



黄埔教研
HUANGPU JIAOYAN

高三一轮复习课

第四章 曲线运动、万有引力、宇宙航行

第9节 卫星运动的三类问题

广州知识城中学 林秀连



CONTENT

目录

01

考点一：卫星的变轨和对接

02

考点二：卫星的追及和共线

03

考点三：双星或多星模型

1. 卫星发射模型

人造卫星的发射过程一般要经过多次 **变轨** 方可到达预定轨道，如图所示。

(1) 为了节省能量，在赤道上顺着地球自转方向先发射卫星到圆轨道 I 上；

卫星在轨道 I 上做匀速圆周运动，有 $G = m$ 。

卫星在轨道 I 上做匀速圆周运动，有 $G \frac{Mm}{r_1^2} = m \frac{v^2}{r_1}$ 。

(2) 在 A 点（近地点）点火加速，由于速度变大，所需向心力变大，

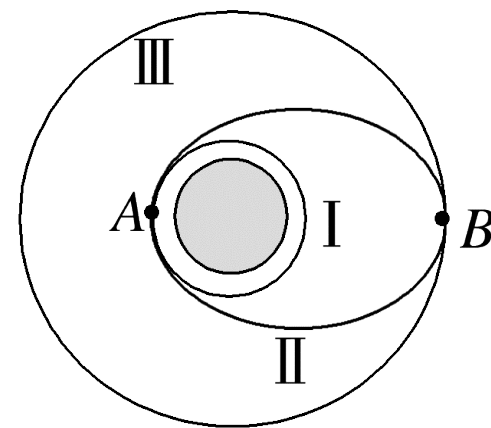
$G < m$ ，卫星做 **离心运动** 进入椭圆轨道 II。

$G \frac{Mm}{r_1^2} < m \frac{v_A^2}{r_1}$ ，卫星做 **离心运动** 进入椭圆轨道 II。

(3) 从 A 点运动到 B 点，引力做负功，动能减小。在椭圆轨道 B 点

(远地点)， $G \frac{Mm}{r_2^2} > m \frac{v_B^2}{r_2}$ ，将做近心运动，再次点火加速，使 $G = m$ ，进入圆轨道 III。

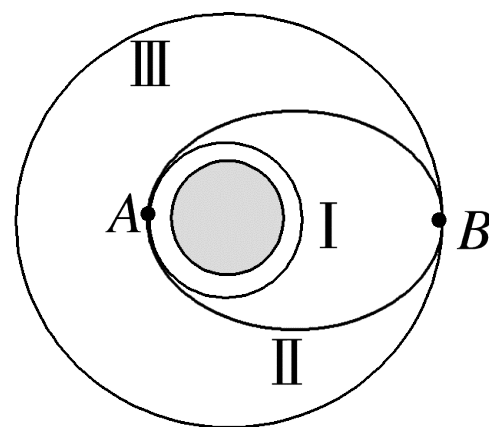
将做近心运动，再次点火加速，使 $G \frac{Mm}{r_2^2} = m \frac{v_B'^2}{r_2}$ ，进入圆轨道 III。



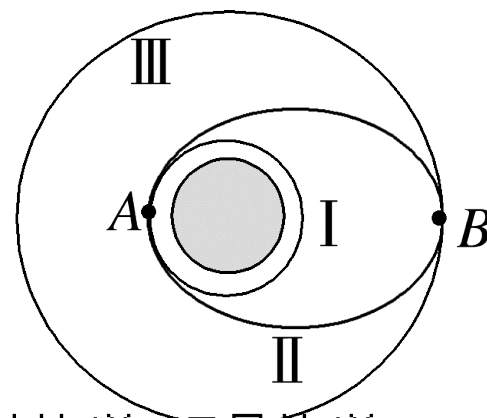
讨论交流

若使在轨道Ⅲ运行的宇宙飞船返回地面，应如何操作？

答案 使飞船先减速进入椭圆轨道Ⅱ，到达近地点时，使飞船再减速进入近地圆轨道Ⅰ，之后再减速做近心运动着陆。



2. 变轨过程中几个物理量的大小比较



(1) 速度：设卫星在圆轨道 I 和 III 上运行时的速率分别 v_1 、 v_3 ，
在轨道 II 上过 A 点和 B 点速率分别为 v_A 、 v_B ，在 A 点加速，则

$v_A > v_1$ ， $v_A > v_1 > v_3 > v_B$

(2) 加速度：因为在 A 点，卫星只受到 万有引力 作用，故不论从轨道 I 还是轨道 II 在 B 点加速，则 $v_3 > v_B$ ，又因为 $v_1 > v_3$ ，故有 相同 上经过 A 点，相同

~~卫星的加速度都相同，同理，经过 B 点加速度也相同。~~
(3) 周期：设卫星在 I、II、III 轨道上运行周期分别为 T_1 、 T_2 、 T_3 ，轨道半径为 r_1 、 r_2 (半长轴)、 r_3 。由开普勒第三定律 $\frac{r^3}{T^2} = k$ ，可知有 $T_1 < T_2 < T_3$ 。
开普勒第三定律 $\frac{r^3}{T^2} = k$ ，可知有 $T_1 < T_2 < T_3$ 。

(4) 机械能：卫星在一个确定的圆 (椭圆) 轨道上运行时机械能 守恒。若在 I、II、III 轨道的机械能分别为 E_1 、 E_2 、 E_3 ，从轨道 I 到轨道 II、从轨道 II 到轨道 III，都需要点火加速， $E_1 < E_2 < E_3$

