

高中必刷题 物理

代入数据得 $W=1.5 \text{ J}$.

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

对 A、B 整体受力分析,由牛顿第二定律得 $F-\mu mg=2ma$,

设 A、B 之间的弹力为 N ,

对 B,由牛顿第二定律得 $N=ma$,

联立解得 $N=0.5 \text{ N}$.

(3) 设 A、B 分开时推力为 F_1 ,此时 A 所受合外力为 0,有

$F_1-\mu mg=0$,

解得 $F_1=0.5 \text{ N}$,

由题图乙可得此时位移大小 $x_2=3 \text{ m}$,

设 A、B 分开时速度大小为 v_1 ,由动能定理得

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

$F-x$ 图线与横轴所围面积表示 F 做的功,由题图乙可得

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

解得 $v_1=\sqrt{10} \text{ m/s}$,

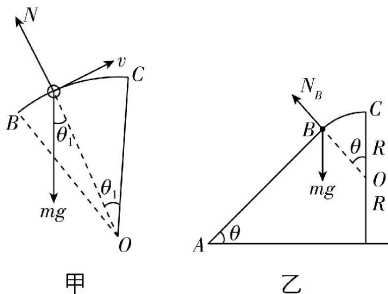
设圆弧半径为 r ,若 B 能到达 M 点,设 B 到达 M 点时速度大

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

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

联立解得 $r\leq 0.2 \text{ m}$.

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



刷原创

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

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

105 rad/s . 故选 B.

2. BD 【解析】无人机做匀速圆周运动,加

速度大小不变,方向一直在变化,**A 错误**.

对无人机受力分析,如图所示,可知 $F=$

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

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

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

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

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

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

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

【解析】(1)由几何关系可得链球做匀速圆周运动的轨迹半

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

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

联立解得 $v=\sqrt{\sqrt{3}gR}$.

(2)释放链球后,链球沿着圆周轨

迹的切线飞出,要使链球恰好能飞

出栅栏,释放点为 M、N 两点,如图

所示,由几何关系可知 OM 与 ON

的夹角为 $\beta=\frac{\pi}{3}$,

设该同学可选择的时间为 t ,结合匀速圆周运动的公式可得

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

(3)链球在竖直方向上做自由落体运动,根据运动学公式得

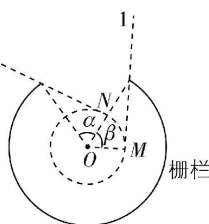
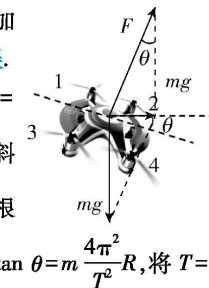
$h=\frac{1}{2}gt_0^2$,

链球在水平方向上做匀速直线运动,其位移为 $x=vt_0$,

设链球的落地点到 O 点的距离为 L ,根据几何关系可得

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

解得 $L=\sqrt{R^2+2\sqrt{3}Rh+h^2}$.



第4章 万有引力定律及航天

第1节 天地力的综合:万有引力定律

课时1 开普勒定律

刷基础

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

[174]

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

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

轴大于地球的轨道半长轴,则土星的公转周期比地球的大,**A**

错误;火星绕太阳的运行轨道为椭圆,运行过程中,速率发生

变化, **B 错误**; 由开普勒第一定律可知, 太阳处在八大行星的椭圆轨道的一个公共焦点上, **C 正确**; 由开普勒第二定律可知, 同一行星与太阳的连线在相同时间内扫过的面积相等,

→ **关键点**: 开普勒第二定律针对同一行星

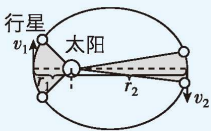
但地球和土星分别与太阳的连线在相同时间内扫过的面积不相等, **D 错误**.

关键点拨 对开普勒第二定律的理解

(1) 行星离太阳近速率大, 离太阳远速率小; 行星从近日点向远日点运动时, 速率变小, 反之, 速率变大; 行星在近日点速率最大, 在远日点速率最小.

(2) 如图所示, 设近日点到太阳中心距离为 r_1 , 速率为 v_1 , 远日点到太阳中心

距离为 r_2 , 速率为 v_2 , 则有 $\frac{v_1}{v_2} = \frac{r_2}{r_1}$.



3. C 【解析】根据对称性可知, 盖亚-4b 在 b 、 d 两点的加速度大小相等, 方向不同, 故 **A 错误**; 由于 a 点是椭圆轨道的近恒星点, c 点是椭圆轨道的远恒星点, 根据开普勒第二定律可知, 盖亚-4b 在 a 点的速率大于在 c 点的速率, 故 **B 错误**; 由

→ **关键点**: a 点为近恒星点, c 点为远恒星点, 且行星与恒星的连线在相等的时间内扫过的面积相等

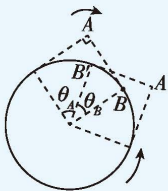
于从 a 点到 b 点再到 c 点, 盖亚-4b 的速率减小, 则盖亚-4b 从 b 经 c 到 d 的时间大于环绕周期的一半, 即大于 285 天, 故 **C 正确**; 根据开普勒第一定律可知, 恒星一定处在椭圆的焦点上, 故 **D 错误**.

4. C 【解析】依题意, 由开普勒第三定律可得 $\frac{R_{\text{地}}^3}{T_{\text{地}}^2} = \frac{R_{\text{阅}}^3}{T_{\text{阅}}^2}$, 其中 $T_{\text{阅}} = nT_{\text{地}}$, $R_{\text{地}} = R$, 解得阅神星绕太阳运行的轨道半径为 $R_{\text{阅}} = \sqrt[n^2]{n^3} R$, 故选 **C**.

关键点拨 应用开普勒第三定律分析问题时, 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. B

思路导引 该接收中心能够连续接收到卫星 A 信号的最长时, 示意图如图所示.



【解析】设地球半径为 R , 由几何关系可知卫星 A 的轨迹半径为 $r = \frac{R}{\sin 45^\circ} = \sqrt{2}R$, 设卫星 A 的周期为 T_A , 根据开普勒第三定律可得 $\frac{r^3}{R^3} = \frac{T_A^2}{T_{\text{地}}^2}$, 解得 $T_A = 2.38 \text{ h}$, 设接收中心能连续接收到卫星 A 信号的最长时间为 t , 由几何关系可得 $\left(\frac{2\pi}{T_A} + \frac{2\pi}{T_{\text{地}}}\right)t = \frac{\pi}{2}$, 其中 $T_{\text{地}} = 24 \text{ h}$, 解得 $t \approx 0.54 \text{ h}$, 该接收中心能够连续接收到卫星 A 信号的最长时间接近 0.55 h , 故选 **B**.

课时 2 万有引力定律

刷基础

1. AD 【解析】“月一地”检测的目的是验证地球对月球的引

力与地球对地面物体的引力是否为同一种性质的力, 并验证这种力是否遵循万有引力定律, 故 **A 正确**, **B 错误**; 对月球有

$G \frac{Mm_{\text{月}}}{r^2} = m_{\text{月}} \frac{4\pi^2 r}{T^2}$, 对地面上的物体有 $G \frac{Mm}{R^2} = mg$, 若计算得到

$\frac{R^2}{r^2} = \frac{T^2}{g}$ 就可以完成“月一地”检测, 因此需要用到的物理量是 r 、 R 、 T 和 g , 故 **C 错误**, **D 正确**.

2. A 【解析】牛顿发现了万有引力定律, 卡文迪许通过扭秤实验测定了引力常量, 故 **A 正确**; 万有引力是两物体间的相互作用力, 大小相等、方向相反, 作用在不同物体上, 属于作用力与反作用力, 故 **B 错误**; 万有引力公式 $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ 仅适用于

→ **关键点**: 清楚平衡力和作用力与反作用力的不同点是解题的关键

质点或均匀球体间的计算, 当 r 趋近于零时, 物体无法视为质点, 此公式不适用, 故 **C 错误**; 引力常量 G 是普适常数, 与 F 、 r 、 m_1 、 m_2 无关, $G = \frac{Fr^2}{m_1 m_2}$ 仅用于计算 G 的数值, 故 **D 错误**.

3. AC 【解析】根据 $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ 可知, 使两质点的质量各减小一半, 距离变为原来的 2 倍, 则两质点间的万有引力减小到原来的 $\frac{1}{16}$, 故 **A 正确**; 使两质点的质量和两质点间的距离都减小到原来的 $\frac{1}{2}$, 则两质点间的万有引力不变, 故 **B 错误**; 使其其中一个质点的质量减小到原来的 $\frac{1}{4}$, 距离变为原来的 2 倍, 则两质点间的万有引力减小到原来的 $\frac{1}{16}$, 故 **C 正确**; 使两质点间的距离增大到原来的 4 倍, 质量均变为原来的 2 倍, 则两质点间的万有引力减小到原来的 $\frac{1}{4}$, 故 **D 错误**.

教材变式 本题目由教材 P111 第 1 题演变而来, 教材中的题目考查了使两物体间万有引力减小到原来的 $\frac{1}{8}$ 可采取的方法, 本题则考查了要使两质点间的万有引力减小到原来的 $\frac{1}{16}$ 可采取的方法.

关键点拨 牢记公式 $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$, 明确各个物理量的变化, 代入公式求解.

4. B 【解析】设物体的质量为 m , 则物体在地球表面受到的引力为 $F = G \frac{Mm}{r^2}$, 同理在火星表面, 物体受到的引力为 $F' = G \frac{M'm}{r'^2}$, 又因为火星质量为地球质量的 k 倍, 其半径为地球半径的 p 倍, 联立得同一物体在火星表面与在地球表面受到的引力的比值为 $\frac{F'}{F} = \frac{k}{p^2}$, **B 正确**.

5. B 【解析】物体 N 受到的大球剩余部分的引力为完整大球对物体 N 的引力减去小球对物体 N 的引力, 未挖去小球前, 大球对物体 N 的引力为零, 所以大球剩余部分对物体 N 的引力大小等于小球对物体 N 的引力大小, 根据万有引力定律可

高中必刷题 物理

$$\text{得 } F = G \frac{m'm}{\left(\frac{R}{2}\right)^2}, m' = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi \left(\frac{R}{2}\right)^3, \text{联立可得 } F = \frac{2}{3}\pi \rho G m R,$$

故 B 正确.

方法总结 割补法求解万有引力

该方法适用于质量分布均匀的不完整球形物体. 通过“填补”非对称物体的缺失部分, 使其成为对称的完整球体, 然后利用万有引力公式计算填补后的完整球体对物体的万有引力, 最后通过减去填补部分对物体的万有引力, 得到不完整球形物体对物体的万有引力.

刷易错

★易错点 不理解万有引力定律中 r 的含义而出错

6. D 【解析】设月球密度为 ρ , 则月球质量 $M = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi R^3$, 半径为 $R-h$ 的球体质量为 $M' = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi (R-h)^3$, 已知质量分布均匀的球壳对壳内物体的万有引力为零, 则质量为 m 的钻尖进入月球表面以下 h 深处受到的万有引力大小 $F = \frac{GM'm}{(R-h)^2} = G \frac{(R-h)Mm}{R^3}$, 故 D 正确.

易错分析 本题是信息题, 易在模型的建立上出错. 应先从题中提炼出质量分布均匀的球壳对壳内物体的万有引力为零的信息, 而钻尖所在位置, 钻尖所受的万有引力等于一个半径为 $R-h$ 的球体和钻尖之间产生的引力. 注意万有引力公式中的 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球心的距离, 或质量分布均匀的两球体球心之间的距离.

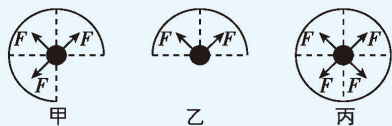
刷提升

1. B 【解析】根据万有引力定律 $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$, 可得 $G = \frac{F r^2}{m_1 m_2}$, 所以 G 的单位为 $\frac{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} = \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$, 故 B 正确.

关键点: 国际单位制中的力学基本单位只有 kg 、 m 、 s 三个

2. B

思路导引 把 $\frac{3}{4}$ 圆环、半圆环和完整圆环分解成 $\frac{1}{4}$ 圆环, 如图所示. $\frac{1}{4}$ 圆环对球的引力大小为 F .



【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 $\frac{1}{4}$ 圆环对球的引力大小均为 F , 则题图乙中半圆环对球的引力大小为 $F_Z = \sqrt{F^2 + F^2} = \sqrt{2}F$, 题图丙中由对称性可知, 整个圆环对球的引力为零, B 正确.

3. C 【解析】A、B 同时位于各自椭圆轨道的近地点时, A、B 所

受到地球的万有引力大小相等, 设 B 的近地点距离地心的距

离为 x , 则有 $G \frac{Mm}{r^2} = G \frac{M \cdot 4m}{x^2}$, 又知 A 第四次经过其轨道的

近地点时, B 恰好第一次经过其轨道的远地点, 则 $4T_A = \frac{1}{2}T_B$, 设 B 的远地点距离地心的距离为 y , 由开普勒第三定

律得 $\frac{T_A^2}{T_B^2} = \left(\frac{\frac{r+3r}{2}}{\frac{x+y}{2}}\right)^3$, 联立解得 $x = 2r, y = 14r$, C 正确.

4. B 【解析】设地球的密度为 ρ , 当物块距地心的距离为 x 时, 受到的万有引力为 $F = G \frac{Mm}{x^2}$, 其中 $M = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi x^3$, 解得 $F = \frac{4\pi\rho G x m}{3}$. 根据牛顿第二定律, 可得加速度为 $a = \frac{F}{m} = \frac{4\pi\rho G}{3}x$, 因为 x 越来越小, 所以加速度 a 越来越小. $a-t$ 图像的切线斜率 $\frac{\Delta a}{\Delta t} = \frac{4\pi\rho G}{3} \cdot \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{4\pi\rho G}{3}v$, 因为物块向地心下落, 速率越来越大, 故 $a-t$ 图像切线的斜率的绝对值越来越大, 故 A 错误, B 正确; 速度—时间图像的斜率表示加速度, 由以上分析可知, 加速度越来越小, 故 C、D 错误.

