速度方向垂直,即连杆的拉力不做功,只有重力做正功,即合外力做正功,故 B 正确.

(2) 实验中,使用光电门传感器测量摆锤经过各点的速度;为了减小误差,挡光片的宽度选择 0.5 cm 为宜.

(3) 设摆锤的质量为 m ,规定过 D 点的水平面为重力势能的零势能面,则摆锤在 A 点的机械能为 $E_A = mgh_A + \frac{1}{2}mv_A^2$,摆锤在 B

点的机械能为 $E_B = mgh_B + \frac{1}{2}mv_B^2$,若摆锤在 A 、 B 两点的机械能

相等,则有 $mgh_A + \frac{1}{2}mv_A^2 = mgh_B + \frac{1}{2}mv_B^2$,即 $gh_A + \frac{1}{2}v_A^2 = gh_B + \frac{1}{2}v_B^2$.

(4) 根据表格数据可知摆锤经过第 3 个挡光片的数据不合理;剔除不合理数据后,其他数据还存在明显差异,这是因为摆锤运动过程中受到一定的空气阻力,摆锤的机械能逐渐减小.

13. (1) 50 m/s (2) 2 m/s² (3) $\frac{20}{3}$ s

【解析】(1) 设汽车以额定功率启动后达到最大速度 v_m 时牵引力为 F_0 ,汽车达到最大速度时有 $F_0 = f$,又由 $P_0 = F_0 v_m$,联立解得 $v_m = 50$ m/s.

(2) 当车速为 $\frac{v_m}{2}$ 时, $P_0 = F_1 \frac{v_m}{2}$,又由牛顿第二定律 $F_1 - f = ma_1$,联立解得 $a_1 = 2$ m/s².

(3) 若汽车以恒定加速度 $a_2 = 3$ m/s² 启动,设汽车的牵引力为 F_2 ,由牛顿第二定律 $F_2 - f = ma_2$,设匀加速达到的最大速度为 v_1 ,则有 $P_0 = F_2 v_1$,又 $v_1 = a_2 t$,解得 $t = \frac{20}{3}$ s.

14. (1) $\frac{2mg}{k}$ (2) $\frac{20m^2 g^2}{13k}$

【解析】(1) 设开始时弹簧的压缩量为 x_B ,由题意有 $kx_B = mg$,设当 A 刚刚离开地面时,弹簧的伸长量为 x_A ,有 $kx_A = mg$,当 A 刚要离开地面时, B 上升的距离即为 C 沿斜面下滑的距离, $h = x_A + x_B = \frac{2mg}{k}$.

(2) A 刚要离开地面时,以 B 为研究对象, B 受到重力 mg 、弹簧的弹力 kx_A 和细线的拉力 F_T 三个力的作用,设 B 的加速度大小为 a ,根据牛顿第二定律,对 B 有 $F_T - mg - kx_A = ma$,对 C 有 $m_C g \sin \theta - F_T = m_C a$,当 B 获得最大速度时,有 $a = 0$,解得 $m_C = \frac{10}{3}m$,从 C 刚释放到 A 刚要离开地面过程中,根据动能定理,对 C 有 $m_C g h \sin \theta - W_T = E_{kC} - 0$,对 B 有 $W_T - mgh + W_{\text{弹}} = E_{kB} - 0$,其中弹簧弹力先做正功后做负功,且其压缩量与伸长量相等,故总功为零,即 $W_{\text{弹}} = 0$, B 、 C 的速度大小相等,故其动能之比等于其质量之比,即 $\frac{E_{kC}}{E_{kB}} = \frac{10}{3}$,解得 $E_{kC} = \frac{20m^2 g^2}{13k}$.

15. (1) 2 m/s (2) 28 N (3) 0.2 (4) 18 J

【解析】(1) 设 A 点与 B 点间的竖直高度差为 y , 有 $y = H - R \cdot (1 - \cos \theta) = 0.6 \text{ m}$, 设小物块 P 在 B 点的竖直分速度为 v_y , 由 $v_y^2 = 2gy$, 解得 $v_y = 2\sqrt{3} \text{ m/s}$, 物块经过 B 点时有 $\tan \theta = \frac{v_y}{v_0}$, 代入解得 $v_0 = 2 \text{ m/s}$.

(2) 物块运动到 B 点时速度大小为 $v_B = \sqrt{v_y^2 + v_0^2} = 4 \text{ m/s}$, 从 B 点运动到圆弧轨道最低点 C 的过程中, 根据动能定理有 $mg(R - R\cos \theta) = \frac{1}{2}mv_C^2 - \frac{1}{2}mv_B^2$, 解得 $v_C = 6 \text{ m/s}$, 在圆弧轨道最低点时有 $F - mg = m\frac{v_C^2}{R}$, 解得 $F = 28 \text{ N}$, 根据牛顿第三定律可知, 在圆弧轨道最低点时小物块 P 对轨道的压力大小为 28 N .

(3) 设小物块 P 从 C 点离开圆弧轨道在传送带上减速到与传送带共速时的位移大小为 x_1 , 有 $-\mu_1 mgx_1 = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_C^2$, 解得 $x_1 = 2 \text{ m} < 3 \text{ m}$, 故小物块 P 先减速到与传送带共速, 再匀速运动到 D 点, 到 D 点时的速度大小为 $v = 4 \text{ m/s}$, 从 D 点到弹簧弹性势能最大处, 由能量守恒定律有 $\frac{1}{2}mv^2 = \mu_2 mgx_{DE} + E_p$, 解得 $\mu_2 = 0.2$.