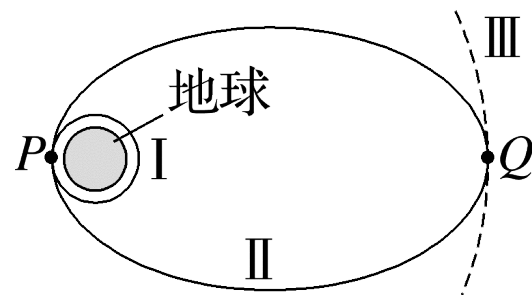
(5) 引力势能：卫星从 A 点运动到 B 点，引力做负功，引力势能增大。

$E_{pA} < E_{pB}$
设卫星在 A 点、B 点的引力势能分别为 E_{pA} 、 E_{pB} ，则 相同

例 1

(多选)(2025·广东惠州市检测)2024年5月3日,“嫦娥六号”探测器由长征五号遥八运载火箭在中国文昌航天发射场成功发射。“嫦娥六号”从地球飞往月球,采用霍曼转移轨道,这是一种较节能的轨道转移方式。如图所示为“嫦娥六号”飞往月球的简化示意图,轨道Ⅰ为绕地球的近地轨道,轨道Ⅱ为霍曼转移轨道,是一条椭圆轨道,其中 P 点为轨道Ⅱ的近地点, Q 点为轨道Ⅱ的远地点,轨道Ⅲ为月球公转轨道。下列说法正确的是(**AB**)

- A.“嫦娥六号”从轨道Ⅰ进入轨道Ⅱ,需要在 P 点加速
- B.“嫦娥六号”从轨道Ⅱ进入轨道Ⅲ,需要在 Q 点加速
- C.“嫦娥六号”在轨道Ⅱ运动时, P 处机械能大于 Q 处机械能
- D.“嫦娥六号”在轨道Ⅱ经过 Q 点的速度大于经过 P 点的速度

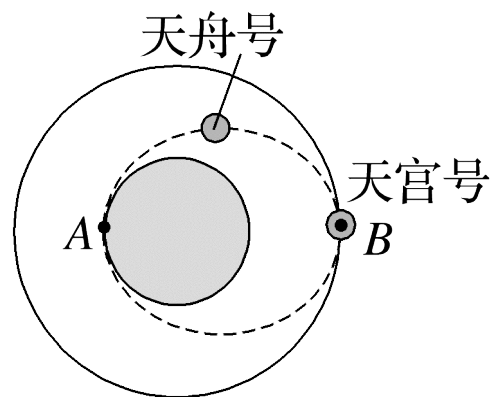
**解析**

从轨道Ⅰ进入轨道Ⅱ,需要在 P 点加速,从轨道Ⅱ进入轨道Ⅲ,需要在 Q 点加速, A、B 正确;
在轨道Ⅱ运动时,机械能守恒, P 处机械能等于 Q 处机械能, C 错误;
根据开普勒第二定律,在轨道Ⅱ经过 Q 点的速度小于经过 P 点的速度, D 错误。

变式 1-1

(2024·广东江门市一模)2023 年我国“天宫号”太空实验室实现了长期有人值守，我国迈入空间站时代。如图所示，“天舟号”货运飞船沿椭圆轨道运行，A、B 两点分别为椭圆轨道的近地点和远地点，则以下说法正确的是()

- A. “天舟号”在 A 点的线速度大于“天宫号”的线速度
- B. “天舟号”在 B 点的加速度小于“天宫号”的加速度
- C. “天舟号”在椭圆轨道的周期比“天宫号”周期大
- D. “天舟号”与“天宫号”对接前必须先减速运动



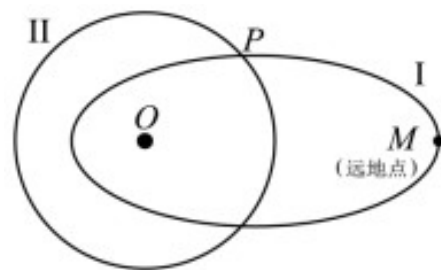
解析

以中心天体的球心为圆心，过 A 点建圆轨道。根据变轨原理可知，“天舟号”在 A 点从圆轨道加速可进入椭圆轨道。根据 $\frac{GMm}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$ ，解得 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ，可知“天舟号”在 A 点所在圆轨道的线速度大于在 B 点所在圆轨道的线速度。所以“天舟号”在 A 点的线速度大于“天宫号”的线速度，故 A 正确；
 根据 $\frac{GMm}{r^2} = ma$ ，可得 $a = \frac{GM}{r^2}$ ，可知“天舟号”在 B 点的加速度等于“天宫号”的加速度大小，故 B 错误；
 由开普勒第三定律可知，“天舟号”比“天宫号”运动周期小，故 C 错误；
 “天舟号”与“天宫号”对接前，必须先加速，做离心运动，才能与“天宫号”对接，故 D 错误。

变式 1-2

〔 2025·广东省广州市·一模 〕如图，一飞行器沿椭圆轨道 I 运行，地球位于椭圆轨道 I 的其中一个焦点 O 上。飞行器在某位置 P 瞬间喷射一定量气体后，沿圆轨道 II 运行。已知轨道 I 的半长轴大于轨道 II 的半径 **C** 则飞行器 ()

- A. 在轨道 I 上从 P 点到 M 点，机械能增大
- B. 在轨道 II 上的周期大于在轨道 I 上的周期
- C. 在轨道 II 上的速度大于在轨道 I 上经过 M 点的速度
- D. 在轨道 II 上的加速度小于在轨道 I 上经过 P 点的加速度