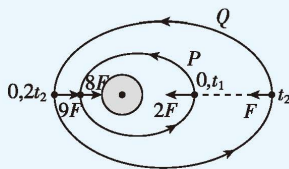
关键点拨 星体内部万有引力的两个推论

- (1) 在匀质球壳的空腔内任意位置处, 质点受到球壳的各部分万有引力的合力为零;
- (2) 在匀质球体内部距离球心 r 处的质点 (m) 受到的万有引力等于球体内半径为 r 的同心球体 (M') 对它的万有引力, 即 $F = G \frac{M'm}{r^2}$.

刷素养

5. AC

思路导引 首先应明确卫星离行星最近时引力达到最大, 结合图像可知两卫星的周期关系. 两卫星的运动过程示意图如图所示.



【解析】由题图可知 $T_1 : T_2 = t_1 : 2t_2 = 1 : 2\sqrt{2}$, 故 A 正确; 当 P 离行星最近时有 $8F = G \frac{Mm_1}{d_1^2}$, 当 P 离行星最远时有 $2F = G \frac{Mm_1}{d_2^2}$; 当 Q 离行星最近时有 $9F = G \frac{Mm_2}{l_1^2}$, 当 Q 离行星最远

时有 $F = G \frac{Mm_2}{l_2^2}$, 由开普勒第三定律可知 $\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{\frac{d_1+d_2}{2}}{\frac{l_1+l_2}{2}}\right)^3$,

联立解得 $d_1 : l_1 = 2 : 3$, 故 B 错误; 由前面分析可知 $\frac{8F}{9F} =$

$G \frac{Mm_1}{d_1^2} / G \frac{Mm_2}{l_1^2}$, 解得 $m_1 : m_2 = 32 : 81$, 故 C 正确, D 错误.

课时3 万有引力和重力的关系

刷基础

1. A 【解析】“嫦娥五号”在月球表面,由万有引力等于重力可得 $G \frac{M_{\text{月}} m}{R_{\text{月}}^2} = mg_{\text{月}}$,“嫦娥五号”在地球表面,有 $G \frac{M_{\text{地}} m}{R_{\text{地}}^2} = mg_{\text{地}}$,联立得月球表面和地球表面的重力加速度之比为 $\frac{g_{\text{月}}}{g_{\text{地}}} =$

$$\frac{M_{\text{月}}}{M_{\text{地}}} \cdot \frac{R_{\text{地}}^2}{R_{\text{月}}^2} = \frac{k}{q^2}, \text{A 正确.}$$

2. C 【解析】设地球的密度为 ρ ,忽略地球自转,由于质量分布均匀的球壳对壳内物体的万有引力为零,故在深度为 d 的地球内部,物体受到地球的万有引力即为半径等于 $R-d$ 的球体

$$\text{对其表面物体的万有引力,即 } G \frac{\rho \cdot \frac{4}{3} \pi (R-d)^3 m}{(R-d)^2} = mg', \text{故}$$

“蛟龙号”所在处的重力加速度 $g' = \frac{4}{3} \pi G \rho (R-d)$,对于“天

$$\text{宫一号”,根据万有引力提供向心力有 } G \frac{\rho \cdot \frac{4}{3} \pi R^3 m'}{(R+h)^2} = m'a,$$

可得“天宫一号”所在处的重力加速度为 $a = \frac{4\pi G \rho R^3}{3(R+h)^2}$,所以

$$\frac{g'}{a} = \frac{(R-d)(R+h)^2}{R^3}, \text{C 正确.}$$

3. C 【解析】以测试仪器为研究对象,在地面上,由牛顿第二定律有 $F_N - mg_0 = m \frac{g_0}{2}$,距离地面高度 h 时,由牛顿第二定律

$$\text{有 } \frac{17}{27} F_N - mg = m \frac{g_0}{2}, \text{联立解得 } g = \frac{4}{9} g_0, \text{故 A、B 错误;距离地}$$

$$\text{面高度 } h \text{ 时,有 } mg = \frac{GMm}{(R_0+h)^2}, \text{在地面时,有 } mg_0 = \frac{GMm}{R_0^2}, \text{联立}$$

$$\text{解得 } h = \frac{R_0}{2}, \text{故 C 正确,D 错误.}$$

关键点拨 在地面上和在距离地面高度 h 的地方重力加速度不同,由 $mg = \frac{GMm}{(R_0+h)^2}$ 可知, h 越大, g 值越小.

4. D 【解析】夸父所受的重力竖直向下,不一定垂直地面向下,A 错误.夸父所受地球的万有引力,按其作用效果分解为

易错点:重力的方向为竖直向下

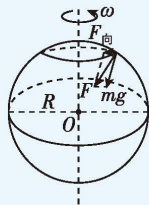
重力和向心力,向心力使夸父随地球一起绕地轴自转,重力

易错点:绕地轴转动,而非地心

是地球对夸父万有引力的一个分力;当夸父在赤道时,转动半径最大,随地球转动所需的向心力最大,所受的重力最小;当夸父在两极时,转动半径最小,随地球转动所需的向心力最小,所受的重力最大,B、C 错误,D 正确.

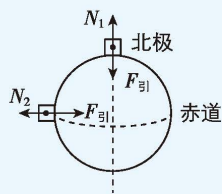
关键点拨 万有引力与重力的关系(考虑自转)

地球对物体的万有引力 F 表现为两个效果:一是重力 mg ,二是提供物体随地球自转的向心力 $F_{\text{向}}$,如图所示.



5. B

思路导引 棕熊乔伊在北极和北极馆的受力情况如图所示.



【解析】乔伊在北极时有 $G \frac{Mm}{R^2} = N_1 = mg_0$,乔伊在北极馆时有

$$G \frac{Mm}{R^2} = N_2 + m\omega^2 R = mg_1 + m\omega^2 R, \text{又 } \Delta N = mg_0 - mg_1, \text{地球同步卫}$$

星运动的角速度 $\omega_{\text{同}} = \omega$,解得 $\omega_{\text{同}} = \sqrt{\frac{\Delta N}{mR}}$,故 B 正确.

关键点拨 不同位置万有引力与重力的关系

$$(1) \text{在赤道上: } G \frac{Mm}{R^2} = mg_1 + m\omega^2 R;$$

$$(2) \text{在两极: } G \frac{Mm}{R^2} = mg_0;$$

(3) 在其他位置:万有引力 $G \frac{Mm}{R^2}$ 等于重力 mg 与向心力 $F_{\text{向}}$ 的矢量和;

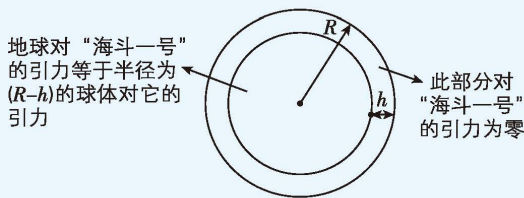
纬度越高,所需向心力越小, g 值越大;由于物体随地球自转所需的向心力远小于重力,常认为万有引力近似等于重力,即 $G \frac{Mm}{R^2} = mg$.

刷易错

★易错点 混淆星体深处的重力加速度和星体外部的重力加速度

6. D

模型构建



【解析】设地球的质量为 M ,地球的半径为 R ,”海斗一号”下潜 h 深度后,以地心为球心、以 $R-h$ 为半径的地球的质量为

$$M', \text{则根据密度相等有 } \frac{M}{\frac{4}{3} \pi R^3} = \frac{M'}{\frac{4}{3} \pi (R-h)^3}, \text{由于球壳对}$$

球壳内任一质点的万有引力为零,则有 $\frac{GM'm}{(R-h)^2} = mg$,联立可

$$\text{得 } g = \frac{GM}{R^3} (R-h), \text{D 正确.}$$

易错分析 本题容易混淆星体内部和外部的重力加速度,误认为星体内部的重力加速度与外部的重力加速度一样,都与到星体中心距离的平方成反比,导致错解.

刷基础

1. B 【解析】设木卫四的质量为 m , 木星的质量为 M , 根据万有引力提供向心力, 有 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$, 代入数据解得 $M \approx 2 \times 10^{27} \text{ kg}$, 故 B 正确.

2. C 【解析】设中心天体质量为 M , 半径为 R , 环绕天体质量为 m , 环绕周期为 T , 对环绕天体有 $\frac{GMm}{R^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} R$, 中心天体密度 $\rho = \frac{M}{V} = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$, 联立解得 $\rho = \frac{3\pi}{GT^2}$, 可知密度与周期平方成

反比, 故月球与地球的密度之比 $\frac{\rho_{\text{月}}}{\rho_{\text{地}}} = \frac{T_2^2}{T_1^2}$, 故 C 正确.

方法总结 求解天体质量和密度的思路

(1) 利用万有引力等于重力 (已知天体表面的重力加速度 g 和天体半径 R)

由 $G \frac{Mm}{R^2} = mg$, 得天体质量 $M = \frac{gR^2}{G}$; 天体密度 $\rho = \frac{M}{V} = \frac{\frac{gR^2}{G}}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3g}{4\pi GR}$

(2) 利用万有引力提供向心力 (已知卫星绕中心天体做匀速圆周运动的半径 r 和周期 T)

由 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$, 得 $M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$; 若已知天体的半径 R , 则天

体的密度 $\rho = \frac{M}{V} = \frac{\frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3\pi r^3}{GT^2 R^3}$; 若卫星绕天体表面运行, 可认为轨道半径 r 等于天体半径 R , 则天体密度 $\rho = \frac{3\pi}{GT^2}$.

3. BD 【解析】航天器在星球表面附近做匀速圆周运动时, 万有引力提供向心力, 根据牛顿第二定律有 $G \frac{Mm}{R^2} = ma$, 解得航天器在星球表面附近运动的向心加速度大小为 $a = \frac{GM}{R^2}$, 着陆后万有引力等于重力, 有 $G \frac{Mm}{R^2} = mg$, 又 $g = \frac{F}{m}$, 联立解得 $a = g =$

关键点: 注意区分万有引力提供的是重力还是向心力

$\frac{F}{m}$, A 错误, B 正确; 航天器在星球表面附近做匀速圆周运动

时, 有 $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} R$, 则该星球的密度 $\rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3\pi}{GT^2}$, C

错误; 根据 $G \frac{Mm}{R^2} = mg = m \frac{4\pi^2}{T^2} R$, $g = \frac{F}{m}$, 可得该星球的半径

$R = \frac{FT^2}{4\pi^2 m}$, D 正确.

4. B 【解析】根据万有引力提供向心力有 $G \frac{Mm}{r^2} = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r$, 可

得 $r^3 = \frac{GM}{4\pi^2} T^2$, 可知中心天体质量越大, $r^3 - T^2$ 的图像斜率越大, 因木星质量大于地球质量, 所以图线①是木星的卫星运动的规律, 图线②是地球卫星运动的规律, 故 $\frac{a}{b} = \frac{GM_{\text{地}}}{4\pi^2}$, 解得

$M_{\text{地}} = \frac{4\pi^2 a}{Gb}$, 故 A 错误, B 正确; 由图线①上的点可得木星的

质量 $M_{\text{木}} = \frac{4\pi^2 d}{Gc}$, 由题图知, 木星的半径的三次方 $R_{\text{木}}^3 = d$, 根

据木星的平均密度 $\rho_{\text{木}} = \frac{M_{\text{木}}}{\frac{4}{3}\pi R_{\text{木}}^3}$, 解得 $\rho_{\text{木}} = \frac{3\pi}{Gc}$, 同理可得

$\rho_{\text{地}} = \frac{3\pi}{Gb}$, 故 $\frac{\rho_{\text{木}}}{\rho_{\text{地}}} = \frac{b}{c}$, 故 C、D 错误.

5. AB 【解析】根据万有引力提供向心力得 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$, 解得

$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, 在地球表面的物体受到的重力等于万有引力, 有

$mg = G \frac{Mm}{R^2}$, 解得 $GM = gR^2$, 所以 $v = \sqrt{\frac{R^2 g}{r}}$, 轨道半径 r 越小,

则 v 越大, 当 r 等于地球半径 R 时, 速度 v 最大, 为 \sqrt{gR} , A 正

确; 根据万有引力提供向心力得 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$, 解得 $T =$

$2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}} = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{R^2 g}}$, r 越小, 则周期越小, 当 r 等于地球半径

R 时, 周期最小, 为 $2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$, B 正确; 在距地面高为 R 处的卫

星, 根据万有引力提供向心力得 $G \frac{Mm}{(2R)^2} = m \frac{v_1^2}{2R}$, 解得 $v_1 =$

$\sqrt{\frac{GM}{2R}} = \sqrt{\frac{R^2 g}{2R}} = \sqrt{\frac{gR}{2}}$, C 错误; 在距地面高为 R 处的卫星,

根据万有引力提供向心力得 $G \frac{Mm}{(2R)^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot 2R$, 解得

$T = 2\pi \sqrt{\frac{8R^3}{R^2 g}} = 4\pi \sqrt{\frac{2R}{g}}$, D 错误.

6. A 【解析】在某段时间内“嫦娥六号”绕月球做匀速圆周运动的角速度大小为 $\omega = \frac{\theta}{t}$, 由 $v = \omega r$, 可得“嫦娥六号”绕月球

做匀速圆周运动的半径为 $r = \frac{vt}{\theta}$, “嫦娥六号”绕月球做匀速

圆周运动的向心力由万有引力提供, 则 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$, 解得月

球的质量 $M = \frac{v^2 r}{G} = \frac{v^3 t}{G\theta}$, 故 A 正确.