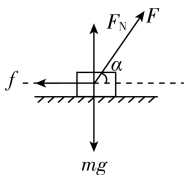
(4) 设小物块 P 从 D 点向右运动到弹簧压缩量最大然后再次回到 D 点时的速度为 v_1 , 由动能定理有 $-2\mu_2 mgx_{DE} = \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv^2$, 解得 $v_1 = 2 \text{ m/s}$, 此过程中摩擦生热为 $Q_1 = 2\mu_2 mgx_{DE} = 6 \text{ J}$; 设小物块第一次向右滑到传送带上由 C 运动到与传送带共速所用时间为 t_1 , 有 $v = v_C - \mu_1 gt_1$, 解得 $t_1 = 0.4 \text{ s}$, 传送带位移大小为 $x_2 = vt_1 = 1.6 \text{ m}$, 此过程摩擦生热为 $Q_2 = \mu_1 mg(x_1 - x_2) = 2 \text{ J}$; 设小物块 P 返回到传送带上由 D 向 C 运动过程中速度减到零所用的时间为 t_2 , 有 $t_2 = \frac{v_1}{\mu_1 g} = 0.4 \text{ s}$, 小物块位移大小为 x_3 , 传送带位移大小为 x_4 , 有 $x_3 = \frac{v_1}{2}t_2 = 0.4 \text{ m}$, $x_4 = vt_2 = 1.6 \text{ m}$, $Q_3 = \mu_1 mg(x_3 + x_4) = 10 \text{ J}$, 所以这一过程中小物块 P 与传送带及平台间因摩擦而产生的热量为 $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 18 \text{ J}$.

真题上分

1. B 【解析】单位时间内瀑布流出水的质量 $m = \rho V$, 下落过程中重力做功 $W = mgh$, 转化成的电能为 $E = \eta W$, 单位时间内转化成的电能即为发电功率, 故发电功率 $P = \rho Vgh\eta = 10 \times 10^3 \times 10 \times 150 \times 70\% \text{ W} = 1.05 \times 10^7 \text{ W}$, B 正确.

2. A 【解析】设该光伏电池单位时间内获得的太阳能为 E , 小车匀速运动, 则有 $F = f = kv$, 小车的功率 $P_{\text{车}} = Fv = kv^2$, 由于电动机的效率为 50% , 则 $50\% E\eta = kv^2$, 解得 $E = \frac{2kv^2}{\eta}$, A 正确.

3. D 【解析】对物体受力分析如图所示,



水平方向有 $F \cos \alpha - f = ma$, 竖直方向有 $F_N = mg - F \sin \alpha$, $f = \mu F_N$, 解得 $f = \mu mg - \mu F \sin \alpha$, 摩擦力做功大小为 $W_f = \mu mgx - \mu F \sin \alpha \cdot x$, 故摩擦力做功大小与 F 方向有关, **A 错误**; 合力做的功 $W_{\text{合}} = max$, 是一个定值, 与 F 的方向无关, **B 错误**; F 为水平方向时有 $F - \mu mg = ma$, 得 $F = \mu mg + ma$, 此时 F 做的功为 $W_F = \mu mgx + max$, **C 错误**; F 做的功可表示为 $W_F = F \cos \alpha \cdot x = fx + max$, 式中 $f \geq 0$, m 、 a 、 x 均为定值, 当 $f = 0$ 时有 $W_{F_{\min}} = max$, **D 正确**.

一题多解

因合力做的功为 max , 拉力 F 做正功, 摩擦力做负功, 只有摩擦力做的负功最小时, 拉力做的功才有最小值, 而摩擦力做功的最小值为零, 故拉力做功的最小值为 max .

4. AC 【解析】根据牛顿第二定律得 $\frac{GMm}{R^2} = mg$, 可得 $\frac{g_1}{g_0} =$

$\frac{M_1}{M_0} \left(\frac{R_0}{R_1} \right)^2$, 解得 $g_1 = 4 \text{ m/s}^2$, **A 正确**; 地球的第一宇宙速度 $v_0 =$

7.9 km/s , 根据万有引力提供向心力得 $\frac{GMm}{R^2} = m \frac{v^2}{R}$, 可得 $\frac{v_1^2}{v_0^2} =$

$\frac{M_1}{M_0} \cdot \frac{R_0}{R_1}$, 解得 $v_1 = \sqrt{\frac{1}{5}} v_0$, **B 错误**; “背罩分离”前, 绳中弹力

$F_{\text{弹}} = (m_{\text{探}} + m_{\text{背}}) g_1$, “背罩分离”后瞬间, 绳中弹力不变, $a =$

$\frac{F_{\text{弹}} - m_{\text{背}} g_1}{m_{\text{背}}} = 80 \text{ m/s}^2$, **C 正确**; 探测器所受重力对其做功的功率

$P = m_{\text{探}} g_1 v = 240 \text{ kW}$, **D 错误**.

5. (1) 450 N (2) $9.0 \times 10^3 \text{ J}$ (3) 600 W

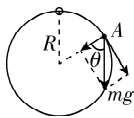
【解析】(1) 由于木板做匀速直线运动, 由平衡条件得 $2F \cos \theta = f$, 解得 $f = 450 \text{ N}$.

(2) 根据功的定义式得 $W = 2Fl \cos \theta$, 解得 $W = 9.0 \times 10^3 \text{ J}$.

(3) 由功率 $P = \frac{W}{t}$, 解得 $P = 600 \text{ W}$.

6. B 【解析】列车对高中生所做的功转化为高中生的动能, 高中生坐在列车上与列车相对静止, 即高中生对地速度 $v = 144 \text{ km/h} = 40 \text{ m/s}$, 高中生的质量大约为 $m = 50 \text{ kg}$, 列车对高中生所做的功为 $W = \frac{1}{2} mv^2 = 4 \times 10^4 \text{ J}$, **B 正确**.

7. C 【解析】设大圆环半径为 R , 小环所在位置与圆心的连线和竖直方向夹角为 θ , 大圆环对小环的作用力刚好为零时, 受力分析如图所示, 由牛顿第二定



律得 $mg \cos \theta = m \frac{v^2}{R}$, 根据动能定理得 $mgR(1 - \cos \theta) = \frac{1}{2} mv^2$, 联

立解得 $\cos \theta = \frac{2}{3}$, 故小环运动到 Q 点时对大圆环的作用力不是

最小, **B 错误**; 设大圆环对小环的作用力为 F , 大圆环对小环的作用力刚好为零时小环处于 A 点, 到达 A 点前, 由牛顿第二定律得 $mg\cos\theta_1 - F_1 = m\frac{v_1^2}{R}$, 根据动能定理得 $mgR(1 - \cos\theta_1) = \frac{1}{2}mv_1^2$, 联立解得 $F_1 = (3\cos\theta_1 - 2)mg$, θ_1 增大, F_1 减小, 从 A 点到 Q 点, 由牛顿第二定律有 $mg\cos\theta_2 + F_2 = m\frac{v_2^2}{R}$, 根据动能定理有 $mgR(1 - \cos\theta_2) = \frac{1}{2}mv_2^2$, 联立解得 $F_2 = (2 - 3\cos\theta_2)mg$, θ_2 增大, F_2 增大, 从 Q 到最低点的过程中, 由牛顿第二定律有 $F_3 - mg\cos\theta_3 = m\frac{v_3^2}{R}$, 根据动能定理有 $mgR(1 + \cos\theta_3) = \frac{1}{2}mv_3^2$, 联立解得 $F_3 = (2 + 3\cos\theta_3)mg$, θ_3 减小, F_3 增大, 根据牛顿第三定律可知, Q 点不是小环对大圆环作用力最大的点, 小环自顶端下滑至底部过程中对大圆环的作用力先减小后增大, **C 正确**, **A、D 错误**.