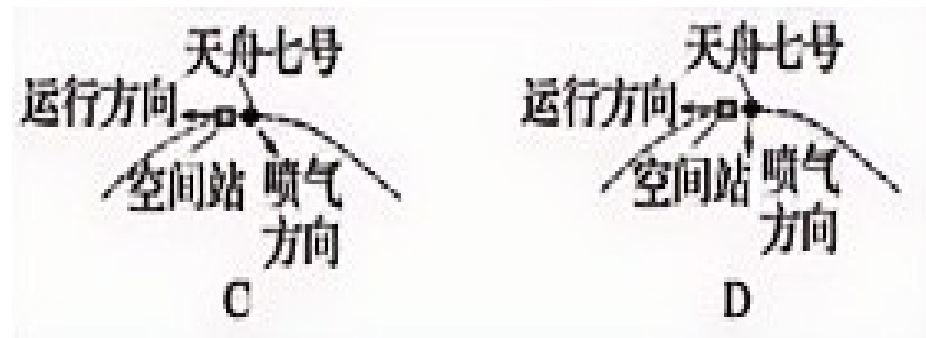
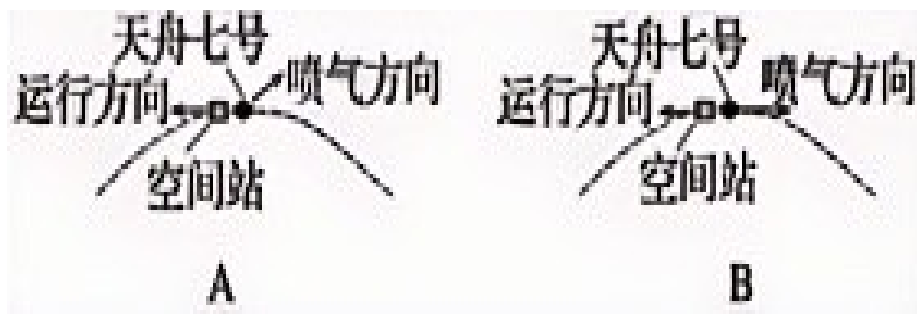


解析

A. 在轨道 I 上从 P 点到 M 点，只有万有引力做负功，飞行器的机械能守恒，故 A 错误；
 B. 根据题意可知，轨道 I 的半长轴大于轨道 II 的半径，根据开普勒第三定律可知，在轨道 II 上的周期小于在轨道 I 上的周期，故 B 错误；
 C. 以焦点 O 圆心做一个与轨道 I 远地点 M 相切的圆，将该圆看为轨道 II，轨道 II 相对于轨道 I 是高轨道，由轨道 I 变轨到轨道 II 需要在 M 点向后喷气加速，即在轨道 II 上的速度大于在轨道 I 上经过 M 点的速度，根据 $\frac{Mm}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$ 解得 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 过 M 点的速度，故 C 正确；
 根据牛顿第二定律有 $G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$ 解得 $a = \frac{GM}{r^2}$ 可知，在轨道 II 上的加速度等于在轨道 I 上经过 P 点的加速度，故 D 错误。故选 C。

变式 1-3

2024 年 1 月 18 日，天舟七号与空间站天和核心舱成功对接。在交会对接的最后阶段，天舟七号与空间站处于同一轨道上同向运动，两者的运行轨道均视为圆周。要使天舟七号在同一轨道上追上空间站实现对接，天舟七号喷射燃气的方向可能正确的是 (**A**)



解析

要想使天舟七号在与空间站的同一轨道上对接，则需要使天舟七号加速，与此同时要想不脱离原轨道，根据 $F_{\text{向}} = m$ ，则必须要增加向心力，即喷气时产生的推力一方面有沿轨道向前的分量，另一方面还要有指向地心的分量，而因喷气产生的推力方向与喷气方向相反，则图 A 是正确的。

考点二

卫星的追及和共线

1. 卫星的追及：航天飞船与宇宙空间站的“对接”实际上就是两个做匀速圆周运动物体的追及，本质仍然是变轨问题。航天器对接时，可从低轨道加速或从高轨道减速。

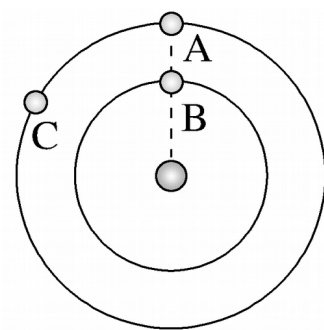
2. 天体的共线

例 2

(2026·宁夏银川一中月考)三颗人造卫星 A、B、C 都在赤道正上方沿同方向绕地球做匀速圆周运动，A、C 为地球同步卫星，某时刻 A、B 相距最近，如图所示。已知地球自转周期为 T_1 ，B 的运行周期为 T_2 ，则下列说法正确的是 ()

B

- A. A 加速可直接追上同一轨道上的 C
- B. 经过时间 $\frac{T_1 T_2}{T_1 - T_2}$ ，A、B 第一次相距最远
- C. A、C 的向心加速度大小相等，且大于 B 的向心加速度大小
- D. 在相同时间内，C 与地心连线扫过的面积等于 B 与地心连线扫过的面积