刷提升

1. D 【解析】物体在两极受到的万有引力大小为 $F = mg_1$, 将地

关键点: 两极不受自转影响, 故万有引力等于重力

球看成质量均匀分布的球体, 则物体在赤道受到的万有引力大小等于物体在两极受到的万有引力大小, 所以物体在赤道受到的万有引力大小等于 mg_1 , 在赤道地面上, 有 $F = F_n + mg_2$,

关键点: 万有引力有两个作用效果, 一部分充当重力, 另一部分充当向心力

联立可得 $F_n = mg_1 - mg_2$, 所以物体受到的合力大小 $F_{\text{合}} = F_n =$

$mg_1 - mg_2$, 故 **A、C 错误, D 正确**; 物体对地面的压力大小 $F_N = mg_2$, 故 **B 错误**.

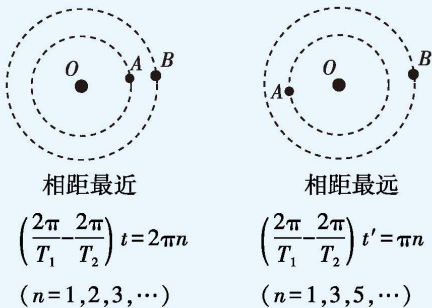
2. AC 【解析】已知地球绕太阳公转的周期为 $T_{\text{地}} = 1$ 年, 万有引力提供向心力, 则有 $G \frac{M_{\text{太}} M_{\text{地}}}{r_1^2} = M_{\text{地}} \frac{4\pi^2}{T_{\text{地}}^2} r_1$, 解得 $T_{\text{地}} = 2\pi \sqrt{\frac{r_1^3}{GM_{\text{太}}}}$, 同理得行星围绕太阳运行的周期 $T_{\text{行}} = 2\pi \sqrt{\frac{r_2^3}{GM_{\text{太}}}}$, 联立得 $T_{\text{行}} = 8T_{\text{地}} = 8$ 年, **A 正确**; 由 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ 得 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, 则地球和行星的线速度大小之比为 $2:1$, **B 错误**; 设至少再经 t 年, 地球位于太阳和行星连线之间, 则地球比行星多转一圈, 有 $\omega_{\text{地}} \cdot t - \omega_{\text{行}} \cdot t = 2\pi$, 即 $\frac{1}{T_{\text{地}}} - \frac{1}{T_{\text{行}}} = \frac{1}{t}$, 解得 $t = \frac{8}{7}$ 年, **C 正确**; 地球和行星不在同一轨道上, 两星球做圆周运动的半径不同, 由开普勒第二定律可得, 它们分别与太阳的连线在相同时间内扫过的面积不相等, **D 错误**.

3. A 【解析】当卫星绕行星 K2-155d 运动时万有引力提供向心力, 有 $\frac{GM_{\text{行}} m_{\text{卫}}}{r_{\text{卫}}^2} = m_{\text{卫}} r_{\text{卫}} \frac{4\pi^2}{T_{\text{卫}}^2}$, 得行星的质量为 $M_{\text{行}} = \frac{4\pi^2 r_{\text{卫}}^3}{GT_{\text{卫}}^2}$, 又 $r_{\text{卫}} = qr_{\text{月}}, T_{\text{卫}} = pT_{\text{月}}$, 代入可得 $M_{\text{行}} = \frac{4\pi^2 q^3 r_{\text{月}}^3}{Gp^2 T_{\text{月}}^2}$, 当月球绕地球运动时, 由万有引力提供向心力, 有 $\frac{GM_{\text{地}} m_{\text{月}}}{r_{\text{月}}^2} = m_{\text{月}} r_{\text{月}} \frac{4\pi^2}{T_{\text{月}}^2}$, 得 $M_{\text{地}} = \frac{4\pi^2 r_{\text{月}}^3}{GT_{\text{月}}^2}$, 则 $M_{\text{行}} = \frac{q^3}{p^2} M_{\text{地}}$, 质量为 m 的小球在地球表面时有 $mg = \frac{GM_{\text{地}} m}{R_{\text{地}}^2}$, 得地球的质量为 $M_{\text{地}} = \frac{gR_{\text{地}}^2}{G}$, 又 $R_{\text{行}} = nR_{\text{地}}$, 则 $M_{\text{行}} = \frac{q^3 g R_{\text{地}}^2}{Gn^2 p^2}$, 质量为 m 的小球在行星 K2-155d 表面时万有引力等于重力, 有 $G_{\text{行}} = G \frac{M_{\text{行}} m}{R_{\text{行}}^2}$, 得 $G_{\text{行}} = \frac{q^3}{p^2 n^2} mg$, **A 正确**.

方法总结 对于绕行星做圆周运动的卫星, 万有引力提供向心力; 在行星表面静止的物体, 忽略行星自转时万有引力等于重力.

4. AC

题图剖析



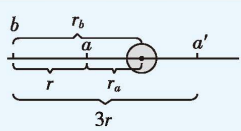
【解析】当 A、B 再次相距最近时, A 比 B 多运动一圈, 设经过时间 t 二者再次相距最近, 有 $\frac{t}{T_1} - \frac{t}{T_2} = 1$, 解得 $t = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1}$, **A 正确, B 错误**; 当 A、B 相距最远时, A 比 B 多运动 $\frac{n}{2}$ ($n=1, 3, 5, \dots$) 圈, 有 $\frac{t'}{T_1} - \frac{t'}{T_2} = \frac{n}{2}$ ($n=1, 3, 5, \dots$), 解得 $t' = \frac{nT_1 T_2}{2(T_2 - T_1)}$ ($n=$

$1, 3, 5, \dots$), **C 正确, D 错误**.

5. C

思路导引

两卫星相距最近时轨道半径之差为 r , 相距最远时轨道半径之和为 $3r$. 二者从相距最近到第一次相距最远的时间间隔 $\Delta t = \frac{1}{2}T$. 两卫星的位置关系如图所示.



【解析】设卫星 a 的轨道半径为 r_a , 周期为 T_a , 卫星 b 的轨道半径为 r_b , 周期为 T_b , 由题图可知 $r_b - r_a = r, r_b + r_a = 3r$, 联立解得 $r_a = r, r_b = 2r$, 根据开普勒第三定律可知 $\frac{r_a^3}{T_a^2} = \frac{r_b^3}{T_b^2}$, 解得 $T_b = 2\sqrt{2}T_a$, 由于二者从相距最近到第一次相距最远的时间间隔 $\Delta t = \frac{1}{2}T$, 有 $\left(\frac{2\pi}{T_a} - \frac{2\pi}{T_b}\right)\Delta t = \pi$, 联立解得 $T_a = \left(1 - \frac{1}{2\sqrt{2}}\right)T$, 根据万有引力提供向心力可得 $\frac{GMm}{r_a^2} = m\left(\frac{2\pi}{T_a}\right)^2 r_a$, 代入解得地球质量 $M = \frac{32\pi^2 r^3}{(9-4\sqrt{2})GT^2}$, 故 **C 正确**.

6. AC

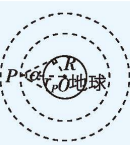
【解析】由题意可知, 因为受到月球潮汐的影响, 地球自转在持续变慢, 则地球自转的角速度变小, **A 正确**; 地球赤道上的物体, 万有引力提供重力和向心力, 有 $G \frac{Mm}{R^2} - mg = m\omega^2 R$, 得 $g = \frac{GM}{R^2} - \omega^2 R$, 故若地球自转变慢, 地球赤道处的重力加速度会变大, **B 错误**; 地球上的所有物质满足 $m_1 \omega r_1^2 + m_2 \omega r_2^2 + \dots + m_i \omega r_i^2 = \text{常量}$, 若仅考虑 A 处的冰川融化, 质心下降, 则转动半径 r 减小, 角速度 ω 变大, 则地球自转周期变小, **C 正确**; 根据 $m_1 \omega r_1^2 + m_2 \omega r_2^2 + \dots + m_i \omega r_i^2 = \text{常量}$ 可知, 若仅考虑 B 处板块向赤道漂移, 则板块的转动半径变大, 角速度 ω 减小, 则地球自转周期变大, **D 错误**.

$$7. (1) \sqrt{gR \sin \frac{\alpha}{2}} \quad (2) \frac{2\pi\sqrt{R}}{\sqrt{g} \left(\sqrt{\sin^3 \frac{\alpha}{2}} - \sqrt{\sin^3 \frac{\theta}{2}} \right)}$$

思路导引

(1) 求卫星 P 的线速度大小时, 半径的几何关系如图所示.

(2) 两颗卫星相邻两次相距最近时转过的角度的关系为 $\theta_P - \theta_Q = 2\pi$.



【解析】(1) 在地球表面有 $G \frac{Mm_0}{R^2} = m_0 g$,

根据几何关系可知, P 的轨道半径为 $r_P = \frac{R}{\sin \frac{\alpha}{2}}$,

卫星做匀速圆周运动, 由万有引力提供向心力, 有 $G \frac{Mm}{r_P^2} = m \frac{v^2}{r_P}$,

解得 $v = \sqrt{gR \sin \frac{\alpha}{2}}$.

(2) 由几何关系可知, Q 的轨道半径为 $r_Q = \frac{R}{\sin \frac{\theta}{2}}$,

卫星做匀速圆周运动, 由万有引力提供向心力, 则有

$$G \frac{Mm'}{r_Q^2} = m' \frac{4\pi^2 r_Q}{T_Q^2}, G \frac{Mm}{r_P^2} = m \frac{4\pi^2 r_P}{T_P^2},$$

$$\text{解得 } T_Q = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g \sin^3 \frac{\theta}{2}}}, T_P = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g \sin^3 \frac{\alpha}{2}}},$$

设两卫星相邻两次相距最近的时间间隔为 t , 则有

→ **关键点:** 相邻两次相距最近, 即为快的比慢的多转了一圈 (2π)

$$\frac{2\pi}{T_P}t - \frac{2\pi}{T_Q}t = 2\pi,$$

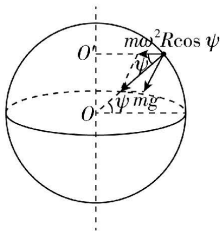
$$\text{解得 } t = \frac{2\pi\sqrt{R}}{\sqrt{g}\left(\sqrt{\sin^3 \frac{\alpha}{2}} - \sqrt{\sin^3 \frac{\theta}{2}}\right)}.$$

素养

8. B 【解析】不考虑地球自转, 其表面

的重力加速度为 g_0 , 则有 $G \frac{Mm}{R^2} = mg_0$.

若考虑地球自转, 则其表面纬度为 ψ 处物体的万有引力垂直于地轴的分力提供自转所需的向心力, 另一个分力即为重



力, 如图所示, 根据余弦定理有 $(mg)^2 = (m\omega^2 R \cos \psi)^2 + \left(G \frac{Mm}{R^2}\right)^2$

$-2m\omega^2 R \cos \psi \cdot G \frac{Mm}{R^2} \cos \psi$, 联立解得 $g \approx g_0 \left(1 - \frac{\omega^2 R}{g_0} \cos^2 \psi\right)$, 故

选 B.

9. (1) 7.5×10^{22} kg (2) 1.7 m/s^2 (3) 3.8 m/s 2.0

【解析】(1) 探测器围绕月球做匀速圆周运动时有

$$G \frac{Mm}{r^2} = m\omega^2 r,$$

$$\text{解得月球的质量 } M = \frac{\omega^2 r^3}{G},$$

把题图中的数据代入解得 $M \approx 7.5 \times 10^{22} \text{ kg}$.

(2) 探测器在月球表面所受万有引力等于重力, 即

$$G \frac{Mm}{R^2} = mg_0,$$

$$\text{解得月球表面的重力加速度大小 } g_0 = \frac{GM}{R^2},$$

代入数据解得 $g_0 \approx 1.7 \text{ m/s}^2$.

(3) 探测器从断崖飞出后做平抛运动, 设落到月面的竖直方向的速度大小为 v_y , 则 $v_y^2 = 2g_0 h$,

$$\text{解得 } v_y = 3.4 \text{ m/s},$$

探测器刚落到断崖下方的月面上时的速度大小为

→ **关键点:** 探测器做平抛运动, 落到月面的速度为合速度

$$v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} \approx 3.8 \text{ m/s},$$

探测器刚落到断崖下方的月面上时的速度方向与水平方向

$$\text{的夹角 } \theta \text{ 的正切值 } \tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = 2.0.$$

课时 2 宇宙速度与航天

基础

1. B 【解析】第一宇宙速度是人造地球卫星的最小发射速度, 为 7.9 km/s , 也是人造地球卫星绕地球做匀速圆周运动的最大运行速度, 故 **A 错误**; 第二宇宙速度是在地面附近使物体挣脱地球引力束缚, 成为绕太阳运行或飞向其他行星的人造卫星的最小发射速度, 为 11.2 km/s , 故 **B 正确**; 人造地球卫

星绕地球在圆轨道上运行时的速度不大于第一宇宙速度, 故 **C 错误**; 我国发射的火星探测器, 其发射速度应大于第二宇宙速度, 小于第三宇宙速度, 故 **D 错误**.

注意说明 理解三个宇宙速度, 特别注意第一宇宙速度有三种说法: ①是人造地球卫星在地球近地圆轨道上的运行速度; ②是人造地球卫星在地球圆轨道上运行的最大速度; ③是人造地球卫星的最小发射速度.