8. C



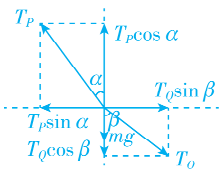
思路分析 物块和小车共速前, 物块做匀加速直线运动, 小车做变加速直线运动, 电动机的功率恒定, 牵引力做功 $W = Pt$, 功率恒定时用动能定理可以联系位移和时间.

【解析】

选项	分析	正误
A	物块加速至 v_0 过程: $\mu mg\cos 30^\circ - mg\sin 30^\circ = ma$, 得 $a = \frac{1}{4}g$, $v_0 = at$, 得 $t = \frac{4v_0}{g}$, $x_{\text{物}} = \frac{1}{2}at^2 = \frac{2v_0^2}{g}$	×
B	物块加速至 v_0 过程, 物块机械能增量 $\Delta E = \frac{1}{2}mv_0^2 + mgx_{\text{物}}\sin 30^\circ = \frac{3}{2}mv_0^2$	×
C	小车加速至 v_0 过程, 根据动能定理有 $Pt - (mg\sin 30^\circ + \mu mg\cos 30^\circ)x_{\text{车}} = \frac{1}{2}mv_0^2 - 0$, 得 $x_{\text{车}} = \frac{16Pv_0}{5mg^2} - \frac{2v_0^2}{5g}$	✓
D	小车加速至 v_0 过程, 小车机械能增量 $\Delta E' = \frac{1}{2}mv_0^2 + mgx_{\text{车}}\sin 30^\circ = \frac{8Pv_0}{5g} + \frac{3}{10}mv_0^2$	×

9. (1) 1 200 N 900 N (2) -4 200 J

【解析】(1) 重物缓慢下降, 处于平衡状态, 对重物进行受力分析, 如图所示, 水平方向有 $T_P\sin\alpha = T_Q\sin\beta$, 竖直方向有 $T_P\cos\alpha = T_Q\cos\beta + mg$, 联立解得 $T_P =$

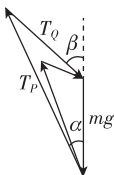


1 200 N, $T_Q = 900$ N.

(2) 重物缓慢下降, 动能变化量为零, 下降过程中对重物由动能定理有 $mgh + W = 0$, 解得 $W = -4\ 200$ J, 即两根绳子拉力对重物做的总功为 $-4\ 200$ J.

名师延展

本题还可以考查动态平衡, 分析重物下降过程中两根绳子拉力的变化情况. 对重物受力分析, 作出矢量三角形, 根据题意可知 α 变小, β 变大, 如图所示, 可知两根绳子的拉力均减小.

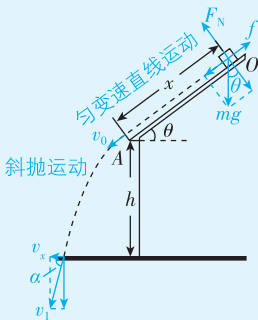


10. (1) 5 m/s (2) 8 m/s 60°



题图剖析

雪块运动过程如图所示, 第一个过程雪块在屋顶上做匀变速直线运动, 已知受力求运动, 第二个过程雪块做斜抛运动, 求解末速度大小和方向.



【解析】(1) 雪块在屋顶下滑过程中, 根据动能定理有 $mg \cdot$

$$x \sin \theta - \mu mg \cos \theta \cdot x = \frac{1}{2} m v_0^2, \text{ 解得 } v_0 = 5 \text{ m/s}.$$

(2) 雪块从 A 点到地面过程中, 由动能定理有 $mgh = \frac{1}{2} m v_1^2 -$

$$\frac{1}{2} m v_0^2, \text{ 解得 } v_1 = 8 \text{ m/s}, \text{ 雪块在 A 点速度的水平分量 } v_x = v_0 \cos \theta =$$

$$4 \text{ m/s}, \text{ 落地瞬间雪块速度与水平方向夹角 } \alpha \text{ 满足 } \cos \alpha = \frac{v_x}{v_1} =$$

$$\frac{1}{2}, \text{ 解得 } \alpha = 60^\circ.$$

一题多解

(1) 雪块在屋顶上运动时由牛顿第二定律有 $m g \sin \theta - \mu m g \cos \theta = m a$, 解得 $a = 5 \text{ m/s}^2$, 雪块从 O 点到 A 点过程中有 $v_0^2 = 2 a x$, 解得雪块在 A 点的速度大小为 $v_0 = 5 \text{ m/s}$.

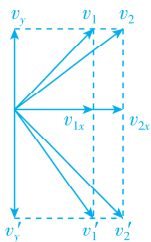
(2) 雪块在 A 点速度的水平分量 $v_x = v_0 \cos \theta = 4 \text{ m/s}$, 竖直分量 $v_y = v_0 \sin \theta = 3 \text{ m/s}$, 设雪块落地速度为 v_1 , 水平方向做匀速直线运动, 有 $v_{1x} = v_x = 4 \text{ m/s}$, 竖直方向做竖直下抛运动, 有 $v_{1y}^2 - v_y^2 = 2 g h$, 解得 $v_{1y} = 4 \sqrt{3} \text{ m/s}$, 则落地速度 $v_1 = \sqrt{v_{1x}^2 + v_{1y}^2} = 8 \text{ m/s}$, 落地瞬间雪块速度与水平方向夹角 α 满足 $\tan \alpha =$

$$\frac{v_{1y}}{v_{1x}} = \sqrt{3}, \text{ 解得 } \alpha = 60^\circ.$$

11. B 【解析】在理论上, 当运动员在最高点速度为零时, 重心提升高度最大, 以地面为零势能面, 根据机械能守恒定律有

$$\frac{1}{2} m v^2 = m g h, \text{ 可得其理论的最大高度 } h = 5 \text{ m}, \text{ 故 B 正确}.$$

