

第四章 第九节 卫星运动的三类问题 变轨和对接、追及和相遇、双星和多星

【基础落实】

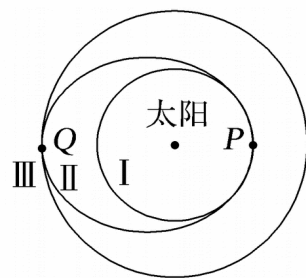
1. 北京时间 2025 年 11 月 1 日 3 时 22 分, 神舟二十一号载人飞船升空约 3.5 h 后采用快速交会对接模式, 成功与中国空间站天和核心舱前向端口完成对接形成三船三舱组合体, 下列说法中正确的是()

- A. 为实现对接, 两者运行速度的大小都应介于第一宇宙速度和第二宇宙速度之间
- B. 为实现对接, 应先让飞船和天和核心舱处于同一轨道上, 然后点火加速
- C. 若对接前飞船在较低轨道上做匀速圆周运动, 对接后飞船速度和运行周期都变大
- D. 若对接前飞船在较低轨道上做匀速圆周运动, 对接后飞船机械能和运行周期都变大

2. (2026·湖北恩施模拟) 中国首次火星探测任务工程总设计师表示, 我国将在 2028 年实施天问三号火星探测与取样返回任务。天问三号探测器从地球发射后第一次变轨进入地火转移轨道, 逐渐远离地球, 成为一颗人造行星, 运行轨迹简化如图所示, I 是地球运行圆轨道, II 是地火转移椭圆轨道, III 是火星运行圆轨道, 轨道 I 与轨道 II 相切于 P 点, 轨道 II 与轨道 III 相切于 Q 点。已知火星密度为地球密度的 $\frac{7}{10}$, 火星自身半径为地球自身半径的 $\frac{1}{2}$, 地球表面重力加速度大小为 g , 则()

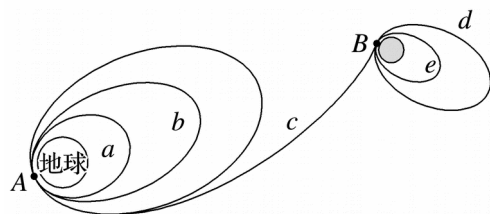
- A. P 点处, 天问三号在轨道 I 上的加速度小于在轨道 II 上的加速度
- B. Q 点处, 天问三号在轨道 II 变轨到轨道 III 需要向前喷气
- C. 天问三号在轨道 I、II、III 上运动的全过程中, 在轨道 II 上 P 点处运行速度最大

- D. 火星表面的重力加速度大小约为 $\frac{7}{10}g$



3. (2025·广东珠海市一模) 如图所示为嫦娥六号探月飞行器发射过程简化示意图, 长征五号先将嫦娥六号送入轨道 a 。在 A 点变速后进入轨道 b , 最终进入地月转移轨道 c , 在 B 点变速后进入环月轨道 d , 多次调整速度最终着陆于月球背面。关于嫦娥六号的运动, 下列说法正确的是()

- A. 从轨道 a 转移到轨道 b 时需要在 A 点减速
- B. 从轨道 d 转移到轨道 e 时需要在 B 点加速
- C. 在轨道 b 上通过 A 点时的速度小于第二宇宙速度
- D. 在轨道 a 上运行的周期大于在轨道 b 上运行的周期

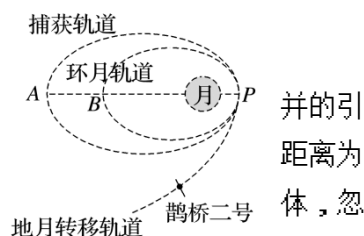


【能力提升】

4. (2024·深圳市二模) 2024 年 3 月 20 日, 长征八号遥三运载火箭成功发射, 将鹊桥二号直接送入预定地月转移轨道。如图所示, 鹊桥二号在进入近月点 P、远月点 A 的月球捕获椭圆轨道, 开始绕月球飞行。经过多次轨道控制, 鹊桥二号最终进入近月点 P 和远月点 B、周期为 24 小时的环月椭圆轨道。关于鹊桥二号的说法正确的是()

- A. 离开火箭时速度大于地球的第三宇宙速度
- B. 在捕获轨道运行的周期大于 24 小时
- C. 在捕获轨道上经过 P 点时, 需要点火加速, 才可能进入环月轨道
- D. 经过 A 点的加速度比经过 B 点时大