关键点拨 “最小发射速度”与“最大环绕速度”

(1) “最小发射速度”: 向高轨道发射卫星比向低轨道发射卫星困难, 因为发射卫星要克服地球对它的引力做功. 近地轨道是人造卫星的最低运行轨道, 而卫星向近地轨道的发射速度就是第一宇宙速度, 所以第一宇宙速度是人造卫星的最小发射速度.

(2) “最大环绕速度”: 由 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ 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. C 【解析】在月球表面有 $G \frac{M_{\text{月}} m}{r_{\text{月}}^2} = mg_{\text{月}}$, 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 **B 错误**; 在月球

表面, 有 $mg_{\text{月}} = m \frac{v_{\text{月}}^2}{r_{\text{月}}}$, 解得月球的第一宇宙速度为 $v_{\text{月}} =$

$\sqrt{g_{\text{月}} r_{\text{月}}}$, 同理可得火星的第一宇宙速度为 $v_{\text{火}} = \sqrt{g_{\text{火}} r_{\text{火}}}$, 所

以 $\frac{v_{\text{月}}}{v_{\text{火}}} = \sqrt{\frac{g_{\text{月}} r_{\text{月}}}{g_{\text{火}} r_{\text{火}}}} = \sqrt{\frac{4}{9} \times \frac{1}{2}} = \frac{\sqrt{2}}{3}$, 故 **C 正确**; 根据周期公式

有 $T = \frac{2\pi r}{v}$, 可知嫦娥五号绕月球转动的周期与天问一号绕火

星转动的周期之比为 $\frac{T_{\text{月}}}{T_{\text{火}}} = \frac{2\pi r_{\text{月}}}{v_{\text{月}}} \times \frac{v_{\text{火}}}{2\pi r_{\text{火}}} = \frac{3}{\sqrt{2}} \times \frac{1}{2} = \frac{3\sqrt{2}}{4}$, 故 **A**

错误; 开普勒第三定律是对于同一中心天体而言, 嫦娥五号

→ **关键点:** 牢记开普勒第三定律适用的条件

与天问一号做圆周运动的中心天体不同, 所以嫦娥五号绕月球转动轨道半径的三次方与周期的平方的比值与天问一号绕火星转动轨道半径的三次方与周期的平方的比值不相等, 故 **D 错误**.

3. BC 【解析】卫星绕地球做匀速圆周运动, 由万有引力提供

向心力可得 $\frac{GMm}{r^2} = m \frac{v^2}{r} = ma$, 可得 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, $a = \frac{GM}{r^2}$, 则有

$$\frac{v_2}{v_3} = \left(\frac{r}{R}\right)^{\frac{1}{2}}, \frac{a_2}{a_3} = \frac{r^2}{R^2}, \text{故 } \mathbf{B \text{ 正确, } D \text{ 错误}}; \text{地球赤道上的物体}$$

与同步卫星的角速度和周期相等, 故 **C 正确**; 根据 $v = \omega r$, 可

→ **关键点:** 牢记地球同步卫星的运动特点是解题的关键

$$\text{得 } \frac{v_1}{v_3} = \frac{R}{r}, \text{则有 } \frac{v_1}{v_2} = \frac{R}{r} \sqrt{\frac{R}{r}}, \text{故 } \mathbf{A \text{ 错误}}.$$

关键点拨 同步卫星的特点

(1) 静止轨道卫星运行的轨道平面与赤道平面共面, 且与地球自转的方向相同;

(2) 周期与地球自转周期相等, $T = 24 \text{ h}$;

(3) 高度固定不变, $h = 3.6 \times 10^7 \text{ m}$, 约为 $6R_{\text{地}}$.

4. D 【解析】第一宇宙速度 7.9 km/s 是卫星的最小发射速度,可知 b 卫星的发射速度为 7.9 km/s, A 错误; a、c 的角速度相等,

关键点: a 的角速度等于地球的自转角速度, c 的角速度也等于地球的自转角速度

根据 $a = \omega^2 r$ 可知 $a_a < a_c$, 对 b、c 两颗卫星, 根据 $a = \frac{GM}{r^2}$, 可知 $a_b > a_c$, 故 $a_b > a_c > a_a$, B 错误; a、c 的角速度相等, 周期相等, $T_a = T_c$, 根据开普勒第三定律 $\frac{r^3}{T^2} = k$, 可知 $T_c > T_b$, 故 $T_a = T_c > T_b$, C 错误; a、c 的角速度相等, 根据 $v = \omega r$, 可知 $v_a < v_c$, 对 b、c 两颗卫星, 根据 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 可知 $v_b > v_c$, 故 $v_b > v_c > v_a$, D 正确.

关键点拨 人造地球卫星的物理量

(1) 线速度: 由 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ 得 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$;

(2) 角速度: 由 $G \frac{Mm}{r^2} = m\omega^2 r$ 得 $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$;

(3) 周期: 由 $G \frac{Mm}{r^2} = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r$ 得 $T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$;

(4) 向心加速度: 由 $G \frac{Mm}{r^2} = ma$ 得 $a = \frac{GM}{r^2}$;

由以上公式可以看出, 轨道半径大, 周期大, 线速度、角速度、向心加速度均小. 即“高轨低速大周期”.

方法总结 赤道上物体和静止轨道卫星参量通过同轴转动角速度相同进行比较; 地球卫星参量的比较通过万有引力提供向心力; 赤道上物体和地球卫星参量的比较要通过静止轨道卫星作为中介.

5. AD 【解析】卫星从高轨道变到低轨道, 需点火减速, 所以天

关键点: 卫星从高轨道进入低轨道, 需要由原来的匀速圆周运动变为近心运动, 而万有引力不变, 故需要减速, 以达到变轨目的

问三号在 A 点点火减速进入椭圆轨道 2, 在 B 点点火减速进入圆轨道 3, 故 A 正确, B 错误; 根据开普勒第三定律 $\frac{r^3}{T^2} = k$ 可知, 天问三号在轨道 1 上运行的周期大于在轨道 3 上运行的周期, 故 C 错误; 根据万有引力提供向心力有 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$, 解得 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, 则天问三号在轨道 3 上运行的线速度大于在轨道 1 上运行的线速度, 故 D 正确.

6. A 【解析】运载火箭在轨道 1 运行的速度等于第一宇宙速度, 但从轨道 1 进入轨道 2 时需要在 A 点处加速, 则有 $v_A > v_1$,

关键点: 轨道 1 为近地圆轨道

即在轨道 2 上的最大速度大于第一宇宙速度, A 正确, B 错误; 根据开普勒第三定律得 $\frac{a_2^3}{T_2^2} = \frac{a_3^3}{T_3^2}$, 其中 $a_2 < a_3$, 故 $T_2 < T_3$, C 错误; 运载火箭在轨道 2 和轨道 3 运动的过程中, 均只受万有引力, 根据牛顿第二定律得 $G \frac{Mm}{r^2} = ma$, 得 $a = \frac{GM}{r^2}$, 则在轨

易错点: 此处不能通过 $a = \frac{v^2}{r}$ 比较加速度大小

道 2 上经过 B 点时的加速度等于在轨道 3 上经过 B 点时的加速度, D 错误.

刷易错

★易错点 1 混淆卫星变轨的本质

7. ACD 【解析】天舟七号从近地圆轨道 I 通过加速才能进入霍曼轨道, A 正确; 天舟七号在轨道 II 上加速后将做离心运动, 向着更高的轨道运动, 即同轨道上无法实现对接, B 错误; 天和核心舱在轨道 II 上运动时, 万有引力提供向心力, 有 $G \frac{Mm}{r_2^2} = m \frac{4\pi^2}{T_0^2} r_2$, 在地球表面有 $\frac{GMm_0}{R^2} = m_0 g$, $h = r_2 - R$, 解得 $h = \sqrt[3]{\frac{gR^2 T_0^2}{4\pi^2}} - R$, C 正确; 根据题意可知, 天舟七号在霍曼轨道运

动时间为在霍曼轨道运动周期的一半, 即 $t = \frac{T_x}{2}$, 根据开普勒

第三定律有 $\frac{(nR)^3}{T_0^2} = \frac{(nR+R)^3}{8T_x^2}$, 解得 $t = \frac{1}{8} \sqrt{\frac{2(n+1)^3}{n^3}} T_0$,

D 正确.

易错分析 本题在分析圆周运动中的追及和相遇问题时, 需考虑加速和减速导致的离心和向心运动, 忽视这一点, 容易错选 B.

★易错点 2 混淆环绕卫星和星体表面的物体的运动规律

8. BC 【解析】根据 $v = \omega r$ 得 $\frac{v_4}{v_2} = \frac{R+5.6R}{R+2.3R} = 2$, B 正确; 根据牛

关键点: 一根绳连接, 属于同轴转动, 角速度相等

顿第二定律得 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$, 解得 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, 所以 $\frac{v_3}{v_1} =$

$\sqrt{\frac{R}{3.3R}} = \frac{1}{\sqrt{3.3}}$, D 错误; 根据 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 得, $\frac{v_3}{v_4} = \sqrt{2}$, 又 $\frac{v_4}{v_2} =$

2, 可得 $\frac{v_3}{v_2} = 2\sqrt{2}$, C 正确; 根据 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 得, $\frac{v_1}{v_4} = \sqrt{6.6}$, 又

$\frac{v_4}{v_2} = 2$, 可得 $\frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{2\sqrt{6.6}}$, A 错误.

关键点拨 近地卫星和同步卫星的相同点是万有引力全部提供向心力, 赤道上待发射的卫星与同步卫星具有相同的周期和角速度, 则有 $v_{\text{近}} > v_{\text{同}} > v_{\text{赤}}$, $a_{\text{近}} > a_{\text{同}} > a_{\text{赤}}$.

易错分析 不善于抓住物体之间的关联点导致错误. 如同步卫星和近地卫星都是万有引力提供向心力, 都满足 $\sqrt{\frac{GMm}{r^2}} = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r = m \frac{4\pi^2}{T^2} r = ma_n$, 由上式比较各物理量的大小关系, 可知 r 越大, v 、 ω 、 a_n 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, 因此通过 $v = \omega r$ 、 $a_n = \omega^2 r$ 比较两者的线速度和向心加速度的大小.

★易错点 3 不清楚卫星变轨问题中的各物理量的变化

9. C 【解析】人造地球卫星在某圆轨道运行中, 沿线速度方向的反方向喷气, 线速度变大, 做离心运动, 半径变大, 稳定后做匀速圆周运动, 根据万有引力提供卫星做圆周运动的向心

力得 $G \frac{Mm}{r^2} = ma = m \frac{4\pi^2 r}{T^2} = m \frac{v^2}{r}$, 解得 $a = G \frac{M}{r^2}$, $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$,

$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, r 增大, E_p 增大, 则 a 减小, T 增大, v 减小, 则 E_k 减小, 故 C 正确.

易错分析 卫星变轨的实质:卫星的速度大小发生变化时,做圆周运动所需要的向心力不等于万有引力.要想使卫星的轨道半径增大,必须增大卫星的速度,使万有引力小于所需的向心力,卫星做离心运动;反之减小卫星的速度,万有引力大于所需向心力,卫星则做近心运动.此部分公式较多,要理解公式的来龙去脉,注意公式的适用条件,不能生搬硬套.本题易错选 A.

刷提升

1. D 【解析】若地球自转加快,则自转周期减小,地球的同步卫星的周期减小,根据 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$,可得 $T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$,则同步卫星的轨道半径减小,即地球同步卫星的高度要略调低一些, **A 错误**;根据 $G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{v^2}{R}$,可得 $v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$,由此可知地球的第一宇宙速度不变, **B 错误**;万有引力的一个分力等于重力,一个分力提供向心力,根据 $F_{向}=m\omega^2r$ 可知,地球自转加快,则物体所需向心力变大,而万有引力不变,所以北京和衡阳的物体重力减小,方向变化, **C 错误, D 正确**.

2. C 【解析】北斗 G7 卫星在同步静止轨道上,位于赤道平面
 → **关键点:** 同步静止轨道卫星位于赤道上空,而我国不在赤道上

内,故不能定点于我国上空,故 **A 错误**;由 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$,得 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$,第一宇宙速度为卫星贴近地球表面飞行时的线速度,北斗 G7 卫星的轨道半径大于地球半径,故北斗 G7 卫星的线速度小于第一宇宙速度,故 **B 错误**;由 $G\frac{Mm}{r^2}=ma$,得 $a=G\frac{M}{r^2}$,注入推进剂后,北斗 G7 卫星的加速度大小不变,故 **C 正确**;处在相同轨道上的“实践 25 号”加速后做离心运动,不可以追上北斗 G7 卫星,故 **D 错误**.

3. BC 【解析】三颗果实与赤道共面且随地球一起自转,可知
 → **关键点:** 由此条件判断出三颗果实的角速度相等是解题的关键

三颗果实的角速度相等,根据 $a=\omega^2r$,可知果实 1 的向心加速度最大,故 **A 错误**;由于果实 2 在地球同步轨道上,可知果实 2 随地球一起自转所需的向心力刚好等于其受到的万有引力,则果实 2 成熟自然脱离豆秧后仍与果实 1 和果实 3 保持相对静止在原轨道运行,故 **B 正确**;根据 $a=\omega^2r$,可知 $a_2>a_3$,对于卫星绕地球做圆周运动,根据牛顿第二定律可得 $\frac{GMm}{r^2}=ma$,解得 $a=\frac{GM}{r^2}$,可知 $g>a_2$,则果实 2、果实 3 的加速度 a_2 、 a_3 与地球表面重力加速度 g 的大小关系为 $g>a_2>a_3$,

易错点: 易根据 $a=\frac{GM}{r^2}$ 判断 a_2 与 a_3 的大小,导致错解

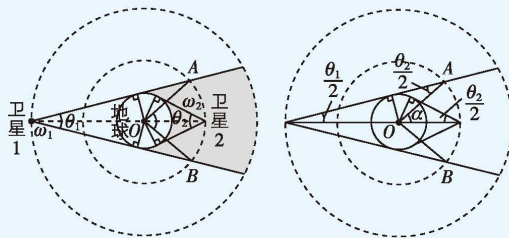
故 **C 正确**;对于果实 2 有 $\frac{GMm_2}{r_2^2}=m_2\omega^2r_2$,对于果实 1 有 $\frac{GMm_1}{r_1^2}<m_1\omega^2r_1$,则果实 1 成熟自然脱离豆秧后,果实 1 受到的万有引力不足以提供其所需的向心力,将做离心运动,故 **D 错误**.