- 12. BD** 【解析】根据逆向思维,沙包从抛出到最高点的运动可视为反方向的平抛运动,则第一次抛出上升的高度为 $h_1 = 3.2 \text{ m} - 1.4 \text{ m} = 1.8 \text{ m}$, 上升时间为 $t_{\text{上}1} = \sqrt{\frac{2h_1}{g}} = 0.6 \text{ s}$, 最高点离水平地面高度为 $h_0 = 3.2 \text{ m}$, 则下降的时间为 $t_{\text{下}1} = \sqrt{\frac{2h_0}{g}} = 0.8 \text{ s}$, 故第一次抛出上升时间与下降时间的比值为 3 : 4, **A 错误**; 两次运动轨迹最高点等高、沙包抛出的位置相同, 则两次从抛出到落地的时间相等, 为 $t = t_{\text{上}1} + t_{\text{下}1} = 1.4 \text{ s}$, 故第一次、第二次抛出时水平方向的分速度分别为 $v_{1x} = \frac{OQ_1}{t} = 6 \text{ m/s}$ 、 $v_{2x} = \frac{OQ_2}{t} = 7 \text{ m/s}$, 由于两条轨迹最高点等高, 故抛出时竖直方向的分速度也相等, $v_y = gt_{\text{上}1} = 6 \text{ m/s}$, 由于沙包在空中运动过程中只受重力, 则机械能守恒, 故第一次过 P 点比第二次过 P 点机械能少 $\Delta E = \frac{1}{2}m \cdot (v_{2x}^2 + v_y^2) - \frac{1}{2}m \cdot (v_{1x}^2 + v_y^2) = 1.3 \text{ J}$, 从抛出到落地瞬间, 根据机械能守恒定律得 $E_{k1} = E_{k01} + mg \cdot OH = \frac{1}{2}m(v_{1x}^2 + v_y^2) + mg \cdot OH = 10 \text{ J}$, $E_{k2} = E_{k02} + mg \cdot OH = \frac{1}{2}m(v_{2x}^2 + v_y^2) + mg \cdot OH = 11.3 \text{ J}$, 故落地前瞬间, 第一次与第二次沙包的动能之比为 100 : 113, **B 正确, C 错误**; 如图所示, 两次抛出时竖直方向的分速度相同, 两次落地时沙包在竖直方向的分速度也相同, 第一次的水平分速度较小, 由 $\tan \theta = \frac{v_y}{v_x}$ 知, 第一次抛出时速度与水平方向的夹角较大, 第一次落地时速度与水平方向的夹角也较大, 故第一次抛出时速度方向与落地前瞬间速度方向的夹角比第二次的大, **D 正确**.



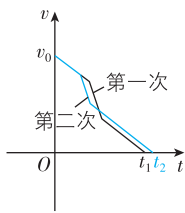
- 13. B** 【解析】由平抛运动规律得 $l = v_0 t$, $h = \frac{1}{2}gt^2$, 联立解得 $v_0 = \frac{l}{2h}\sqrt{2gh}$, 以单位时间流出的水为研究对象, 则 $m = \rho S v_0$, 根据能量守恒定律得 $\eta P = mg(H+h) + \frac{1}{2}mv_0^2$, 联立解得水泵的输出功率为 $P = \frac{\rho g S l \sqrt{2gh}}{2\eta h} \left(H+h+\frac{l^2}{4h} \right)$, **B 正确**.

- 14. A** 【解析】滑块在 MN 左右两侧运动的加速度大小为 $a_2 = \mu_2 g$, 在 MN 段的加速度大小为 $a_1 = \mu_1 g$, $a_1 > a_2$, 设 MN 的长度为 x_0 , 第一次滑块在 MN 段的运动时间为 t_{01} , 第一次滑块在 MN 左侧运动位移为 x_{11} 时间为 t_{11} , 在 MN 右侧运动位移为 x_{12} , 逆向分析, 滑块从右向左做初速度为零的分段匀加速直线运动, 有 $v_N^2 = 2a_2 x_{12}$, $v_M^2 - v_N^2 = 2a_1 x_0$, $v_0^2 - v_M^2 = 2a_2 x_{11}$, 三式相加得 $v_0^2 = 2a_2(x_{11} + x_{12}) +$

$2a_1x_0$, 第一次总位移大小为 $x_1 = x_{11} + x_0 + x_{12} = \frac{v_0^2 - 2(a_1 - a_2)x_0}{2a_2}$, 因两次运动在 MN 间位移不变, 则由表达式可知滑块运动的总位移与在 MN 左侧运动位移大小无关, $x_1 = x_2$, **C、D 错误**; 同理, 可得 $v_N = a_2t_{12}$, $v_M - v_N = a_1t_{01}$, $v_0 - v_M = a_2t_{11}$, 三式相加得 $v_0 = a_2(t_{11} + t_{12}) + a_1t_{01}$, 滑块运动总时间为 $t_1 = t_{11} + t_{01} + t_{12} = \frac{v_0 - a_1t_{01}}{a_2} + t_{01} = \frac{v_0 - (a_1 - a_2)t_{01}}{a_2}$, 同理, 可得滑块第二次滑动的总时间为 $t_2 = \frac{v_0 - (a_1 - a_2)t_{02}}{a_2}$, 滑块在第二次经过 MN 区域时初速度较大, 加速度不变, 位移不变, 时间更短, 即 $t_{01} > t_{02}$, 因 $a_1 > a_2$, 则 $t_1 < t_2$, **A 正确, B 错误**.

快解

设滑块在 MN 段运动的位移大小为 x_{MN} , 在其余部分运动的总位移大小为 $x_{其余}$, 根据能量守恒定律有 $\frac{1}{2}mv_0^2 = \mu_1 mgx_{MN} + \mu_2 mgx_{其余}$, x_{MN} 恒定,



则 $x_{其余}$ 恒定, 故两次运动过程的总位移 $x_1 = x_2$, **C、D 错误**; 根据两次的运动情况画出 $v-t$ 图像, 由此可知, $t_1 < t_2$, **A 正确, B 错误**.