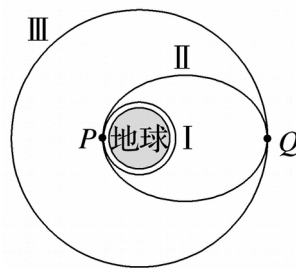
5. (多选) (2024·揭阳市二模) 2017 年, 人类第一次直接探测到来自双中子星合并的引力波。根据科学家们复原的过程, 在两颗中子星合并前约 100 秒时, 它们间的 r , 绕两者连线上的某点每秒转动 n 圈, 将两颗中子星都看作质量均匀分布的球, 忽略其他星体的影响, 已知引力常量为 G , 下列说法正确的是()



- A. 两颗中子星转动的周期均为 n 秒
 B. 两颗中子星转动时所需向心力与它们的转动半径成正比
 C. 两颗中子星的转动半径与它们的质量成反比

$$\frac{4\pi^2 n^2 r^3}{G}$$

- D. 两颗中子星的质量之和为 G



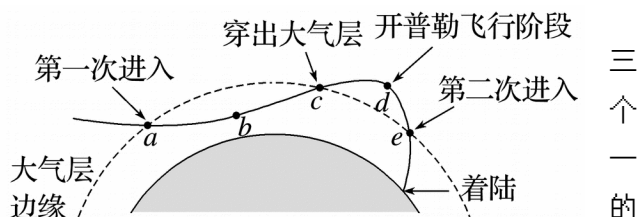
6. 2024 年 6 月 25 日，嫦娥六号返回器准确着陆于预定区域，实现世界首次月球背面采样返回。嫦娥六号返回器从月球归来初入大气层时的速度可以接近第二宇宙速度，为避免高速带来的高温过载风险，采用了“半弹道跳跃式返回”减速技术。如图所示，返回器从 a 点第一次进入大气层，调整返回器姿态，使其经 b 点升高，再从 c 点“跳”出大气层，在太空中潇洒地打个“水漂”，升高到距地面高度为 h 的 d 点后，再次从 e 点进入大气层返回地球。假设返回器从 c 点到 e 点的过程为无动力飞行。已知地球表面重力加速度为 g ，地球的半径为 R ，引力常量为 G 。结合以上信息，下列说法正确的是()

- A. 从 a 点到 c 点的过程中，返回器机械能守恒
 B. 在 d 点，返回器的速度大于第一宇宙速度

- C. 在 d 点，返回器的加速度大小为 $\frac{gR^2}{(R+h)^2}$

- D. 在 e 点返回器处于超重状态

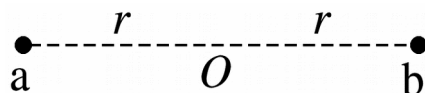
7. (2024·重庆卷·7) 在万有引力作用下，太空中的某个天体可以做相对位置不变的圆周运动，假设 a 、 b 两天体的质量均为 M ，相距为 $2r$ ，其连线的中点为 O ，另天体(图中未画出)质量为 m ($m \ll M$)，若 c 处于 a 、 b 连线的垂直平分线上某特殊位置， a 、 b 、 c 可视为绕 O 点做角速度相同的匀速圆周运动，且相对位置不变，忽略其他天体的影响，引力常量是 G ，则()



- A. c 的线速度大小为 a 的 $\sqrt{3}$ 倍
 B. c 的向心加速度大小为 b 的一半
 C. c 在一个周期内的路程为 $2\pi r$

- D. c 的角速度大小为 $\sqrt{\frac{GM}{8r^2}}$

8. (多选)(2025·广东广州市三模) 2024 年 8 月 22 日，中星 4A 卫星顺利进入预定轨道，如图所示为质量为 m_0 的中星 4A 卫星发射变轨过程的简化示意图，其中轨道 I 为近地圆形轨道，轨道 II 为距离地面高度为 $6R$ 的圆形轨道，轨道 III 为椭圆轨道，轨道 II 与轨道 I 和轨道 III 分别相切于 P 点和 Q 点。已知地球半径为 R ，地球表面的重力加速度为 g ，忽略地球自转的影响。若取无穷远处引力势能为零，质量为 m 的物体在距离地球球心为 r 时的引力势能 $E_p = -\frac{GMm}{r}$ (M 为地球的质量)，下列说法正确的是()