刷素养

4. A

模型构建

卫星遮挡问题



$\sin \frac{\theta_1}{2} = \frac{R}{r_1}$, $\sin \frac{\theta_2}{2} = \frac{R}{r_2}$,由几何关系可知, $\alpha = \frac{\theta_1}{2} + \frac{\theta_2}{2} = \frac{1}{2} \angle AOB$,所以遮挡角为 $\angle AOB = \theta_1 + \theta_2$,因此遮挡时间 $t = \frac{\theta_1 + \theta_2}{\omega_{相对}}$.若两卫星同向运行, $\omega_{相对} = \omega_2 - \omega_1$;若两卫星反向运行, $\omega_{相对} = \omega_1 + \omega_2$.

【解析】设地球质量为 M ,卫星 I、II 的轨道半径分别为 r 和 R ,近地卫星 II 的周期为 T ,卫星 I 为同步卫星,周期为 T_0 ,根据开普勒第三定律得 $\frac{r^3}{T^2} = \frac{R^3}{T_0^2}$,由题图得 $\sin \theta = \frac{R}{r}$,可得卫星 II 的周期为 $T = T_0 \sqrt{\sin^3 \theta}$, **C 错误**;对于卫星 II,有 $\frac{GMm}{R^2} = m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 R$,地球的平均密度 $\rho = \frac{M}{V} = \frac{3M}{4\pi R^3}$,联立可得地球的平均密度为 $\rho = \frac{3\pi}{GT_0^2 \sin^3 \theta}$, **A 正确**;对于不同轨道卫星,根据牛顿第二定律得加速度 $a = \frac{GM}{r^2}$,所以卫星 I 和卫星 II 的加速度之比为 $\frac{a_I}{a_{II}} = \frac{R^2}{r^2} = \sin^2 \theta$, **B 错误**;若卫星 I 不动,则卫星 II 一个周期内无法接收到卫星 I 发出电磁波信号的时间为 $t = \frac{2\theta + \pi}{2\pi} \cdot T = \frac{(\pi + 2\theta)T_0}{2\pi} \sqrt{\sin^3 \theta}$,但卫星 I 是运动的, **D 错误**.

5. C 【解析】由题图可知,两星球表面的重力加速度大小之比和半径之比都是 1:2,由天体表面万有引力和重力相等可知 $G\frac{Mm}{R^2}=mg$,可得 $M=\frac{gR^2}{G}$,则两星球的质量之比 $\frac{M_P}{M_Q}=\frac{1}{8}$,故 **A 错误**;密度为 $\rho=\frac{M}{V}=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$,可得 $\rho=\frac{3g}{4\pi GR}$,故两星球密度相同,故 **B 错误**;由 $G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{v^2}{R}=mg$,可得 $v=\sqrt{gR}$,则两星球的第一宇宙速度大小之比 $\frac{v_P}{v_Q}=\frac{1}{2}$,故 **C 正确**;由万有引力提供向心力可知, $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$,可得 $r=\sqrt{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}$,则两星球的同步卫星的轨道半径之比 $\frac{r_P}{r_Q}=\frac{1}{2}$,又因为两星球的半径之比为 1:2,故同步卫星距星球表面的高度之比也为 1:2,故 **D 错误**.

关键点: 两星球的自转角速度相同,则自转周期相同,同步卫星的周期相同

专题9 卫星变轨问题

刷题型

1. B 【解析】嫦娥六号没有脱离地球的引力范围,则发射嫦娥六号的速度小于第二宇宙速度, A 错误;返回器在轨道 1 上运动的半径小于在轨道 3 上运动的半长轴,根据开普勒第三定律可知,返回器在轨道 1 上运动的周期小于在轨道 3 上运动的周期, B 正确;返回器从轨道 1 进入轨道 2 要在 A 点加速,可知返回器在轨道 1 上经过 A 点时的速度小于在轨道 2 上经过 A 点时的速度, C 错误;载有月壤样本的返回器在变轨进入地月转移轨道时需要点火加速做离心运动, D 错误。

易错点: 只要飞行器在地球引力范围之内,发射速度就小于第二宇宙速度

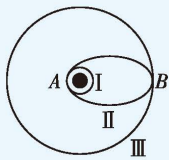
2. BD 【解析】由于我国北斗卫星导航系统的中圆地球轨道卫星绕地球运动,而“天问一号”火星探测器在着陆准备轨道上绕火星运动,中心天体不一样,因此开普勒第三定律不适用, A 错误;“天问一号”在 A 点从环火星圆轨道进入着陆准备轨道时需要减速,所以需要开启发动机向前喷气, B 正确;“天问一号”在环火星圆轨道上 A 点受到的万有引力和在着陆准备轨道上 A 点受到的万有引力相同,根据牛顿第二定律有 $\frac{GMm}{R^2} = ma$,可知加速度相同, C 错误;“天问一号”在火星着陆准备轨道上(视为圆轨道)运行时,根据牛顿第二定律,有 $\frac{GMm}{a_1^2} = m \left(\frac{2\pi}{T_1} \right)^2 a_1$,可得火星质量为 $M = \frac{4\pi^2 a_1^3}{GT_1^2}$, D 正确。

关键点: “天问一号”从环火星圆轨道进入着陆准备轨道是做近心运动,需要减速

3. C 【解析】根据开普勒第三定律得 $\frac{\left(\frac{r_1+r_2}{2} \right)^3}{T_2^2} = \frac{r_2^3}{T_0^2}$,解得卫星在椭圆轨道 2 上运动的周期为 $T_2 = T_0 \sqrt{\frac{(r_1+r_2)^3}{8r_2^3}}$, A 错误;卫星在轨道 1 上运动到 A 点时,需要加速才能沿轨道 2 运动,则卫星在轨道 2 上经过 A 点的速度大于在轨道 1 上经过 A 点的速度, B 错误;由题意知某天文爱好者在赤道上 1 天内观察到 17 次该卫星沿轨道 1 掠过其正上方,说明在 $t = T_0$ 的时间内卫星比地球自转多转过的角度为 $\Delta\theta = 16 \times 2\pi$,又 $\Delta\theta = \left(\frac{2\pi}{T_1} - \frac{2\pi}{T_0} \right) \times T_0$,解得 $T_1 = \frac{1}{17} T_0$, C 正确;要使卫星从轨道 2 变轨至轨道 3,在卫星到达 B 点时,需点火加速, D 错误。

关键点拨 变轨过程中几个特殊位置速率关系

设卫星在圆轨道 I 和 III 上运行时的速率分别为 v_1 、 v_3 ,在轨道 II 上过 A 点和 B 点时速率分别为 v_A 、 v_B ,则 $v_3 > v_B$, $v_1 > v_3$, $v_A > v_1$,故有 $v_A > v_1 > v_3 > v_B$ 。



4. B 【解析】设月球质量为 M ,探测器质量为 m ,根据 $\frac{GMm}{r^2} = ma$,解得加速度 $a = \frac{GM}{r^2}$,故探测器在轨道 I 和轨道 III 上经过 P 点时的加速度相等,故 A 错误;根据开普勒第三定律有 $\frac{a^3}{T^2} = k$,由于轨道 III 的半径小于轨道 I 的半长轴,所以探测器

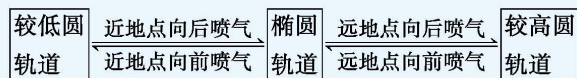
在轨道 III 上的运行周期比在轨道 I 上的小,故 B 正确;根据 $\frac{GMm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$,解得 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$,月球的第一宇宙速度是卫星贴近月球表面做匀速圆周运动的速度,探测器在轨道 III 上的轨道半径大于月球半径,可知探测器在轨道 III 上的运行速度比月球的第一宇宙速度小,故 C 错误;探测器在轨道 II 上的 P 点需加速做离心运动才可以进入轨道 I,所以探测器在轨道

关键点: 从低轨道进入高轨道需要加速

II 上经过 P 点的速度比在轨道 I 上经过 P 点时的速度小,故 D 错误。

5. B 【解析】第一宇宙速度是近地卫星的环绕速度,近地卫星的轨道半径近似等于地球半径,根据 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$,解得 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$,由于轨道 I 的半径大于地球半径,则飞船在轨道 I 的线速度小于第一宇宙速度, A 错误;根据 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2 r}{T^2}$,解得 $T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$,由于轨道 I 的半径小于空间站的轨道半径,故飞船在轨道 I 上的运行周期小于空间站的运行周期, B 正确;第一次变轨与第二次变轨均是由低轨道到高轨道,则均需要在切点位置加速, C 错误;从椭圆轨道 II 的 A 点运动到 B 点,飞船的速度减小,动能减小, D 错误。

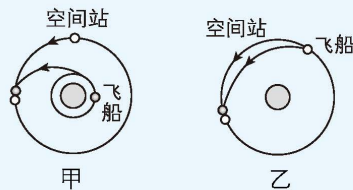
关键点拨 人造地球卫星的发射和回收过程要经过多次变轨,过程简图如图所示。



方法总结 卫星对接问题

解决卫星变轨与对接问题需要抓住两个分析和一个条件: 卫星变轨前后的轨道分析、匀速圆周运动的供需分析、圆周运动的“近心”和“离心”的条件。

- (1) 低轨道飞船与高轨道空间站对接时,让飞船合理地加速,使飞船沿圆轨道做离心运动,当行至椭圆轨道的远点处时再次加速,追上高轨道空间站完成对接,如图甲所示。
(2) 若飞船和空间站在同一轨道上,飞船加速时无法追上空间站,因为飞船加速时,将做离心运动,从而离开这个轨道。通常先使后面的飞船减速降低高度,再加速提升高度,通过适当控制,使飞船追上空间站时恰好具有相同的速度,如图乙所示。



6. D 【解析】根据万有引力定律可知卫星所受地球的万有引力大小为 $F = G \frac{Mm}{r^2}$,卫星 A 和卫星 B 同轨运行,则环绕半径 r 相等,但由于两颗卫星质量不同,则受到的万有引力大小不相等,故 A 错误;根据万有引力提供向心力可得 $G \frac{Mm}{r^2} =$

关键点: 万有引力的大小与卫星质量有关

$m \frac{v^2}{r}$, 解得卫星在轨道上运行的速度 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, 7.9 km/s 是第一宇宙速度, 即近地卫星的运行速度, 卫星的环绕半径 r 大于地球半径 R , 则运行的速度小于 7.9 km/s, 故 **B 错误**; 卫星 B 在同轨道上加速, 在该位置所受的万有引力不足以提供卫

关键点: 在同一轨道上加速, 会进入高轨道, 不能实现对接

星 B 做圆周运动所需的向心力, 卫星 B 会做离心运动, 偏离原来的轨道, 不能与卫星 A 对接, 故 **C 错误**; 卫星在地面上所受的万有引力大小为 $F' = G \frac{Mm}{R^2}$, 进入轨道后所受地球万有引力大小 $F = \frac{GMm}{r^2}$, 又因为 $r = R + h = \frac{17}{16}R$, 则卫星进入轨道后所受地球的万有引力大小与它在地面时所受地球的万有引力大小之比为 $\frac{F}{F'} = \frac{R^2}{r^2} = \left(\frac{16}{17}\right)^2$, 故 **D 正确**.

7. (1) 8.25 月 (2) 42.5°

【解析】(1) 根据开普勒第三定律 $\frac{a^3}{T^2} = k$ 可知, “天问一号”在地

火转移轨道上的运行周期 $T_{\text{探}} = \sqrt{\left(\frac{r_{\text{火}} + r_{\text{地}}}{2}\right)^3 \frac{T_{\text{地}}}{r_{\text{地}}}} = 16.5$ 月, 则

“天问一号”在地火转移轨道上运行的时间 $t = \frac{T_{\text{探}}}{2} = 8.25$ 月.

(2) 火星公转周期为 $T_{\text{火}} = \sqrt{\left(\frac{r_{\text{火}}}{r_{\text{地}}}\right)^3 T_{\text{地}}} = 21.6$ 月,

火星运行的时间为 $t' = \frac{180^\circ - \theta}{360^\circ} T_{\text{火}}$,

要保证“天问一号”正好在远日点与火星相遇, 则两者运动的时间相等, 有 $\frac{T_{\text{探}}}{2} = \frac{180^\circ - \theta}{360^\circ} T_{\text{火}}$, 解得 $\theta = 42.5^\circ$.

8. **B** **【解析】** 天宫空间站运行过程中因稀薄气体阻力的影响, 天宫空间站的机械能减小, 天宫空间站轨道高度降低, 则与修正前相比, 修正后天宫空间站运行的轨道半径增大, 故 **A 错误**; 根据万有引力提供向心力有 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$, 可得 $v =$

$\sqrt{\frac{GM}{r}}$, 修正后天宫空间站运行的轨道半径增大, 则速率减小, 故 **B 正确**; 根据牛顿第二定律有 $G \frac{Mm}{r^2} = ma$, 可得 $a = \frac{GM}{r^2}$,

修正后天宫空间站运行的轨道半径增大, 则向心加速度减小, 故 **C 错误**; 根据万有引力提供向心力有 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$,

可得 $T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$, 修正后天宫空间站运行的轨道半径增大, 则周期增大, 故 **D 错误**.