15. (1) $4\sqrt{5}$ m/s 17 N (2) 4 m (3) $2\sqrt{15}$ m/s



思路分析

(1) 小球从最低点开始运动的过程中, “在竖直平面内做圆周运动”, 绳子拉力不做功, 由动能定理求速度, 根据牛顿第二定律求拉力大小.

(2) 小球牵引绳子运动到 M 点正下方时, 小球上升高度为 $2L$.

(3) 使小球通过 N 点正上方且绳子不松弛的最小速度, 即为圆周运动的临界速度, 此时绳子拉力为零, 重力提供向心力. 小球在 N 点正上方时, 上升高度为 $5L$, 由动能定理求初速度的最小值.

【解析】(1) 小球从最低点开始做圆周运动到绕过 N 、 M 两点到达 M 点正下方过程, 绳子拉力不做功, 设小球到达 M 点正下方时速度大小为 v , 小球所受拉力大小为 T , 由于绳子刚好被拉断, 结合牛顿第三定律可知, 绳子所受最大拉力大小也为 T , 由动能定理得 $-mg \cdot 2L = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$, 解得 $v = 4\sqrt{5}$ m/s, 对小球有 $T - mg = m \frac{v^2}{L}$, 解得 $T = 17$ N.

(2) 设小球平抛运动水平位移大小为 x , 下落高度 $h = 2L$, 由平抛运动规律有 $x = vt$, $h = \frac{1}{2}gt^2$, 解得 $x = 4$ m.

(3) 设小球恰好到达 N 点正上方时的速度大小为 v_1 , 对应小球初速度 v_0' 最小, 此时有 $mg = m \frac{v_1^2}{2L}$, 小球从最低点到 N 点正上方过程, 由动能定理得 $-mg \cdot 5L = \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_0'^2$, 解得 $v_0' = 2\sqrt{15}$ m/s.

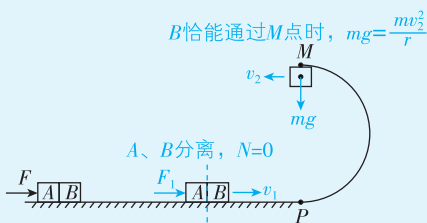
16. (1) 1.5 J (2) 0.5 N (3) $r \leq 0.2 \text{ m}$



思路分析 (1) 应用恒力做功公式求解;

(2) 连接体问题, 用整体法和隔离法分析;

(3) 运动过程分析如图所示.



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

(2) $x = 1 \text{ m}$ 时, $F = 1.5 \text{ N}$, 对 A、B 整体受力分析, 由牛顿第二定律得 $F - \mu mg = 2ma$, 设 A、B 之间的弹力为 N , 对 B, 由牛顿第二定律得 $N = ma$, 联立解得 $N = 0.5 \text{ N}$.

(3) 设 A、B 分开时推力为 F_1 , 此时 A 所受合外力为 0, 有 $F_1 - \mu mg = 0$, 解得 $F_1 = 0.5 \text{ N}$, 由题图乙可得此时位移大小 $x_2 = 3 \text{ m}$, 设 A、B 分开时速度大小为 v_1 , 由动能定理得 $W_F - \mu mgx_2 = \frac{1}{2} \times 2mv_1^2$,

$F-x$ 图线与横轴所围面积表示 F 做的功, 由题图乙可得 $W_F = 1.5 \times 1 \text{ J} + \frac{1}{2} \times (1.5 + 0.5) \times 2 \text{ J} = 3.5 \text{ J}$, 解得 $v_1 = \sqrt{10} \text{ m/s}$, 设圆弧半径为 r , 若 B 能到达 M 点, 设 B 到达 M 点时速度大小为 v_2 , 则

满足 $mg \leq m \frac{v_2^2}{r}$, 对 B 由动能定理得 $-2mgr = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$, 联立解得 $r \leq 0.2 \text{ m}$.

17. (1) ④①⑥⑤ (2) 1.79 (3) 通过 $2g$ 19.1

(4) $\left| \frac{2g-k}{2g} \right|$ 2.6

【解析】(1) 该实验的步骤为: 将纸带下端固定在重锤上, 穿过打点计时器的限位孔, 用手捏住纸带上端; 先接通电源, 打点计时器开始打点, 然后再释放纸带; 关闭电源, 取下纸带; 在纸带上选取一段, 用刻度尺测量该段内各点到起点的距离, 记录分析数据. 根据实验原理 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ 可知, 等号两边质量可以约掉, 不需要用电子天平称量重锤的质量. 故正确的实验步骤及顺序为 ④①⑥⑤.

(2) 根据题意可知, 纸带上相邻计数点的时间间隔 $T = \frac{1}{f} = 0.02 \text{ s}$, 根据匀变速直线运动规律得中间时刻的瞬时速度等于该过程的平均速度, 可得打出 B 点时重锤下落的速度大小 $v_B = \frac{AC}{2T} = \frac{(20.34 - 13.20) \times 10^{-2}}{2 \times 0.02} \text{ m/s} \approx 1.79 \text{ m/s}$.

(3) 若机械能守恒, 则满足 $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$, 可得 v^2-h 关系式为 $v^2 = 2gh$, 可知题图 3 中直线通过原点且斜率为 $2g$; 由题图 3 中数据计算可得直线的斜率 $k = \frac{5.5 - 1.4}{0.29 - 0.075} \text{ m/s}^2 = 19.1 \text{ m/s}^2$.

(4) 重锤重力势能减小量 $E_p = mgh$, 动能增加量 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 =$

$$\frac{1}{2}mgh, \eta = \left| \frac{E_p - E_k}{E_p} \right| \times 100\% = \left| \frac{mgh - \frac{1}{2}mgh}{mgh} \right| \times 100\% = \left| \frac{2g - k}{2g} \right| \times$$

$$100\%, \text{代入数据解得 } \eta = \left| \frac{19.60 - 19.1}{19.60} \right| \times 100\% = 2.6\%.$$

全书综合检测

1. C 【解析】从上至下将第一块砖平铺在地面上重力做功为 $mg \cdot 2d$, 将第二块砖平铺在地面上重力做功为 mgd , 将第三块砖平铺在地面上重力不做功, 则该过程中三块砖所受的重力做的功为

提醒: 重力做功 $W = mgh$, h 为重心下降高度, 需明确每块砖的初始重心高度

$3mgd$, 故 C 正确.