$$\frac{GMm}{r}$$

- A. 中星 4A 卫星在轨道 II 上经过 P 点的速度大于经过 Q 点的速度

- B. 中星 4A 卫星在轨道 III 上的动能为 $\frac{m_0 g R}{14}$

C.中星 4A 卫星从轨道Ⅰ运动到轨道Ⅲ机械能增加了 $\frac{3m_0 g R}{7}$

D.中星 4A 卫星在轨道Ⅱ上运行的周期是在轨道Ⅲ上运行的周期的 $(\frac{4}{7})^3$

【思维拓展】

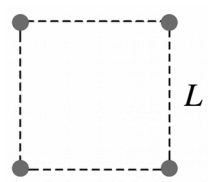
9.如图为一种四颗星体组成的稳定星系，四颗质量均为 m 的星体位于边长为 L 的正方形四个顶点，四颗星体在同一平面内围绕同一点做匀速圆周运动，忽略其他星体对它们的作用，引力常量为 G 。下列说法中正确的是()

A.星体匀速圆周运动的圆心不一定是正方形的中心

B.每个星体匀速圆周运动的角速度均为 $\sqrt{\frac{(4+\sqrt{2}) G m}{2L^3}}$

C.若边长 L 和星体质量 m 均是原来的两倍，星体匀速圆周运动的两倍

D.若边长 L 和星体质量 m 均是原来的两倍，星体匀速圆周运动的两倍



加速度大小是原来的

线速度大小是原来的

10.(2025·广东深圳市三模)太阳系各行星几乎在同一平面内沿同一方向绕太阳做圆周运动。当地球恰好运行到某地外行星和太阳之间，且三者几乎排成一条直线的现象，称为“行星冲日”。已知地球及各地外行星绕太阳运动的轨道半径如表所示。根据表中信息，可以判断()

	地球	火星	木星	土星	天王星	海王星
轨道半径 R/AU	1.0	1.5	5.2	9.5	19	30

A.火星相邻两次冲日的时间间隔大于两年

B.某些地外行星一年中可能会出现两次冲日现象

C.天王星相邻两次冲日的时间间隔约为土星的一半

D.地外行星中，海王星相邻两次冲日的时间间隔最长

参考答案：第四章 第九节 卫星运动的三类问题

题号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
答案	D	C	C	B	CD	C	A	ABC	B	A

1.答案 D 解析两者运行速度的大小都应小于第一宇宙速度,故 A 错;为实现对接,应先让飞船处于较低轨道上,

然后点火加速到高轨道实现对接,故 B 错;对接后飞船轨道变高,速度变小,运行周期变大,机械能变大,故 C 错,D 正确。

2.答案 C 解析 根据 $G \frac{Mm}{r^2} = ma$,可知 $a = \frac{GM}{r^2}$,在 P 点处,天问三号在轨道 I 上的加速度等于在轨道 II 上的加速度,故 A 错误;天问三号在轨道 II 上的 Q 点做离心运动,需加速才能进入轨道 III 做圆周运动,需要向后喷气,故 B 错误;根据开普勒第二定律可知,在近日点的速度大于远日点的速度,可知天问三号在轨道 II 上 Q 点速度小于 P 点速度,天问三号在轨道 I 上的 P 点做圆周运动,需加速才能进入轨道 II,可知天问三号在轨道 I 上 P 点速度小于在轨道 II 上 P 点速度,天问三号在轨道 I 和轨道 III 上均绕太阳做圆周运动,其线速度满足 $\frac{GMm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$,解得 $v =$

$\sqrt{\frac{GM}{r}}$,轨道 III 半径大,则天问三号在轨道 III 上运行的速度小于在轨道 I 上运行的速度,综上可知,天问三号在轨道 II

上 P 点处运行速度最大,故 C 正确;天体表面的重力加速度 $g = \frac{GM}{R^2}$,又 $M = \rho \cdot \frac{4}{3} \pi R^3$,代入得 $g = \frac{4\pi G \rho R}{3}$,因