方法总结 (1) 卫星摩擦减速变轨问题

卫星轨道连续渐变时各运动参量的关系: 当卫星在大气层稀薄空气摩擦作用下变轨时, 空气阻力使卫星的速度减小,

$G \frac{Mm}{r^2} > m \frac{v^2}{r} \rightarrow$ 近心运动 \rightarrow 引力做正功 \rightarrow 卫星动能增大 \rightarrow

低轨道运行, $v' = \sqrt{\frac{GM}{r'}}$.

(2) 修正问题

卫星运行过程中受入轨偏差、万有引力、宇宙环境等因素影响, 卫星进入轨道时的实际数值与理论数值存在一定偏差, 每经过一段时间要进行轨道修正, 使其回到原轨道. 在对轨道进行修正时, 卫星是从低轨道变到高轨道, 各个物理量的变化情况与卫星变轨时物理量的变化情况相同.

专题 10 卫星的追及、相遇问题

刷难关

1. **C** **【解析】** 根据开普勒第三定律, 可得 $\frac{T_A}{T_B} = \sqrt{\frac{R_A^3}{R_B^3}} = \frac{1}{8}$, 又

$T_A = T$, 则 $T_B = 8T$, 有 $\omega_A = \frac{2\pi}{T}$, $\omega_B = \frac{\pi}{4T}$, 设再次相距最近时 A 、 B 两卫星转过的角度分别为 θ_A 、 θ_B , 有 $\theta_A + \theta_B = 2\pi$, 即 $\omega_A t + \omega_B t = 2\pi$, 代入数据可得 $t = \frac{8}{9}T$, 故选 **C**.

教材变式 本题目由教材 P109 第 7 题演变而来, 两题均考查了两颗卫星从相距最近到再次相距最近需要的时间, 不同之处是教材中的题目给出了卫星 A 是地球同步卫星和 B 卫星距地面的高度, 本题则给出了两卫星的轨道半径之比.

2. **A** **【解析】** 由万有引力提供向心力有 $G \frac{Mm}{r^2} = m\omega^2 r$, 解得 $\omega =$

$\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$, 又因为 $\frac{GMm'}{R^2} = m'g$, 得 $\omega_a = \sqrt{\frac{g}{R}}$, $\omega_b = \frac{1}{8} \sqrt{\frac{g}{R}}$, 根据

易错点: 卫星 b 离地面的高度为 $3R$, 则运动半径 $r_b = 4R$

题意可知 $\omega_a t - \omega_b t = \theta$, 解得 $t = \frac{8\theta}{7} \sqrt{\frac{R}{g}}$, **A 正确**.

方法总结 同向运动的追及问题, 明确初、末位置, 从初位置到末位置, 找出运行快的比运行慢的多转过的角度, 即可找到等量关系.

3. **B** **【解析】** 设“天关”卫星周期为 T_0 , 则它运动到地球另一侧对称点经过的时间 $\Delta t = mT_0 + \frac{T_0}{2} = (2m+1) \frac{T_0}{2}$ ($m=0, 1, 2, 3, \dots$), 设

关键点: 忽略地球自转, “天关”卫星运动到地球另一侧对称点时, 转动了 m 个完整周期加半个周期

高轨卫星的周期为 T , 它运动到地球另一侧对称点经过的时间 $\Delta t' = nT + \frac{T}{2} = (2n+1) \frac{T}{2}$ ($n=0, 1, 2, 3, \dots$), 由于“天关”卫星轨道更低, 周期更短, 则 $T > T_0$, 它再从高轨卫星下方经过,

关键点: 高轨低速长周期

满足 $\Delta t = \Delta t'$, 即 $(2m+1) \frac{T_0}{2} = (2n+1) \frac{T}{2}$, $m > n$, 设高轨卫星的

轨道半径为 r , 根据开普勒第三定律有 $\frac{r_0^3}{T_0^2} = \frac{r^3}{T^2}$, 则 $r =$

$\sqrt[3]{\left(\frac{T}{T_0}\right)^2 r_0^3} = \sqrt[3]{\left(\frac{2m+1}{2n+1}\right)^2 r_0^3}$, 其中 m, n 取整数且 $m > n$, **B** 符合题意. 故 **B 正确**.

4. **AD** **【解析】** 卫星绕地球做圆周运动, 万有引力提供向心力, 由牛顿第二定律得 $\frac{GMm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$, 解得 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, α 轨道半径

最小,则 α 轨道卫星的线速度最大,故 **A 正确**;由于不知道卫星的质量关系,无法比较卫星受到的万有引力大小关系,故 **B 错误**;卫星绕地球做圆周运动,万有引力提供向心力,由牛顿第二定律得 $\frac{GMm}{r^2} = ma$,解得 $a = \frac{GM}{r^2}$, β 轨道半径大于 α 轨道半径,则 β 轨道卫星的向心加速度小于 α 轨道卫星的向心加速度,故 **C 错误**;某时刻卫星 a 、 b 相距最近, a 卫星比 b 卫星多转一周即转过的圆心角多 2π 时它们再次相距最近,根据已知参数结合 $\frac{GMm}{R^2} = mg$ 、 $\frac{GMm}{r^2} = m\omega^2 r$,可以求出 a 、 b 卫星的角速度 ω_a 、 ω_b ,根据 $\omega_a t - \omega_b t = 2\pi$ 可以求出它们再次相距最近

关键点: 快的比慢的多转了 2π

需要的时间,故 **D 正确**.

5. (1) $\frac{T}{8}$ (2) $\frac{\sqrt{13}}{4} \sqrt{\frac{gR^2 T^2}{4\pi^2}}$

【解析】(1) 根据开普勒第三定律有 $\frac{r_A^3}{T^2} = \frac{r_B^3}{T_B^2}$, 又 $r_A = 4r_B$, 解得

$$T_B = \frac{T}{8}.$$

(2) 对地球表面物体,有 $\frac{GMm_0}{R^2} = m_0 g$,

对卫星 A 有 $\frac{GMm_A}{r_A^2} = m_A r_A \frac{4\pi^2}{T^2}$, 联立解得 $r_A = \sqrt[3]{\frac{gR^2 T^2}{4\pi^2}}$,

由题意可知 $r_B = \frac{1}{4} r_A = \frac{1}{4} \sqrt[3]{\frac{gR^2 T^2}{4\pi^2}}$,

在 $0 \sim \frac{T}{6}$ 时间内, A 卫星转过的角度为 $\theta_1 = \frac{2\pi}{T} \times \frac{T}{6} = \frac{\pi}{3}$,

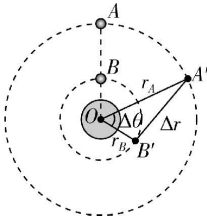
B 卫星转过的角度为 $\theta_2 = \frac{2\pi}{T_B} \times \frac{T}{6} = \frac{8\pi}{3}$,

由几何关系可得,两颗卫星与地球连线之间的夹角(锐角)为 $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 - 2\pi =$

$\frac{\pi}{3}$, 如图所示,

由余弦定理可得,两颗卫星之间的距离为 $\Delta r =$

$$\sqrt{r_A^2 + r_B^2 - 2r_A r_B \cos \Delta\theta}, \text{ 联立解得 } \Delta r = \frac{\sqrt{13}}{4} \sqrt{\frac{gR^2 T^2}{4\pi^2}}.$$



专题 11 双星、多星问题 黑洞

刷题型

1. **B** 【解析】设 A、B 两颗星的轨道半径分别为 r_1 、 r_2 , 两颗星之间的万有引力提供向心力, 则有 $\frac{GMm}{L^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r_1$, $\frac{GMm}{L^2} = M \frac{4\pi^2}{T^2} r_2$, 联立可得 $mr_1 = Mr_2$, 由于 $OA > OB$, 即 $r_1 > r_2$, 所以 $m < M$, 故 **A 错误**; 由题可知 $r_1 + r_2 = L$, 结合 A 项分析可得两颗星的周期为 $T = 2\pi \sqrt{\frac{L^3}{G(M+m)}}$, 若 m 缓慢增大, 其他量不变, 可知周期 T 变小, 由 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ 可知, 角速度逐渐变大, 故 **B 正确**, **D 错误**; 两颗星之间的万有引力提供向心力, 可知两颗星做圆周运动所需要的向心力大小相等, 故 **C 错误**.

方法总结 双星模型的特点

(1) 两星围绕它们之间连线上的某一点做匀速圆周运动, 两星的运行周期、角速度相同.

(2) 两星做圆周运动所需的向心力大小相等, 由它们间的万有引力提供, 即 $\frac{Gm_1 m_2}{L^2} = m_1 \omega^2 r_1$, $\frac{Gm_1 m_2}{L^2} = m_2 \omega^2 r_2$.

(3) 两星的轨道半径之和等于两星之间的距离, 即 $r_1 + r_2 = L$, 两星轨道半径之比等于两星质量的反比.

(4) 两星的运动周期 $T = 2\pi \sqrt{\frac{L^3}{G(m_1 + m_2)}}$.

2. **A** 【解析】对双星系统, 由相互作用的万有引力充当向心力, 有 $G \frac{m_{\text{甲}} m_{\text{乙}}}{L^2} = m_{\text{甲}} r_{\text{甲}} \omega^2 = m_{\text{乙}} r_{\text{乙}} \omega^2$, 可得 $m_{\text{甲}} r_{\text{甲}} = m_{\text{乙}} r_{\text{乙}}$,

即 $\frac{r_{\text{甲}}}{r_{\text{乙}}} = \frac{m_{\text{乙}}}{m_{\text{甲}}}$, 故甲、乙做圆周运动的半径与两恒星质量成反比, 故 **A 正确**; 由匀速圆周运动的规律可得 $v_{\text{甲}} = \omega r_{\text{甲}}$, $v_{\text{乙}} = \omega r_{\text{乙}}$, 可得 $\frac{v_{\text{甲}}}{v_{\text{乙}}} = \frac{r_{\text{甲}}}{r_{\text{乙}}} = \frac{m_{\text{乙}}}{m_{\text{甲}}}$, 故甲、乙的线速度大小与两恒星质量成反比, 故 **B 错误**; 双星在相等的时间内转过的角度相等, 周期相等, 由角速度的定义式 $\omega = \frac{\theta}{t}$, 可得甲的周期 $T = \frac{2\pi}{\omega} =$

$\frac{2\pi t}{\theta}$, 故 **C 错误**; 由 $\frac{Gm_{\text{甲}} m_{\text{乙}}}{L^2} = m_{\text{甲}} \omega^2 r_{\text{甲}}$, $\frac{Gm_{\text{甲}} m_{\text{乙}}}{L^2} = m_{\text{乙}} \omega^2 r_{\text{乙}}$, 解得 $m_{\text{甲}} + m_{\text{乙}} = \frac{\omega^2 L^3}{G}$, 其中 $\omega = \frac{\theta}{t}$, 可得甲、乙的总质量为

$m_{\text{甲}} + m_{\text{乙}} = \frac{\theta^2 L^3}{Gt^2}$, 故 **D 错误**.

3. **D** 【解析】撞击后, 科学家观测到系统光点明暗变化的时间间隔变短, 可知该双星系统的运动周期变小, **A 错误**; 设双星之间的距离为 L , 根据万有引力提供向心力可得 $G \frac{Mm}{L^2} =$

$MR \frac{4\pi^2}{T^2} = m r \frac{4\pi^2}{T^2}$, 其中 $R + r = L$, 联立解得 $\frac{R}{r} = \frac{m}{M}$, $T^2 =$

$\frac{4\pi^2 L^3}{G(M+m)}$, 可得两颗小行星中心连线的距离减小, 两颗小行星做圆周运动的半径之比不变, **B 错误**, **D 正确**; 根据牛顿第二定律有 $G \frac{Mm}{L^2} = Ma_1 = ma_2$, 两颗小行星中心连线的距离减小, 则两颗小行星的向心加速度均变大, **C 错误**.

4. (1) 4:3 (2) 3:4 (3) $\frac{196\pi^2 x_0^3}{Gt_0^2}$

【解析】(1) 双星系统中的两颗恒星 a 、 b 绕 O 点做圆周运动, 两颗恒星的角速度相同; 由图像可知, 该双星系统的周期为 $2t_0$, a 的轨道半径为 $4x_0$, b 的轨道半径为 $3x_0$, 可得 $r_a : r_b =$

$4 : 3$, 由线速度与角速度的关系 $v = \omega r$ 可知, a 、 b 的线速度之比为 $v_a : v_b = 4 : 3$.

(2) 双星靠相互间的万有引力提供向心力, 两者向心力大小相等, 则 $m_a \omega^2 r_a = m_b \omega^2 r_b$,

可得 $m_a : m_b = 3 : 4$.

(3) 对 a 由万有引力提供向心力可知 $G \frac{m_b m_a}{L^2} = m_a \frac{4\pi^2}{T^2} r_a$,

其中 $T = 2t_0$, $r_a = 4x_0$, $L = 7x_0$, 解得 $m_b = \frac{196\pi^2 x_0^3}{Gt_0^2}$.