2. B 【解析】根据曲线运动的特点可知, 合外力方向指向曲线凹侧, 又因为汽车做减速运动, 所以合外力方向与运动方向夹角为钝角, 故 B 正确.

3. B 【解析】平抛运动并不是只能按水平和竖直方向进行分解, 也可以在其他方向分解, 故 A 错误; 一个水平方向的匀速直线运动与一个竖直方向的匀变速直线运动可以合成一个匀变速曲线运动, 比如平抛运动, 若一个匀速直线运动和一个匀变速直线运动共线, 可以合成一个直线运动, 故 B 正确; 匀加速直线运动的初速度为零时, 速度与时间才成正比, 故 C 错误; 匀减速直线运动是加速度与速度方向相反的运动, 加速度是否为负值取决于规定的正方向, 故 D 错误.

4. B 【解析】三个篮球击中篮筐时的速度方向均沿水平方向, 则其逆过程是平抛运动, 设任一篮球击中篮筐的速度大小为 v , 上升的高度为 h , 水平位移为 x , 则有 $x = vt$, $h = \frac{1}{2}gt^2$, 解得 $v =$

$$x\sqrt{\frac{g}{2h}}, \text{因为 } h \text{ 相同, 则 } v_1 > v_2 > v_3, \text{故 A 错误, B 正确; 根据速度的}$$

$$\text{分解有 } \tan \theta = \frac{v_y}{v} = \frac{gt}{v}, \text{因为 } t \text{ 相同, 且 } v_1 > v_2 > v_3, \text{则 } \theta_1 < \theta_2 < \theta_3,$$

故 C、D 错误.

5. A 【解析】根据运动的合成规律可知 $\tan 37^\circ = \frac{v_{\text{船}}}{v_{\text{水}}} = \frac{3}{4}$, 所以 $v_{\text{船}} < v_{\text{水}}$, 故 A 正确; 因为船速小于水速, 所以船不能垂直过河, 故 B 错误; 改变船速方向, 将会改变垂直于河岸的分速度大小, 会影响渡河时间, 故 C 错误; 过河时间只与垂直河岸的分速度有关, 而水速不影响该分速度, 所以水速不影响渡河时间, 只影响到达对岸时的位置, 故 D 错误.

6. B 【解析】以 A 为研究对象, 将 A 垂直打在斜面上的速度分解, 可得 $\tan \theta = \frac{v_1}{gt_1}$, 可知 A 的运动时间为 $t_1 = \frac{v_1}{g \tan \theta}$, 则 A 的水平位移为 $x_1 = v_1 t_1 = \frac{v_1^2}{g \tan \theta}$; 以 B 为研究对象, 将 B 的位移分解, 可得

$\tan \theta = \frac{v_2 t_2}{\frac{1}{2} g t_2^2} = \frac{2v_2}{g t_2}$, 可知 B 的运动时间为 $t_2 = \frac{2v_2}{g \tan \theta}$, 则 B 运动的

水平位移为 $x_2 = v_2 t_2 = \frac{2v_2^2}{g \tan \theta}$, 则 A, B 在斜面上的落点间的距离为

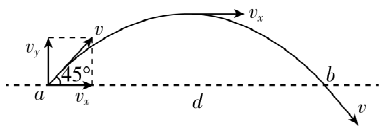
$d = \frac{x_1 - x_2}{\cos \theta} = \frac{1}{g \sin \theta} (v_1^2 - 2v_2^2)$, 故 **B 正确**.

- 7. D 【解析】**从开始到弹簧被压缩至最短的过程中摩擦力做功为 $W_f = -\mu mg(s+x)$, 物块克服摩擦力做功为 $W = -W_f = \mu mg(s+x)$, 故 **A 错误**; 由能量守恒定律可知, 从开始到弹簧被压缩至最短的过程中, 物块机械能的减少量等于弹簧弹性势能的增加量和克服摩擦力所做的功的和, 则物块机械能减少量大于 $\mu mg(s+x)$, 故 **B 错误**; 物块机械能的减少量为 $\frac{1}{2} m v_0^2$, 物块和弹簧系统机械能减少量等于物块克服摩擦力做的功 $\mu mg(s+x)$, 故 **C 错误**; 由动能定理有 $W_{\text{弹}} - \mu mg(s+x) = 0 - \frac{1}{2} m v_0^2$, 物块克服弹簧弹力所做的功为 $W' = -W_{\text{弹}} = \frac{1}{2} m v_0^2 - \mu mg(s+x)$, 故 **D 正确**.

- 8. BD 【解析】**卫星 A 加速后做离心运动, 轨道变高, 不可能追上卫星 C , 故 **A 错误**; 根据题意可知, A, B 再次相距最近时, A, B 两卫星转过的角度相差 2π , 设经过的时间为 t , 则有 $\left(\frac{2\pi}{T_2} - \frac{2\pi}{T_1}\right)t = 2\pi$, 解得 $t = \frac{T_1 T_2}{T_1 - T_2}$, 故 **B 正确**; 万有引力提供向心力, 则卫星的向心力大小为 $F = \frac{GMm}{r^2}$, 由于不知道卫星 A, B, C 的质量关系, 则无法确定三颗卫星向心力的大小关系, 故 **C 错误**; 绕地球运动的卫星与地心连线在时间 t 内扫过的面积为 $S = \frac{1}{2} v t r$, 由万有引力提供向心力有 $\frac{GMm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$, 联立可得 $S = \frac{1}{2} t \sqrt{GM r}$, 由于 A 的轨道半径大于 B 的轨道半径, 则在相同时间内, A 与地心连线扫过的面积大于 B 与地心连线扫过的面积, 故 **D 正确**.