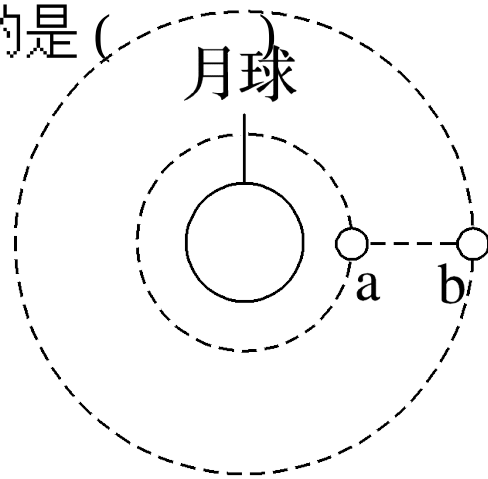
解析

A 加速将做离心运动脱离原轨道，则不能追上同一轨道上的 C，A 错误；A、B 从相距最近到第一次相距最远有 $\frac{t}{T_1} - \frac{t}{T_2} = \frac{1}{2}$ ，即 A、B 第一次相距最远，经过时间 $t = \frac{T_1 T_2}{2(T_1 - T_2)}$ ，B 正确；根据 $G \frac{Mm}{r^2} = ma$ ，可得 $a = \frac{GM}{r^2}$ ，A、C 的向心加速度大小相等，且小于 B 的向心加速度大小，C 错误；卫星 B 和卫星 C 不在同一轨道上，则在相同时间内，C 与地心连线扫过的面积不等于 B 与地心连线扫过的面积，D 错误。

变式 2-1

(2026·广东东莞市检测)中国载人登月初步方案已公布,计划2030年前实现载人登月科学探索。

假如在登月之前需要先发射两颗探月卫星进行科学探测,a、b两卫星在同一平面内绕月球的运动可视为匀速圆周运动,且绕行方向相反,如图所示,测得两卫星之间的距离 Δr 最小为 $3r$ 、最大为 $5r$, Δr 的变化周期为 T ,不考虑两卫星之间的作用力。下列说法正确的是(C)



A:a、b两卫星的线速度大小之比 $v_a:v_b=\sqrt{5}:\sqrt{3}$

B:a、b两卫星的加速度大小之比 $a_a:a_b=4:1$

C:a卫星的运行周期为 $\frac{9}{8}T$

D:b卫星的运行周期为 $7T$

解析

设a、b两卫星的轨道半径分别为 r_a 和 r_b ,根据题意可知 $3r=r_b-r_a$ 和 $5r=r_b+r_a$,联立解得 $r_a=3r$, $r_b=5r$,联立解得 $r_a=3r$, $r_b=5r$,根据 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$ 可得 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$,可得 $v_a:v_b=\sqrt{5}:\sqrt{3}$,A错误;根据 $G\frac{Mm}{r^2}=ma$ 可得 $a=\frac{GM}{r^2}$,可得 $a_a:a_b=4:1$,B错误;根据 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$ 可得 $T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$,可得 $T_a:T_b=9:1$,因 $T_a+T_b=T$,解得 $T_a=\frac{9}{10}T$, $T_b=\frac{1}{10}T$,C正确,D错误。

a、b两卫星两次相距最近的时间为 T ,可知 $\frac{T}{T_a}+\frac{T}{T_b}=1$,因 $\frac{T_a}{T_b}=\sqrt{(\frac{r_a}{r_b})^3}=\frac{1}{9}$,解得 $T_a=\frac{9}{10}T$, $T_b=\frac{1}{10}T$,C正确,D错误。

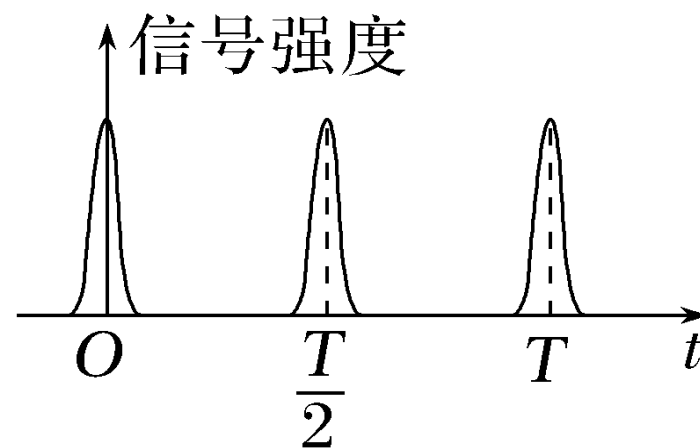
变式 2-2

(2025·四川卷,6) 某人造地球卫星运动轨道与赤道共面, 绕行方向与地球自转方向相同。

该卫星持续发射信号, 位于赤道的某观测站接收到的信号强度随时间变化的规律如图所示, T 为地球自转周期。已知该卫星的运动可视为匀速圆周运动, 地球质量为 M , 万有引力常量为 G 。

则该卫星轨道半径为 (**A**)

- A. $\sqrt[3]{\frac{GMT^2}{36\pi^2}}$ B. $\sqrt[3]{\frac{GMT^2}{16\pi^2}}$ C. $\sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}$ D. $\sqrt[3]{\frac{9GMT^2}{4\pi^2}}$



解析

答案 A **解析** 设卫星运动的周期为 T' , 根据题意可得 $\frac{2\pi}{T'} \cdot \frac{T}{2} - \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{2} = 2\pi$, 可得 $T' = \frac{T}{3}$, 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 $r = \sqrt[3]{\frac{GMT'^2}{4\pi^2}} = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{36\pi^2}}$, 故 **A** 正确。