此 $g_{\text{火}} = \frac{7}{20} g$,故 D 错误。

3 答案 C 解析 卫星从低轨道变轨到高轨道需要在变轨处点火加速,则嫦娥六号从轨道 a 转移到轨道 b 时需要在 A 点加速,故 A 错误;卫星从高轨道变轨到低轨道需要在变轨处点火减速,则嫦娥六号从轨道 d 转移到轨道 e 时需要在 B 点减速,故 B 错误;在轨道 b 上卫星绕地球做椭圆运动,没有脱离地球引力的约束,所以嫦娥六号在轨道 b 上通过 A 点时的速度小于第二宇宙速度,故 C 正确;根据开普勒第三定律 $\frac{a^3}{T^2} = k$,由于轨道 a 的半长轴小于轨道 b 的半长轴,则嫦娥六号在轨道 a 上运行的周期小于在轨道 b 上运行的周期,故 D 错误。

4 答案 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, A 错误;由开普勒第三定律 $\frac{r^3}{T^2} = k$,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, B 正确;在 P 点由捕获轨道变轨到环月轨道,要做近心运动,必须降低速度,经过 P 点时,需要点火减速, C 错误;根据万有引力提供向心力知 $G \frac{Mm}{r^2} = ma$,解得 $a = \frac{GM}{r^2}$,则经过 A 点的加速度比经过 B 点时小,

5.答案 CD 解析 两颗中子星转动过程中角速度相等,周期也相等,根据题意绕两者连线上的某点每秒转动 n 圈,则周期 $T = \frac{1}{n}$ 秒,故 A 错误;设两颗星的质量分别为 m_1 、 m_2 ,两颗中子星转动时所需的向心力由二者之间的万有引力提供,即向心力大小均为 $F_n = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$,故 B 错误;设两颗星的轨道半径分别为 r_1 、 r_2 ,根

据万有引力提供向心力可知 $F_n = G \frac{m_1 m_2}{r^2} = m_1 \omega^2 r_1 = m_2 \omega^2 r_2$,可知 $\frac{m_1}{m_2} = \frac{r_2}{r_1}$,即两颗中子星的转动半径与它

们的质量成反比。同时上述向心力公式化简可得 $m_1+m_2=\frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}=\frac{4\pi^2 n^2 r^3}{G}$ ，故 C、D 正确。

6 答案 C 解析 嫦娥六号返回器从 a 点到 c 点的过程中，空气阻力做功，机械能不守恒，A 错误；嫦娥六

号返回器经过 d 点后做近心运动，有 $G\frac{Mm}{\frac{R+h}{\rho}}>m\frac{v^2}{R+h}$ ，即 $v<\sqrt{\frac{GM}{R+h}}$ ，又因为第一宇宙速度为 $v_1=$

$\sqrt{\frac{GM}{R}}$ ，故 $v<v_1$ ，B 错误；在 d 点，由牛顿第二定律有 $G\frac{Mm}{\frac{R+h}{\rho}}=ma$ ，又 $GM=gR^2$ ，联立可得 $a=$

$\frac{R+h}{\rho}\frac{gR^2}{R^2}$ ，C 正确；在 e 点返回器加速度有向下的分量，故返回器处于失重状态，D 错误。

7. 答案 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 $G\frac{2Mr}{MM}=M\omega^2 r$ ，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 $2G\frac{r}{\sin\alpha}\frac{Mm}{MM}\cos\alpha=m\omega^2$

$\frac{r}{\tan\alpha}$ ，解得 $\alpha=30^\circ$ ，则 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。

8 答案 ABC 解析 根据开普勒第二定律可知，卫星在近地点(P 点)的速度大于在远地点(Q 点)的速度，故 A

正确；在地球表面放一质量为 m 的物体，有 $\frac{GMm}{R^2}=mg$ ，卫星在轨道Ⅲ上，有 $\frac{7R}{GMm_0}=\frac{m_0 v^2}{7R}$ ，故动

能 $E_{k3}=\frac{1}{2}m_0 v^2=\frac{m_0 gR}{14}$ ，故 B 正确；卫星在轨道Ⅲ上的机械能 $E_3=E_{k3}+E_{p3}=\frac{m_0 gR}{14}-\frac{GMm_0}{7R}=-$

$\frac{m_0 gR}{14}$ ，同理，在轨道 I 上，有 $\frac{GMm_0}{R^2}=\frac{m_0 v_1^2}{R}$ ，动能 $E_{k1}=\frac{1}{2}m_0 v_1^2=\frac{m_0 gR}{2}$ ，机械能