5. A 【解析】第一种形式下,左边星体受到中间星体和右边星体的万有引力作用,它们的合力充当向心力,则有 $G \frac{mm}{R^2} + G \frac{mm}{(2R)^2} = m \frac{4\pi^2}{T_1^2} R$, 解得 $T_1^2 = \frac{16\pi^2 R^3}{5Gm}$, 第二种形式下,三颗星体之间的距离均为 $\sqrt{3}R$, 由几何关系知,三颗星体做圆周运动的半径为 R , 任一星体所受另外两颗星体的万有引力的合力充当向心力, 即 $F_{\text{合}} = 2G \frac{mm}{(\sqrt{3}R)^2} \cos 30^\circ = m \frac{4\pi^2}{T_2^2} R$, 解得 $T_2^2 = \frac{4\sqrt{3}\pi^2 R^3}{Gm}$, 则 $\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{4}{15}\sqrt{3}$, **A 正确**.

→ **关键点:** 三星系统中星体所受另外两颗星体万有引力的合力提供向心力

关键点拨 常见的三星系统模型

	$\frac{Gm^2}{(2R)^2} + \frac{Gm^2}{R^2} = ma_{\text{向}}$
	$2 \frac{Gm^2}{L^2} \cos 30^\circ = ma_{\text{向}}$

6. D 【解析】三颗星体做圆周运动的轨道半径等于等边三角形外接圆的半径, 根据几何关系可知 $r = \frac{\sqrt{3}}{3}l$, 根据题意, 可知这三颗星体的质量相同, 设为 M , 根据牛顿第二定律有 $F_{\text{向}} = 2 \frac{GM^2}{l^2} \cos 30^\circ = Mr \frac{4\pi^2}{T^2}$, 解得 $M = \frac{4\pi^2 l^3}{3GT^2}$, 三颗星体做圆周运动的向心力大小相等, 方向不同, 故 **A、B 错误**; 根据牛顿第二定律有 $2 \frac{GM^2}{l^2} \cos 30^\circ = M \frac{v^2}{r}$, 解得线速度大小为 $v = \frac{2\sqrt{3}\pi l}{3T}$, 根据公转周期可以计算公转角速度, 不能计算自转角速度, 故 **C 错误, D 正确**.

7. D 【解析】天体绕黑洞运动时, 有 $\frac{GMm}{r^2} = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r$, 解得 $M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$, **A、B 错误**; 黑洞的逃逸速度不小于光速, 有 $\sqrt{\frac{2GM}{R}} \geq c$, 解得 $R \leq \frac{2GM}{c^2} = \frac{8\pi^2 r^3}{c^2 T^2}$, **C 错误, D 正确**.

8. (1) $m' = \frac{m_2}{(m_1+m_2)^2}$ **(2)** $\frac{m_2}{(m_1+m_2)^2} = \frac{v^3 T}{2\pi G}$ **(3)** 暗星 B 有可能是黑洞

【解析】(1) 设 $A、B$ 的轨道半径分别为 $r_1、r_2$, 由题意知, $A、B$ 做匀速圆周运动的角速度相同, 设为 ω , 有 $F_A = m_1 \omega^2 r_1$, $F_B = m_2 \omega^2 r_2$, 且 $F_A = F_B$,

设 $A、B$ 之间的距离为 r , 有 $r = r_1 + r_2$, 联立解得 $r = \frac{m_1+m_2}{m_2} r_1$, 由

万有引力定律有 $F_A = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$, 可得 $F_A = G \frac{m_1 m_2^3}{(m_1+m_2)^2 r_1^2}$, 又

$F_A = G \frac{m_1 m'}{r_1^2}$, 比较可得 $m' = \frac{m_2^3}{(m_1+m_2)^2}$.

(2) 对星 A , 由牛顿第二定律, 有 $G \frac{m_1 m'}{r_1^2} = m_1 \frac{v^2}{r_1}$, 星 A 的轨道

半径 $r_1 = \frac{vT}{2\pi}$, 联立可得 $\frac{m_2^3}{(m_1+m_2)^2} = \frac{v^3 T}{2\pi G}$.

(3) 将 $m_1 = 6m_s$ 代入(2)中的关系式可得 $\frac{m_2^3}{(6m_s+m_2)^2} = \frac{v^3 T}{2\pi G}$,

代入数据得 $\frac{m_2^3}{(6m_s+m_2)^2} = 6.9 \times 10^{30} \text{ kg} = 3.45m_s$,

设 $m_2 = nm_s (n > 0)$, 则 $\frac{m_2^3}{(6m_s+m_2)^2} = \frac{n}{\left(\frac{6}{n}+1\right)^2} m_s$,

可见, $\frac{m_2^3}{(6m_s+m_2)^2}$ 的值随 n 的增大而增大, 令 $n=2$,

得 $\frac{n}{\left(\frac{6}{n}+1\right)^2} m_s = 0.125m_s < 3.45m_s$,

若使上式成立, 则 n 必大于 2, 即暗星 B 的质量 m_2 必大于 $2m_s$, 由此可判断暗星 B 有可能是黑洞.

第 4 章素养检测

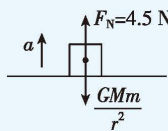
刷速度

1. A 【解析】月地检验结果证明了地面物体所受引力和天体间引力遵循相同的规律, 故 **A 正确**; 卡文迪许对引力常量 G 进行了准确测定, 因此他被称为“第一个称出地球质量的人”, 故 **B 错误**; 地心说的代表人是托勒密, 他认为地球是宇宙的中心, 其他星球都在绕地球运动, 故 **C 错误**; 开普勒行星运动定律是开普勒在第谷留下的观测记录的基础上整理和研究出来的, 故 **D 错误**.

2. D 【解析】由开普勒第三定律得 $\frac{r^3}{r_{\text{同}}^3} = \frac{T^2}{T_{\text{同}}^2}$, 可得 $T = T_{\text{同}} \sqrt{\frac{r^3}{r_{\text{同}}^3}} \approx \sqrt{\frac{6\ 800^3}{42\ 000^3}} \times 24 \text{ h} \approx 1.5 \text{ h}$, **D 正确**.

3. D

思路导引 对物体受力分析, 如图所示.



【解析】对物体受力分析可知, 物体受到支持力和万有引力作用, 支持力大小即台秤显示的数值, 由牛顿第二定律有 $4.5 \text{ N} - \frac{GMm}{r^2} = ma$, 又因为 $\frac{GMm}{r^2} = mg'$, 地球表面上物体受到的重力

→ **关键点:** g' 为该处重力加速度, 类比在地球表面附近做圆周运动的物体

等于万有引力, 有 $\frac{GMm}{R^2} = mg$, 其中 $r = R+h$, 解得 $g' = 2.5 \text{ m/s}^2$, $h = 6.4 \times 10^6 \text{ m}$, 故 **D 正确, A、B、C 错误**.

4. A 【解析】以地球球心为圆心, 以卫星 2 此刻到地心的距离为半径作圆, 记作轨道 3, 根据变轨原理可知卫星 2 在轨道 3 上的线速度 $v_3 > v_2$, 根据牛顿第二定律, 有 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$, 可知轨道半径越小, 线速度越大, 即 $v_1 > v_3$, 故 $v_1 > v_2$, 故 **A 正确**; 根据牛顿第二定律, 有 $\frac{GMm}{r^2} = ma$, 可得 $a = \frac{GM}{r^2}$, 在题图所示位置, 卫星 2 距地心的距离大于卫星 1 的, 则卫星 1 的向心加速度大, 故 **B 错误**; 根据万有引力定律可知 $F = G \frac{Mm}{r^2}$, 两颗卫星质量不一定相等, 分别

经过 A 点时受到的万有引力不一定相等,故 C 错误;卫星 1 圆轨道的半径与卫星 2 椭圆轨道的半长轴相等,根据开普勒第三定律 $k = \frac{a^3}{T^2}$ 可知,两颗卫星的周期相同,不可能相撞,故 D 错误。

5. D 【解析】探测卫星的向心加速度大小为 $a = \frac{4\pi^2 \times 2R}{(2T)^2} = \frac{2\pi^2 R}{T^2}$,故 A 错误;由开普勒第三定律有 $\frac{(2R)^3}{(2T)^2} = \frac{r^3}{T^2}$,解得同步卫星轨道半径 $r = \sqrt[3]{2}R$,该星球的同步卫星线速度大小为 $v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2\sqrt[3]{2}\pi R}{T}$,故 B 错误;卫星 a 经过 P 正上方一次满足 $\frac{2\pi}{T}t + \frac{2\pi}{2T}t = 2\pi$,解得 $t = \frac{2T}{3}$,故 C 错误;对探测卫星有 $\frac{GMm}{(2R)^2} = m \frac{4\pi^2}{(2T)^2} \times 2R$,在星球赤道上有 $\frac{GMm_0}{R^2} = m_0 g + m_0 \frac{4\pi^2}{T^2} R$,联立解得 $g = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$,故 D 正确。

关键点: 不要忽略星球的自转

6. B 【解析】太阳观测卫星 b 运行在晨昏线上空,可 24 小时不间断对太阳进行观测,其轨道半径小于同步卫星的,根据开普勒第三定律可知,其周期小于 24 小时,故 A 错误;a、b、c、d 做圆周运动的向心力皆由地球对其的万有引力提供,由 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$,可得 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$,由于 $r_a < r_b < r_c = r_d$,所以 $v_a > v_b > v_c = v_d$,故 B 正确;同步轨道卫星 c 的周期为 24 小时,其速度方向与地面上各点线速度方向不同,不可能相对地面静止,故 C 错误;c 与 d 的周期、加速度大小均相等,但质量关系不清楚,故其所受地球引力未必相等,故 D 错误。

7. BD 【解析】设 P、Q 轨道半径分别为 r_P 、 r_Q ,则有 $r_P + r_Q = L_1$, $r_P - r_Q = L_2$,联立解得 $r_P = \frac{L_1 + L_2}{2}$, $r_Q = \frac{L_1 - L_2}{2}$,P、Q 做匀速圆周运动的半径之比为 $\frac{r_P}{r_Q} = \frac{L_1 + L_2}{L_1 - L_2}$,故 A 错误;P、Q 绕其球心 O_1 、 O_2 连线上 O 点做匀速圆周运动,角速度相等,对 P、Q,万有引力提供向心力,则有 $\frac{Gm_P m_Q}{L_1^2} = m_P \omega^2 r_P$, $\frac{Gm_P m_Q}{L_1^2} = m_Q \omega^2 r_Q$,联立解得 $m_P = \frac{r_Q \omega^2 L_1^2}{G}$, $m_Q = \frac{r_P \omega^2 L_1^2}{G}$,则 $m_Q - m_P = \frac{\omega^2 L_1^2 L_2}{G}$, $m_Q + m_P = \frac{\omega^2 L_1^3}{G}$,则 P、Q 的质量之和与质量之差的比值为 $\frac{m_Q + m_P}{m_Q - m_P} = \frac{L_1}{L_2}$,故 B 正确;P、Q 的线速度之和与线速度之差的比值 $\frac{v_P + v_Q}{v_P - v_Q} = \frac{\omega(r_P + r_Q)}{\omega(r_P - r_Q)} = \frac{\omega L_1}{\omega L_2} = \frac{L_1}{L_2}$,故 C 错误;设中心天体质量为 M,卫星质量为 m,轨道半径为 r,则有 $\frac{GMm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$,解得 $r = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}$,由 B 选项可知 Q 的质量大于 P 的质量,故 P 的卫星公转半径更小,故 D 正确。

8. AD 【解析】对卫星 A、C,根据万有引力提供向心力,有 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$,解得 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$,因为 A 的轨道半径大于 C 的轨道半径,所以 $v_C > v_A$,B 与 A 的角速度相等,根据 $v = r\omega$,可知 $v_A > v_B$,故 A、B、C 三者线速度的大小关系为 $v_C > v_A > v_B$,故 A 正

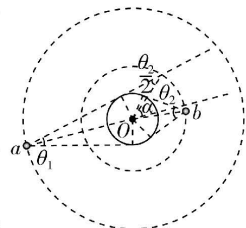
确;对卫星 A、C,根据牛顿第二定律,有 $G \frac{Mm}{r^2} = ma$,解得 $a = \frac{GM}{r^2}$,因为 A 的轨道半径大于 C 的轨道半径,所以 $a_C > a_A$,B 与 A 的角速度相等,根据 $a = r\omega^2$,可知 $a_A > a_B$,故 A、B、C 三者向心加速度的大小关系为 $a_C > a_A > a_B$,故 B 错误;若 B 突然脱离电梯,因其线速度小于同轨道的卫星的线速度,则所需向心力小于万有引力,将做近心运动,故 C 错误,D 正确。

9. BCD 【解析】飞船需要通过在 P 点加速做离心运动,才能从停泊轨道进入转移轨道,故 A 错误;设天和核心舱的向心加速度大小为 a,有 $G \frac{Mm}{(R+h)^2} = ma$,地表物体受的重力为 $G \frac{Mm_0}{R^2} = m_0 g$,解得 $a = \left(\frac{R}{R+h}\right)^2 g$,故 B 正确;飞船在停泊轨道运行的周期为 T,根据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 $M = \frac{4\pi^2 R^3}{GT^2}$,则地球的密度为 $\rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$,解

关键点: 近地圆轨道半径可认为等于地球半径

得 $\rho = \frac{3\pi}{GT^2}$,故 C 正确;设飞船在转移轨道运行的周期为 T_1 ,由开普勒第三定律有 $\frac{R^3}{T^2} = \frac{\left(\frac{2R+h}{2}\right)^3}{T_1^2}$,整理可得 $T_1 = T \sqrt{\left(1 + \frac{h}{2R}\right)^3}$,故飞船在转移轨道上从 P 点运行到 Q 点所需的时间为 $T_{PQ} = \frac{1}{2} T_1 = \frac{T}{2} \sqrt{\left(1 + \frac{h}{2R}\right)^3}$,故 D 正确。