226· 山东济宁一模) 司马迁最早把岁星命名为木星, 如图甲所示, 两卫星 a、b 环绕木星

在同一平面内做匀速圆周运动, 绕行方向相反, 卫星 c 绕木星做椭圆运动, 某时刻开始计时,

卫星 a、b 间距离 x 随时间 t 变化的关系图像如图乙所示, 其中 R 、 T 为已知量, 下列说法正确的是

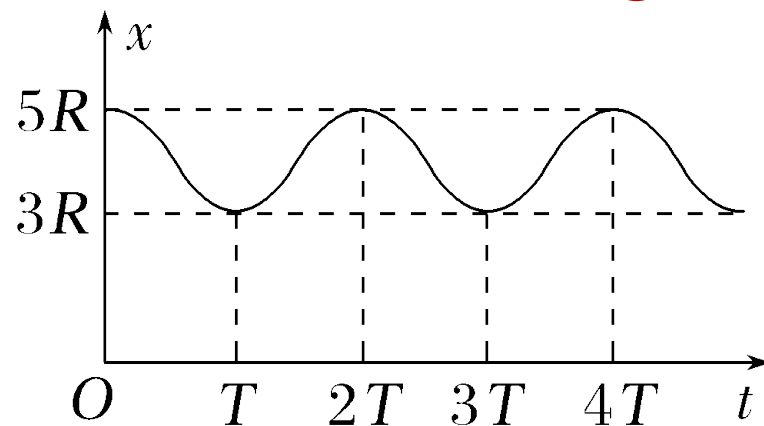
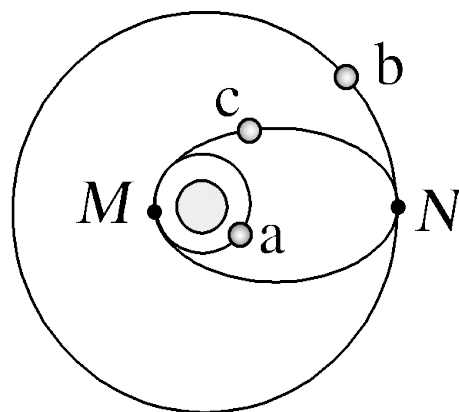
A. 卫星 c 在 N 点的速度大于卫星 a 的速度

B. 卫星 a、b 的运动周期之比为 1:4

C. 卫星 a 的运动周期为 T

D. 卫星 a 的加速度大小为

D. 卫星 a 的加速度大小为 $\frac{64\pi^2 R}{49T^2}$



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 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, 可知卫星 a 的速度大于卫星 b 的速度, 卫星 c 在 N 点做近心运动, 所以卫星 c 在 N 点的速度小于卫星 b 的速度, 则卫星 c 在 N 点的速度小于卫星 a 的速度, 故 A 错误; 根据图乙可知卫星 a、b 最远距离为 $5R$, 最近距离为 $3R$, 则 $r_b - r_a = 3R$, $r_b + r_a = 5R$, 可得 $r_a = R$, $r_b = 4R$, 根据 $G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{4\pi^2}{T^2}r$ 可得 $T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$, 可知卫星 a、b 的运动周期之比为 1:8, 故 B 错误; 设卫星 a 的运动周期为 T_a , 卫星 b 的周期为 T_b , 根据两卫星从相距最远到相距最近有 $\frac{T_a}{2} + \frac{T_b}{2} = \pi$, 又 $T_b = 8T_a$, 联立解得 $T_a = T$, 故 C 正确; 卫星 a 的加速度大小 $a_a = (\frac{2\pi}{T_a})^2 r_a = \frac{64\pi^2 R}{81T^2}$, 故 D 错误。

总结

天体“共线”问题的物理方法

1. 相距最近：两同心转动的卫星($r_A < r_B$)同向转动时，位于同一直径上且在圆心的同侧时相距最近。从相距最近到再次相距最近，两卫星的运动关系满足

$$(\omega_A - \omega_B)t = 2\pi \text{ 或 } \frac{t}{T_A} - \frac{t}{T_B} = 1。$$

2. 相距最远：两同心转动的卫星($r_A < r_B$)同向转动时，位于同一直径上且在圆心的异侧时，相距最远。从相距最近到第一次相距最远，两卫星的运动关系满足：

$$(\omega_A - \omega_B)t' = \pi \text{ 或 } \frac{t'}{T_A} - \frac{t'}{T_B} = \frac{1}{2}。$$

3. 若两同心转动的卫星初始位置不在同一直径上时，找两卫星的运动关系时需

注意初始时刻两卫星与地心连线之间的夹角。

注意初始时刻两卫星与地心连线之间的夹角。

1. 双星模型

(1) 绕公共圆心转动的两个星体组成的系统，我们称之为双星系统。如图所示。

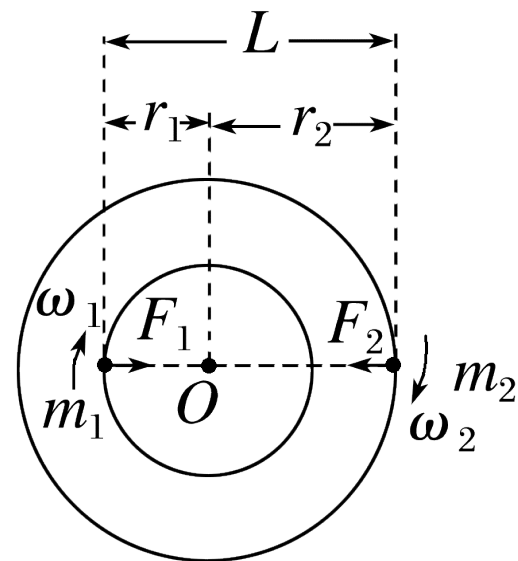
(2) 特点

① 各自所需的向心力由彼此间的万有引力提供，

即 $\frac{Gm_1m_2}{L^2} = m_1\omega_1^2r_1$ ， $\frac{Gm_1m_2}{L^2} = m_2\omega_2^2r_2$ 。

② 两星的周期、角速度相同，即 $T_1 = T_2$ ， $\omega_1 = \omega_2$ 。

③ 两星的轨道半径与它们之间的距离的关系为 $r_1 + r_2 = L$ 。



讨论交流

(1) 若两星运行的线速度大小分别为 v_1 、 v_2 ，加速度大小分别为 a_1 、 a_2 ，质量分别为 m_1 、 m_2 ，则 v 、 a 与轨道半径 r 、两星质量的关系