- 9. BD 【解析】**该汽车从 A 点到 B 点的过程中重力做功为 $W_G = mg \times 2r(1 - \cos 30^\circ) \approx 6 \times 10^5 \text{ J}$, 故 **A 错误**; 在最高点, 根据牛顿第二定律有 $mg - F_A = m \frac{v^2}{r}$, 解得 $F_A = 6000 \text{ N}$, 根据牛顿第三定律可知, 该汽车通过最高点 A 时对路面的压力大小为 6000 N , 故 **B 正确**; 在最低点, 根据牛顿第二定律有 $F_B - mg = m \frac{v^2}{r}$, 解得 $F_B = 2.4 \times 10^4 \text{ N} < 3.0 \times 10^4 \text{ N}$, 该汽车不会爆胎, 故 **C 错误**; 脱离路面的最小速度满足 $mg = m \frac{v'^2}{r}$, 解得 $v' \approx 38.7 \text{ m/s}$, 该汽车若以 38 m/s 的速度匀速通过该路段时, 不会脱离路面, 故 **D 正确**.

- 10. ABC 【解析】**由题意可知, 小球在 a 点和在 b 点的速度大小相等, 与 a, b 所在直线的夹角相等, 由此特点可知, 小球的运动可看作斜向上抛运动, 如图所示,



由题意和图可知,小球所受合力方向垂直于 ab 连线,则有 $v_x = v \cos 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2}v$, 小球从 a 点运动到 b 点过程中,沿 ab 方向做匀

速直线运动,所用时间为 $t = \frac{d}{\frac{\sqrt{2}}{2}v} = \frac{\sqrt{2}d}{v}$, 故 A 正确; 小球从 a 点

到距离 ab 连线最远的点的过程中做减速运动,之后继续运动到 b 点过程中做加速运动,因此当小球运动到距离 ab 连线最远

的点时,速度最小,最小速度为 $v_x = \frac{\sqrt{2}}{2}v$, 则小球的最小动能为

$E_k = \frac{1}{2}mv_x^2 = \frac{1}{2}m\left(\frac{\sqrt{2}}{2}v\right)^2 = \frac{1}{4}mv^2$, 故 B 正确; 由题意可知,风力

大小恒定、方向水平,小球在 a 点的速度方向水平向右,在 b 点的速度方向竖直向下,由此可认为,小球在水平方向向右做匀减速直线运动,到达 b 点时水平速度减为零,竖直方向做自由落体运动,设 b 点所在的水平面为零势能面,则小球在 a 点的机械能为 $E_a = mgd \sin 45^\circ + \frac{1}{2}mv^2$, 运动到 b 点时的机械能 $E_b =$

$\frac{1}{2}mv^2$, 因为小球在竖直方向做自由落体运动,则 $2gd \sin 45^\circ =$

v^2 , 可得 $\Delta E = E_a - E_b = mgd \sin 45^\circ = \frac{1}{2}mv^2$, 因此小球从 a 点运动

到 b 点的过程中损失的机械能为 $\frac{1}{2}mv^2$, 故 C 正确; 由以上解析

可知,小球在运动中,受到的风力大小为 mg , 若风力不变,改用质量为 $2m$ 的小球,则重力变为原来的 2 倍,重力与风力合力的大小和方向都发生变化,所以质量为 $2m$ 的小球从 a 点以相同速度抛出,其不能经过 b 点,故 D 错误。

11. (1) B (2) C (3) 大于

【解析】(1) 打点计时器应连接交流电源,为了减小纸带与打点计时器间的摩擦,并且充分利用纸带,应手提着纸带上端使纸带处于竖直方向且重物靠近打点计时器,故 A、C、D 错误, B 正确。

→ 关键: 打点计时器需接交流电源, 且纸带应竖直 (减小摩擦)、重物靠近打点计时器 (充分利用纸带)

(2) 根据匀变速直线运动中间时刻的速度等于这段时间内的平均速度,结合动能与重力势能表达式,即可验证机械能守恒定律,

→ 点拨: 按“求两点速度→算动能变化, 量两点高度→算势能变化”的逻辑, 筛选选项

当已知 OA 、 AD 和 EG 的长度时,可求得 F 点与 AD 的中间时刻速度,从而确定两点间的动能变化,但无法求解对应的重力势能的变化,故 A 错误; 当已知 OC 、 BC 和 DE 的长度时,可求得 BC 的中间时刻速度和 DE 的中间时刻速度,从而确定两点间的动能变化,但无法求解对应的重力势能的变化,故 B 错误; 当已知 BD 、

CF 和 EG 的长度时,依据 BD 和 EG 的长度,可分别求得 C 点与 F 点的瞬时速度,从而求得 C 、 F 两点间动能的变化,再由 CF 的长度确定重力势能的变化,进而得以验证机械能守恒定律,故 C 正确;当已知 AC 、 BD 和 EG 的长度时,依据 AC 和 EG 的长度,可求得 B 点与 F 点的瞬时速度,从而求得 B 、 F 两点间动能的变化,而 BF 长度不知道,则无法验证机械能守恒定律,故 D 错误.

(3) 设重物受到的阻力大小为 f ,根据动能定理 $mgh - fh = \frac{1}{2}mv^2$,

整理可得 $v^2 = 2\left(g - \frac{f}{m}\right)h$,图像斜率为 $2\left(g - \frac{f}{m}\right)$,由图乙可知 P

的斜率大于 Q 的斜率,而阻力相等,所以 P 的质量大于 Q 的质量.

提醒: 斜率与质量成正相关,斜率越大,质量越大,需推导公式明确关系

12. (1) D (2) 2.40 0.412 (3) $\frac{2(m_2 - m_1)g}{m_1 + m_2}$

【解析】(1) 实验时应先启动打点计时器再释放重物,故 A 错误;要使重物能拉动纸带向上运动, m_2 应大于 m_1 ,故 B 错误;实验应测量纸带上各点到起始点间的距离,用中间时刻的瞬时速度等于这段位移的平均速度来求各点的速度,不能用公式 $v^2 = 2gh$ 计算某点的速度,故 C 错误;为了减小空气阻力带来的实验误差,该实验应选用密度大、体积小的重物,故 D 正确.

(2) 打下点 4 时重物的瞬时速度大小为 $v_4 = \frac{h_{35}}{2T} = \frac{96.10 - 48.10}{2 \times 0.1} \times$

$10^{-2} \text{ m/s} = 2.40 \text{ m/s}$;打下起始点 0 到打下点 4 的过程中系统重力势能减少量为 $\Delta E_p = (m_2 - m_1)gh_{04} = (0.1 - 0.04) \times 9.8 \times 70.05 \times 10^{-2} \text{ J} \approx 0.412 \text{ J}$.