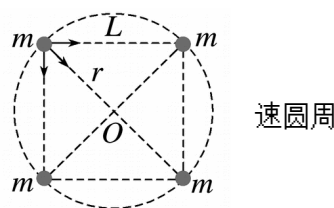
$E_1=E_{k1}+E_{p1}=\frac{m_0 gR}{2}-\frac{GMm_0}{R}=-\frac{m_0 gR}{2}$ ，卫星从轨道 I 运动到轨道Ⅲ机械能增加了 $\Delta E=E_3-E_1=\frac{3m_0 gR}{7}$

,故 C 正确;轨道Ⅱ的半长轴 $a = \frac{R+7R}{2} = 4R$,由开普勒第三定律有 $\frac{T_2^2}{T_3^2} = \frac{7R^3}{4^3 R^3}$,解得 $\frac{T_2}{T_3} = (\frac{7}{4})^{\frac{1}{2}}$

$\frac{4}{7}^{\frac{3}{2}}$,故 D 错误。

9 答案 B 解析 四颗星体在同一平面内围绕同一点做匀速圆周运动,如图,根据对称性可知星体做匀速圆周运动的圆心一定是正方形的中心,故 A 错误;由牛顿第二定律及力的合成可得 $2 \times \frac{Gm^2}{L^2} \cos 45^\circ +$

$\frac{\sqrt{2}L}{Gm^2} = m\omega^2 L \cos 45^\circ$,解得 $\omega = \sqrt{\frac{(4+\sqrt{2})Gm}{2L^3}}$,由对称性可知每个星体运动的角速度均为 $\sqrt{\frac{(4+\sqrt{2})Gm}{2L^3}}$,故 B 正确;原来星体匀速圆周运动的加速度大小为 $a = \omega^2 \times \frac{\sqrt{2}L}{2} =$



$\frac{(2\sqrt{2}+1)Gm}{2L^2}$,若边长 L 和星体质量 m 均是原来的两倍,星体匀速圆周运动的加速度大小为 $a' =$

$\frac{2L}{(2\sqrt{2}+1)G(2m)} = \frac{(2\sqrt{2}+1)Gm}{4L^2} = \frac{a}{2}$,故 C 错误;原来星体匀速圆周运动的线速度大小为 $v = \omega \times$

$\frac{\sqrt{2}L}{2} = \sqrt{\frac{(4+\sqrt{2})Gm}{4L}}$,若边长 L 和星体质量 m 均是原来的两倍,星体匀速圆周运动的线速度大小为 $v' =$

$\sqrt{\frac{(4+\sqrt{2})G(2m)}{4(2L)}}$,故 D 错误。

10 答案 A 解析 根据开普勒第三定律有 $\frac{R_{行}^3}{T_{行}^2} = \frac{R_{地}^3}{T_{地}^2}$,解得行星的公转周期为 $T_{行} = T_{地} \sqrt{\frac{R_{行}^3}{R_{地}^3}}$,

根据表格中数据计算出火星、木星、土星、天王星、海王星的周期分别为 $T_{火} = \sqrt{1.5^3}$ 年 ≈ 1.84 年, $T_{木} = \sqrt{5.2^3}$ 年 ≈ 11.86 年, $T_{土} = \sqrt{9.5^3}$ 年 ≈ 29.28 年, $T_{天} = \sqrt{19^3}$ 年 ≈ 82.82 年, $T_{海} = \sqrt{30^3}$ 年 ≈ 164.32 年,设相

邻两次冲日的时间间隔为 t ,则有 $\frac{2\pi}{T_{地}} - \frac{2\pi}{T_{行}} t = 2\pi$,解得 $t = \frac{T_{行}T_{地}}{T_{行} - T_{地}}$,计算出火星、木星、土星、天王

星、海王星相邻两次冲日的时间间隔分别为 $t_{火} \approx 2.19$ 年, $t_{木} \approx 1.09$ 年, $t_{土} \approx 1.04$ 年, $t_{天} \approx 1.01$ 年, $t_{海} \approx 1.006$ 年,可知火星相邻两次冲日的时间间隔大于两年,故 A 正确;结合上述可知,所有行星相邻两次冲日的时间间隔均超过 1 年,一年内不可能出现两次冲日,故 B 错误;结合上述可知,天王星相邻两次冲日的时间间隔(1.01 年)并非土星相邻两次冲日的时间间隔(1.04 年)的一半,故 C 错误;结合上述可知,海王星相邻两次冲日的时间间隔最

短(约 1.006 年), 故 D 错误。