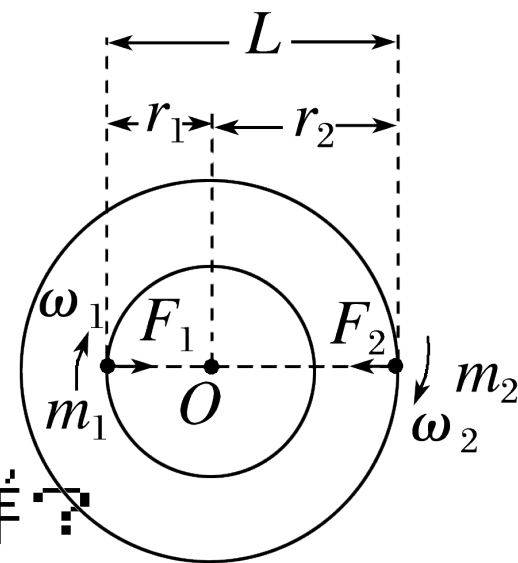
答案样由 $v=\omega r$ ， $m_1\omega^2r_1=m_2\omega^2r_2$ ，得 $\frac{v_1}{v_2}=\frac{r_1}{r_2}=\frac{m_2}{m_1}$ ，由 $a=\omega^2r$ 及 $m_1\omega^2r_1=m_2\omega^2r_2$ 得 $\frac{a_1}{a_2}=\frac{r_1}{r_2}=\frac{m_2}{m_1}$ 。

由 $a=\omega^2r$ 及 $m_1\omega^2r_1=m_2\omega^2r_2$ 得 $\frac{a_1}{a_2}=\frac{r_1}{r_2}=\frac{m_2}{m_1}$ 。

(2) 两星之间的距离 L 、周期 T 与总质量 (m_1+m_2) 的关系怎样？

答案由 $m_1r_1=m_2r_2$ 及 $r_1+r_2=L$ ，得 $r_1=\frac{m_2}{m_1+m_2}L$ 或 $r_2=\frac{m_1}{m_1+m_2}L$ 。

答案由 $\frac{Gm_1m_2}{L^2}=m_1\frac{4\pi^2}{T^2}r_1=m_2\frac{4\pi^2}{T^2}r_2$ 及 $r_1+r_2=L$ ，得 $\frac{L^3}{T^2}=\frac{G(m_1+m_2)}{4\pi^2}$ 或 $m_1+m_2=\frac{4\pi^2L^3}{GT^2}$ 。

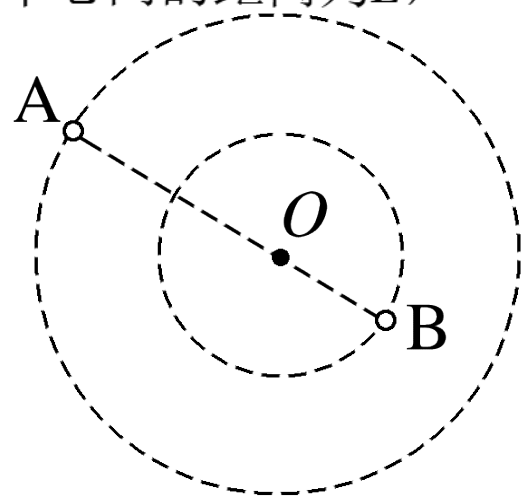


例 3

(2024·广东深圳市模拟) 人类首次发现的引力波来源于距地球之外13亿光年的两个黑洞互相绕转最后合并的过程。如图所示，设两个黑洞A、B绕其连线上的O点做匀速圆周运动，黑洞A的轨道半径大于黑洞B的轨道半径，两个黑洞的总质量为 M ，两个黑洞中心间的距离为 L ，

则下列说法正确的是(**A**)

- A. 两黑洞的运动周期均为 $2\pi\sqrt{\frac{L^3}{GM}}$
- B. 黑洞A的线速度一定小于黑洞B的线速度
- C. 黑洞A的线速度一定小于黑洞B的线速度，角速度越大
- D. 黑洞A的质量一定大于黑洞B的质量



解析

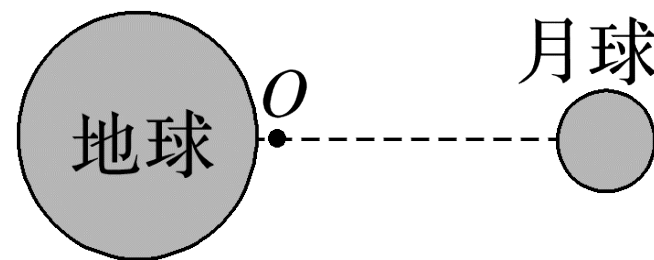
设两个黑洞质量分别为 m_A 、 m_B ，轨道半径分别为 R_A 、 R_B ，角速度为 ω ，由万有引力定律可知 $\frac{Gm_Am_B}{L^2} = m_A\omega^2R_A = m_B\omega^2R_B$ ，其中 $R_A + R_B = L$ ， $m_A + m_B = M$ ，联立解得 $\omega = \sqrt{\frac{GM}{L^3}}$ ，则两黑洞的运行周期为 $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{L^3}{GM}}$ ，A正确，C错误；由于二者角速度相等，则线速度分别为 $v_A = \omega R_A$ ， $v_B = \omega R_B$ ， $R_A > R_B$ ，则 $v_A > v_B$ ，B错误；根据以上分析，可知 $\frac{m_A}{m_B} = \frac{R_B}{R_A}$ ，而 $R_A > R_B$ ，故 $m_A < m_B$ ，D错误。