(3) 若重物运动过程中机械能守恒,则有 $(m_2 - m_1)gh =$

$\frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$,化简得 $v^2 = \frac{2(m_2 - m_1)g}{m_1 + m_2}h$,所以 $v^2 - h$ 图像的斜率

为 $\frac{2(m_2 - m_1)g}{m_1 + m_2}$ 即可验证机械能守恒.

13. (1) $1 \times 10^4 \text{ N}$ (2) $4 \times 10^4 \text{ N}$ (3) $2.96 \times 10^7 \text{ J}$

【解析】(1) 当牵引力等于阻力时,速度达到最大值,则有 $P_m = f v_m$,

可得该车在运动过程中所受阻力大小为 $f = \frac{P_m}{v_m} = \frac{960 \times 10^3}{96} \text{ N} = 1 \times 10^4 \text{ N}$.

(2) 根据 $v - t$ 图像可知,匀加速阶段加速度大小为 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_1}{t_1}$,

根据牛顿第二定律有 $F_{\text{牵}} - f = ma$,

t_1 时刻功率达到最大功率 $P_m = F_{\text{牵}} v_1$,

则该车在匀加速运动过程中加速度大小 $a = 15 \text{ m/s}^2$,

所受牵引力的大小 $F_{\text{牵}} = 4 \times 10^4 \text{ N}$.

(3) $0 \sim 1.6 \text{ s}$ 内汽车匀加速运动的加速度大小为 $a = 15 \text{ m/s}^2$,

0~1.6 s 内汽车匀加速运动的位移为 $x_1 = \frac{1}{2}at_1^2 = 19.2 \text{ m}$,

牵引力做的功为 $W_1 = F_{\text{牵}} x_1 = 7.68 \times 10^5 \text{ J}$,

变加速过程中,即 1.6~31.6 s 内,汽车牵引力的功率恒为 960 kW,所以该过程中牵引力做的功为 $W_2 = Pt_2 = 2.88 \times 10^7 \text{ J}$,

则从静止开始到 31.6 s 末该车所受牵引力所做的功 $W = W_1 + W_2 \approx 2.96 \times 10^7 \text{ J}$.

14. (1) 大小为 28 N, 方向竖直向下 (2) 12 J (3) $0 \leq v_A \leq 2\sqrt{6} \text{ m/s}$

【解析】(1) 包裹从 A 点到 B 点过程, 根据动能定理可得 $mgR \cdot$

$(1 - \cos \theta) = \frac{1}{2}mv_B^2 - 0$, 解得 $v_B = 2 \text{ m/s}$, 在 B 点, 根据牛顿第二定

律可得 $F'_N - mg = m \frac{v_B^2}{R}$, 解得 $F'_N = 28 \text{ N}$, 根据牛顿第三定律可知,

包裹到达 B 点时对轨道的压力大小为 28 N, 方向竖直向下.

(2) 由于 $v_B = 2 \text{ m/s} < v_0 = 4 \text{ m/s}$, 可知包裹滑上传送带后做匀加

速直线运动, 加速度大小为 $a = \frac{\mu mg}{m} = 3 \text{ m/s}^2$, 包裹滑上传送带

到与传送带共速所用时间为 $t_1 = \frac{v_0 - v_B}{a} = \frac{2}{3} \text{ s}$, 包裹加速阶段通

过的位移大小为 $x_1 = \frac{v_B + v_0}{2} t_1 = 2 \text{ m} = L$, 可知包裹运动到传送带

右端时刚好与传送带共速, 则传送带对包裹所做的功为 $W =$

$\frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv_B^2 = 12 \text{ J}$.

(3) 若包裹能刚好落在 E 点, 则从 C 点到 E 点过程, 有 $h =$

$\frac{1}{2}gt^2$, $s = v_C t$, 解得包裹从 C 点抛出的速度大小为 $v_C = 4 \text{ m/s}$, 若

包裹在传送带上一直做匀减速直线运动, 即包裹在传送带上摩

擦力一直对包裹做负功, 则包裹从 A 点到 C 点过程, 根据动能

定理可得 $mgR(1 - \cos \theta) - \mu mgL = \frac{1}{2}mv_C^2 - \frac{1}{2}mv_A^2$, 解得 $v_A =$

$2\sqrt{6} \text{ m/s}$, 则为使包裹能刚好落在 E 点, v_A 的大小需满足 $0 \leq$

$v_A \leq 2\sqrt{6} \text{ m/s}$.

15. (1) 2 m/s 30 N (2) 4 J (3) $0.125 \leq \mu < 0.75$ 或 $\mu = 1$

【解析】(1) 滑块从 A 点到 B 点的过程, 由动能定理得 $mgR =$

$\frac{1}{2}mv_B^2 - 0$, 代入数据解得 $v_B = 2 \text{ m/s}$, 滑块在 B 点受到重力和支

持力, 根据牛顿第二定律有 $F_N - mg = m \frac{v_B^2}{R}$, 代入数据解得 $F_N =$

30 N, 由牛顿第三定律可知, 滑块经过圆弧 B 点时对圆弧的压

力大小为 $F'_N = F_N = 30 \text{ N}$.

(2) 从 C 点到弹簧压缩到最短的过程, 根据系统能量守恒可

知 $mgL \sin \theta + \frac{1}{2}mv_C^2 = \mu mg \cos \theta \cdot L + E_p$, 已知 $v_C = v_B = 2 \text{ m/s}$, 代入

数据得 $E_p = 4 \text{ J}$.

(3) 最终滑块停在 D 点有两种可能性: ① 滑块运动到 D 点速度

恰好为零,则由动能定理可知 $mgL\sin\theta - \mu_1 mgL\cos\theta = 0 - \frac{1}{2}mv_C^2$,

代入数据解得 $\mu_1 = 1$; ②滑块在斜面 CD 与地面间多次往复运动,最终静止于 D 点. 在斜面上时需要满足 $mg\sin\theta > \mu_2 mg\cos\theta$, 解得 $\mu_2 < 0.75$, 当滑块从 C 点出发又恰好能返回 C 点时,根据动能定理有 $-\mu_3 mg\cos\theta \cdot 2L = 0 - \frac{1}{2}mv_C^2$, 解得 $\mu_3 = 0.125$, 综上所述, μ 的取值范围为 $0.125 \leq \mu < 0.75$ 或 $\mu = 1$.