10. BD 【解析】设地球半径为 R,则 $\sin \frac{\theta_1}{2} = \frac{R}{r_a}$, $\sin \frac{\theta_2}{2} = \frac{R}{r_b}$,又 $2\sin \frac{\theta_1}{2} = \sin \frac{\theta_2}{2}$,则 $r_a = 2r_b$,A 错误;由开普勒第三定律得 $\frac{r_a^3}{T_a^2} = \frac{r_b^3}{T_b^2}$, $T_a = T_0$,解得 $T_b = \frac{T_0}{2\sqrt{2}}$,B 正确;b 卫星的角速度 $\omega_b = \frac{2\pi}{T_b} = \frac{4\sqrt{2}\pi}{T_0}$,C 错误;如图所示,由于地球遮挡 a、b 卫星之间信号会周期性中断,故在一个通信周期内,a、b 卫星通信中断的时间为 t,有 $(\omega_b - \omega_a)t = 2\alpha$,由几何关系知 $\frac{\theta_1}{2} + \frac{\theta_2}{2} = \alpha$,解得 $t = \frac{(\theta_1 + \theta_2)T_0}{2\pi(2\sqrt{2} - 1)}$,D 正确。



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

【解析】(1) 设月球表面的重力加速度为 g,由万有引力等于重力有 $mg = G \frac{Mm}{R^2}$,由题图乙可知,当探测车速度为 0 时,探测车对月球表面的压力为 a,则有 $a = mg$,联立可得 $M = \frac{R^2 a}{Gm}$ 。

(2) 在月球表面附近,由万有引力提供向心力,可得 $G \frac{Mm}{R^2} =$

$$m \frac{v^2}{R}, \text{ 其中 } M = \frac{R^2 a}{Gm}, \text{ 可得 } v = \sqrt{\frac{Ra}{m}}.$$

(3) 车对月球表面的压力 F_N 与月球表面对车的支持力等大反向,故探测器在陨石坑最低点处,有 $F_N - mg = m \frac{v^2}{r}$,

$$\text{即 } F_N = \frac{m}{r} v^2 + mg,$$

$$\text{由题图乙知 } \frac{m}{r} = \frac{b-a}{c}, \text{ 可得 } r = \frac{mc}{b-a}.$$

12. (1) 5 m (2) $\frac{R_0}{5}$

【解析】(1) 设该星球质量为 M_0 , 地球质量为 M_1 , 半径为 R_1 , 对任意星球表面的物体, 万有引力与重力大小相等, 则 $G \frac{Mm}{R^2} = mg$, 可得 $g = G \frac{M}{R^2}$,

在星球表面平抛一物体, 有 $h = \frac{1}{2} g t^2$, $x = v_0 t$,

$$\text{解得 } x = v_0 R \sqrt{\frac{2h}{GM}},$$

设平抛物体在该星球和地球的水平射程分别为 x_1 和 x_2 , 得

$$\frac{x_1}{x_2} = \sqrt{\frac{M_1}{M_0}}, \text{ 代入数据解得 } x_1 = 5 \text{ m}.$$

(2) 起飞前对探测器有 $N_1 = m_0 g_0$,

在高 h 处时对探测器根据牛顿第二定律得 $N_2 - m_0 g_1 = m_0 a$,

$$\text{由题意得 } \frac{N_2}{N_1} = \frac{31}{36}, a = \frac{1}{6} g_0, \text{ 联立得 } g_1 = \frac{25}{36} g_0,$$

在该星球表面有 $G \frac{M_0 m}{R_0^2} = m g_0$, 在高 h 处有 $\frac{G M_0 m}{(R_0 + h)^2} = m g_1$,

$$\text{联立可得 } \frac{g_0}{g_1} = \frac{(R_0 + h)^2}{R_0^2}, \text{ 解得 } h = \frac{R_0}{5}.$$

13. (1) $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ (2) $\frac{3\pi}{GT_0^2}$ (3) $2\pi \sqrt{\frac{R^3}{GM}}$

思路导引 (1) 根据万有引力提供向心力列式求解线速度;

(2) 根据万有引力提供向心力求解质量, 结合质量和密度的公式列式求解最小密度;

(3) 根据题意求出在 $r \leq R$ 区域的质量, 再根据万有引力提供向心力列式求解周期.

【解析】(1) 由万有引力提供向心力有 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$,

$$\text{解得 } v = \sqrt{\frac{GM}{r}} (r > R).$$

(2) 设螺旋星系的半径为 R' , 质量为 M' , 对星系最外端质量为 m 的物质, 由万有引力提供向心力, 得 $G \frac{M' m}{R'^2} = m \frac{4\pi^2 R'}{T_0^2}$,

$$\text{解得 } M' = \frac{4\pi^2 R'^3}{GT_0^2},$$

体积为 $V = \frac{4}{3} \pi R'^3$, 则该螺旋星系不会瓦解的最小密度为

$$\rho = \frac{M'}{V} = \frac{4\pi^2 R'^3}{GT_0^2} \times \frac{3}{4\pi R'^3} = \frac{3\pi}{GT_0^2}.$$

(3) 在 $r \leq R$ 区域星系的质量 $M_0 = \frac{M}{\frac{4}{3} \pi R^3} \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{Mr^3}{R^3}$, 对

P 处的恒星, 由万有引力提供向心力得 $G \frac{M_0 m}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$, 解

$$\text{得 } T = 2\pi \sqrt{\frac{R^3}{GM}}.$$

14. (1) 0.95 (2) 1.04 年 (3) 0.95m

【解析】(1) 由万有引力定律有 $F = G \frac{Mm}{r^2}$,

对地球有 $F_{\text{地}} = G \frac{Mm_{\text{地}}}{r_{\text{地}}^2}$, 对土星有 $F_{\text{土}} = G \frac{Mm_{\text{土}}}{r_{\text{土}}^2}$,

$$\text{联立得 } \frac{F_{\text{地}}}{F_{\text{土}}} = \frac{m_{\text{地}}}{m_{\text{土}}} \times \frac{r_{\text{土}}^2}{r_{\text{地}}^2} = 0.95.$$

(2) 行星绕太阳转动, 万有引力提供向心力, 可得 $G \frac{Mm}{r^2} =$

$$m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r, \text{ 得 } T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}, \text{ 代入数据得土星的公转周期}$$

$$T_{\text{土}} = \sqrt{\frac{r_{\text{土}}^3}{r_{\text{地}}^3}} T_{\text{地}} \approx 29 \text{ 年},$$

设每隔时间 t 出现一次土星冲日, 则有 $(\omega_{\text{地}} - \omega_{\text{土}})t = 2\pi$,

突破点: 也可由 $\frac{t}{T_{\text{地}}} - \frac{t}{T_{\text{土}}} = 1$ 求解

$$\omega = \frac{2\pi}{T}, \text{ 整理可得 } t = \frac{T_{\text{地}} T_{\text{土}}}{T_{\text{土}} - T_{\text{地}}} = \frac{29 \times 1}{29 - 1} \text{ 年} = 1.04 \text{ 年}.$$

(3) 在地球表面上有 $G \frac{m_{\text{地}} m}{R_{\text{地}}^2} = m g_{\text{地}}$, 在土星表面上有

$$G \frac{m_{\text{土}} m}{R_{\text{土}}^2} = m g_{\text{土}}, \text{ 联立得 } \frac{g_{\text{地}}}{g_{\text{土}}} = \frac{m_{\text{地}}}{m_{\text{土}}} \times \frac{R_{\text{土}}^2}{R_{\text{地}}^2} = 0.95,$$

设航天员在土星上举起物体的质量为 m' , 则 $m g_{\text{地}} = m' g_{\text{土}}$,

关键点: 航天员能举起的最大物体重力的
大小是相同的

可得 $m' = 0.95m$.

第4章高考强化

刷真题

1. 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 $G \frac{M_{\text{恒}} m_{\text{行}}}{r_{\text{行}}^2} = m_{\text{行}} \frac{4\pi^2}{T_{\text{行}}^2} r_{\text{行}}$,

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

2. 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 $T_{\text{甲}} < T_{\text{乙}}$, $v_{\text{甲}} > v_{\text{乙}}$, $\omega_{\text{甲}} > \omega_{\text{乙}}$, $a_{\text{甲}} > a_{\text{乙}}$, A 正确.

方法总结 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.

溯源真题 本题与 2024 年福建卷第 5 题相似, 都给定绕同一中心天体的两个轨道半径不同的卫星(行星), 比较两个卫星(行星)其他物理量之间的大小关系, 考查了万有引力定律的应用.

3. C 【解析】地球与月球的引力性质和地球表面的物体因引力而产生的重力性质相同,且满足 $F \propto \frac{Mm}{r^2}$,假定系数为 $k(k > 0)$,则 $F = k \frac{Mm}{r^2}$. 对地球表面附近的物体,有 $k \frac{Mm_0}{R^2} = m_0 g$ (R 是地球半径);对月球绕地球的运动,有 $k \frac{Mm}{r^2} = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r$,又 $r = 60R$,联立解得月球绕地球公转的周期 $T = 120 \pi \sqrt{\frac{r}{g}}$, **C 正确**.

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

5. D 【解析】由牛顿第二定律 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2 r}{T^2}$,解得 $M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$,根据开普勒第三定律 $\frac{a^3}{T^2} = k$ 可知,该中继星绕月球运行时,对于半长轴为 a 的椭圆轨道与半径为 a 的圆轨道,卫星的运行周期相同,均为 24 小时,解得 $\frac{M_{\text{月}}}{M_{\text{地}}} = \frac{a^3}{r^3}$, **D 正确**.

6. 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, **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, **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, **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 $\frac{a_1}{a_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} = \frac{1}{0.36}$, **D 错误**.

7. 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 $\frac{T_1^2}{r^3} = \frac{a^3}{r^3}$,解得 $T_1 = \sqrt{\frac{a^3}{r^3}} T = \sqrt{6^3} T = 6\sqrt{6}$ 年, **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, **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, **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 $\frac{a_{\text{近}}}{a_{\text{地}}} = \frac{r^2}{(5r)^2} = \frac{1}{25}$, **D 正确**.

8. B 【解析】由万有引力定律得 $G \frac{Mm}{r^2} = mg$,可得 $g = \frac{GM}{r^2}$,则

$\frac{g_{\text{火}}}{g} = \frac{M_{\text{火}}}{M_{\text{地}}} \cdot \frac{r_{\text{地}}^2}{r_{\text{火}}^2} = 0.1 \times \frac{1}{0.5^2} = 0.4$,解得 $g_{\text{火}} = 0.4g$,由匀变速直线运动规律得,着陆器的加速度大小 $a = \frac{v_0}{t_0}$,由牛顿第二定律得 $F - mg_{\text{火}} = ma$,联立解得 $F = m \left(0.4g + \frac{v_0}{t_0} \right)$, **B 正确**.

9. 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小于地球第一宇宙速度, **A 错误, B 正确**;设返回舱绕星球飞行周期为 T ,由万有引力提供向心力得 $G \frac{Mm}{R^2} = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 R$,在星球表面附近有 $\frac{GMm}{R^2} = mg$,联立可得周期 $T = 2\pi \sqrt{\frac{R^3}{GM}} = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$,则 $\frac{T_{\text{月}}}{T_{\text{地}}} = \sqrt{\frac{R_{\text{月}}}{R_{\text{地}}} \cdot \frac{g_{\text{地}}}{g_{\text{月}}}} = \sqrt{\frac{3}{2}}$, **C 错误, D 正确**.

10. A 【解析】由题意可知,相邻两次信号最强的时间间隔为 $t = \frac{T}{2}$,由 $\frac{t}{T_{\text{卫}}} - \frac{t}{T} = 1$,可得 $T_{\text{卫}} = \frac{T}{3}$,由 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T_{\text{卫}}^2} r$ 得 $r = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{36\pi^2}}$, **A 正确**.

关键点: 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

11. 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, **A 错误**;在 A 点,根据牛顿第二定律,有 $G \frac{Mm}{(r_{\text{OA}})^2} = ma_A$,在 B 点,根据牛顿第二定律,有 $G \frac{Mm}{(r_{\text{OB}})^2} = ma_B$,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 $a_A : a_B = 81 : 1$, **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, **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 , **D 正确**.

12. BC 【解析】卫星甲和卫星乙均绕月球运动,周期相同,根据开普勒第三定律可知,卫星甲运动的轨道的半长轴与卫星乙运动的轨道半径相同,即 $\frac{a+b+2R}{2} = r$,可得 $r = \frac{a+b}{2} + R$, **A 错误, B 正确**;卫星乙绕月球做匀速圆周运动,由万有引力提供向心力,可得 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$,解得 $M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$, **C 正确, D 错误**.

13. D 【解析】设月球与地球的距离为 r_1 ,月球半径为 R_1 ,地球与太阳距离为 r_2 ,太阳的半径为 R_2 .

等量关系一:月球绕地球运动,有 $\frac{GM_{\text{地}} M_{\text{月}}}{r_1^2} = M_{\text{月}} \left(\frac{2\pi}{T_1} \right)^2 r_1$,地球绕太阳运动,有 $\frac{GM_{\text{地}} M_{\text{太}}}{r_2^2} = M_{\text{地}} \left(\frac{2\pi}{T_2} \right)^2 r_2$,两式联立有 $\frac{M_{\text{地}}}{M_{\text{太}}} = \frac{r_1^3}{r_2^3} \cdot \frac{T_2^2}{T_1^2}$.

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

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

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

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

刷原创

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

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

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

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

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

第5章 科学进步无止境

第1~3节 初识相对论/相对论中的神奇时空/探索宇宙的奥秘

刷基础

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

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

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

方法总结 长度收缩效应的规律及判定

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

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

(2) 相对于地面以速度 v 运动的物体,从地面上看:

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

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

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

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

模块素养检测

刷速度

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

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