变式 3-1

(2025·广东深圳市模拟) 由于潮汐等因素影响，月球正以每年约 3 至 5 厘米的速度远离地球。

地球和月球可以看作双星系统，它们绕 O 点做匀速圆周运动。多年以后，地球 ()

- A. 与月球之间的万有引力变大
- B. 绕 O 点做圆周运动的周期不变
- C. 绕 O 点做圆周运动的角速度变小
- D. 绕 O 点做圆周运动的轨道半径变小



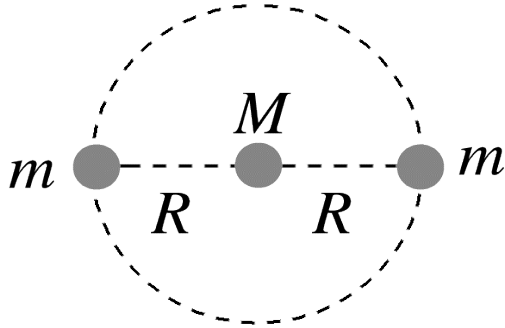
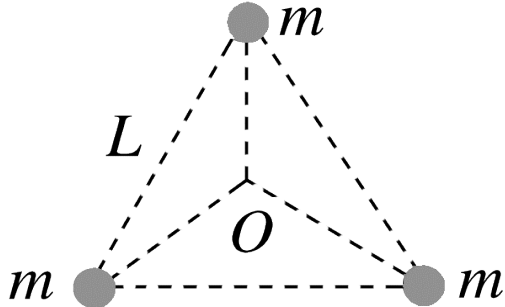
解析

多年以后，地球和月球间距离变大，地球和月球的质量不变，由万有引力定律可知，地球与月球之间的万有引力变小，故 A 错误；

地球和月球绕 O 点做匀速圆周运动的角速度大小 ω 相等，周期 T 相等。设地球与月球的质量分别为 M_1 和 M_2 ，圆周运动的半径分别为 r_1 和 r_2 ，地球和月球间距离为 L ，则有 $L = r_1 + r_2$ 。由万有引力提供向心力， $\frac{GM_1M_2}{L^2} = M_1\omega^2r_1 = M_2\omega^2r_2$ ，联立可得 $\omega^2 = \frac{GM_1M_2}{L^2(r_1+r_2)} = \frac{GM_1M_2}{L^3}$ 。地球与月球的质量不变，地球和月球间距离增大，则地球绕 O 点做圆周运动的周期 T 变大，地球绕 O 点做圆周运动的角速度变小，地球绕 O 点做圆周运动的轨道半径变大，故 B、D 错误，C 正确。

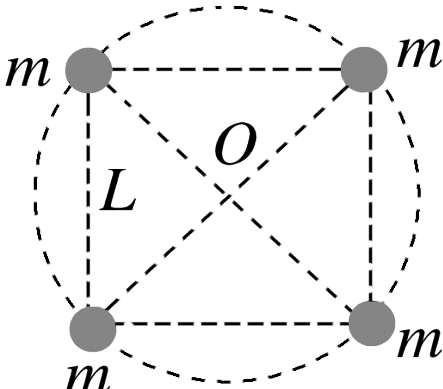
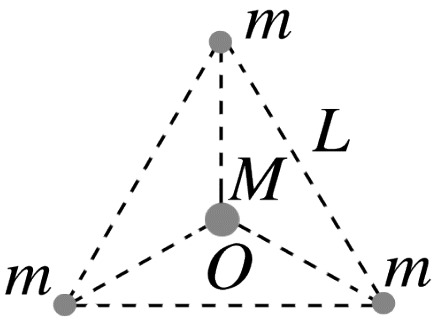
2. 多星模型

所研究星体所受万有引力的合力提供做圆周运动的向心力，除中央星体外，各星体的角速度或周期相同。常见的多星模型及其规律：

常见的三星模型		$\textcircled{1} \frac{Gm^2}{(2R)^2} + \frac{GMm}{R^2} = ma_{\text{向}}$
		$\textcircled{2} \frac{Gm^2}{L^2} \times \cos 30^\circ \times 2 = ma_{\text{向}}$

2. 多星模型

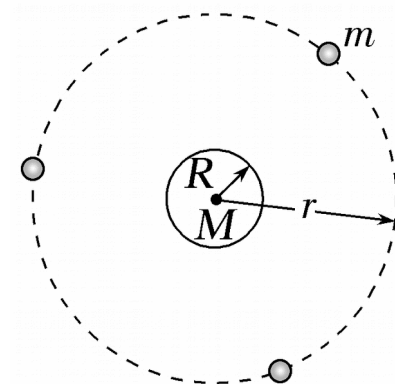
所研究星体所受万有引力的合力提供做圆周运动的向心力，除中央星体外，各星体的角速度或周期相同。常见的多星模型及其规律：

常见的四星模型		$\textcircled{1} \frac{Gm^2}{L^2} \times \cos 45^\circ \times 2 + \frac{Gm^2}{(\sqrt{2}L)^2} = ma_{\text{向}}$
		$\textcircled{2} \frac{Gm^2}{L^2} \times \cos 30^\circ \times 2 + \frac{GMm}{(\frac{L}{\sqrt{3}})^2} = ma_{\text{向}}$

变式 3-2

(2026·广东深圳高三阶段考) 如图所示, 三颗质量均为 m 的卫星等间隔分布在同一轨道上绕地球运动, 运动的轨道半径为 r , 已知地球质量为 M , 半径为 R , 引力常量为 G 。下列说法正确的是 (**B**)

- A. 地球对每颗卫星的引力大小均为
- B. 两颗卫星间引力大小为
- C. 每颗卫星所受引力的大小为
- D. 每颗卫星运动的速度大小为



解析

答案 B 解析 根据万有引力定律可知地球对每颗卫星的引力大小均为 $F = \frac{GMm}{r^2}$, 故 A 错误;

如图所示, 两颗卫星之间的距离 $L = \sqrt{3}r$, 所以两颗卫星之间的引力大小为 $F' = \frac{Gm^2}{L^2} = \frac{Gm^2}{3r^2}$, 故 B

正确; 一颗卫星受另两颗卫星和地球的引力, 大小为 $\frac{\sqrt{3}Gm^2}{3r^2} + \frac{GMm}{r^2}$, 故 C 错误; 对于卫星有

$$\frac{\sqrt{3}Gm^2}{3r^2} + \frac{GMm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}, \text{ 解得 } v = \sqrt{\frac{\sqrt{3}Gm}{3r} + G \frac{M}{r}}, \text{ 故 D 错误。}$$

变式 3-3

(多选)太空中存在一些离其他恒星较远的、由质量相等的三颗星组成的三星系统，通常可以忽略

其他星体对它们的引力作用。已观测到稳定的三星系统存在两种基本的构成形式(如图所示)：

一种是三颗星位于同一直线上，两颗星围绕中央星在同一半径为 R 的圆轨道上运行；

另一种形式是三颗星位于等边三角形的三个顶点上，并沿外接于等边三角形的圆形轨道运行。

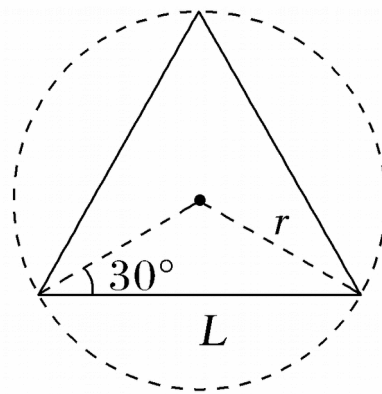
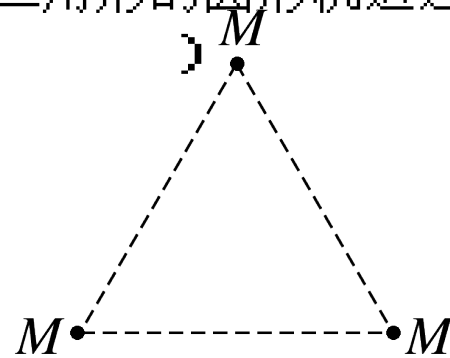
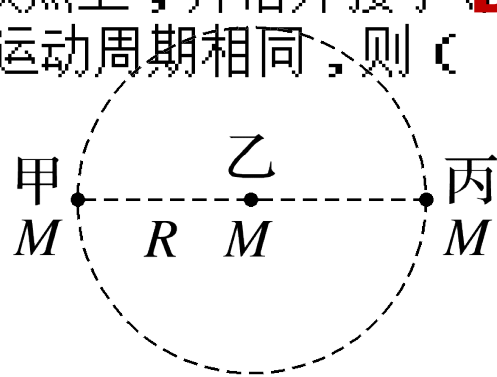
设这三颗星的质量均为 M ，并设两种系统的运动周期相同，则(

A. 直线三星系统中甲星和丙星的线速度相同

B. 直线三星系统的运动周期 $T=4\pi R\sqrt{\frac{R}{GM}}$

C. 三角形三星系统中星体间的距离 $L=R$

D. 三角形三星系统的线速度大小为 $v=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{5GM}{R}}$



解析

直线三星系统中甲星和丙星的线速度大小相同，方向相反，A 错误；

直线三星系统中，对甲星(或丙星)有 $G\frac{M}{R^2} + G\frac{M}{(2R)^2} = M\frac{v^2}{R}$ ，解得 $T=4\pi R\sqrt{\frac{R}{GM}}$ ，B 正确；

对三角形三星系统，根据万有引力定律和牛顿第二定律得 $2G\cos 30^\circ \frac{M}{L^2} = M\frac{v^2}{L}$ ，联立解得 $L=R$ ，C 正确；三

角形三星系统的线速度大小为 $v=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{5GM}{R}}$ ，D 错误。

C 正确；三角形三星系统的线速度大小为 $v=\frac{2\pi r}{T}=\frac{2\pi \cdot \frac{L}{2\cos 30^\circ}}{T}$ ，联立解得 $v=\frac{\sqrt{3}}{6}\sqrt{\frac{12}{5}}\sqrt{\frac{5GM}{R}}$ ，D 错误。

课堂小结：卫星运动的三类问题

1. 变轨与对接

- 变轨：低轨到高轨需两次加速（如：低轨→椭圆→高轨），高轨回低轨需两次减速。
- 对接：低轨飞船加速追高轨目标；或高轨飞船减速降轨对接。
- 关键规律：变轨点速度突变，但加速度（引力提供）相同；高轨周期长、机械能大。

2. 追及与共线

- 本质：角速度不同的圆周运动物体的追及问题。
- 共线条件：内圈卫星比外圈转得更快（角速度大），相对运动一圈或半圈即可共线。

3. 双星/多星模型

- 双星：绕共同质心做圆周运动，周期、角速度相同；半径与质量成反比 $\frac{r_1}{r_2} = \frac{m_2}{m_1}$ ；
总质量 $M = \frac{4\pi^2 L^3}{GT^2}$ （ L 为间距）。
- 多星（如三星）：需几何对称，某星所受合力指向圆心提供向心力。
- 多星（如三星）：需几何对称，某星所受合力指向圆心提供向心力。