

江苏省仪征中学 2021-2022 学年度第一学期高一物理学科导学案

专题：卫星的变轨和双星问题

研制人：熊小燕

审核人：邱勇

班级：_____ 姓名：_____ 学号：_____ 授课日期：2022.03.29

本课在课程标准中的表述：知道航天器的对接问题的处理方式。

[学习目标]

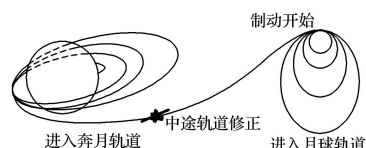
- 1.知道卫星变轨的原因，会分析卫星变轨前后的物理量变化.
- 2.知道航天器的对接问题的处理方式.
- 3.掌握双星运动的特点，会分析双星问题

[课堂学习]

一、卫星的变轨问题

[导学探究]

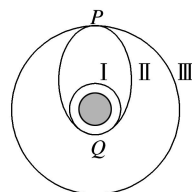
1. 图是飞船从地球上发射到绕月球运动的飞行示意图.



- (1)请思考：从绕地球运动的轨道上进入奔月轨道，飞船应采取什么措施？为什么？
- (2)从奔月轨道进入月球轨道，又应采取什么措施？为什么？

2. 如图，发射卫星时，先将卫星发射至近地圆轨道 I，在 Q 点点火加速做离心运动进入椭圆轨道 II，在 P 点点火加速，使其满足 $\frac{GMm}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$ ，进入圆轨道 III 做圆周运动.

- (1)设卫星在圆轨道 I 和 III 上运行时的速率分别为 v_1 、 v_3 ，在椭圆轨道 II 上经过 Q 点和 P 点时的速率分别为 v_Q 、 v_P ，试比较这几个速度的大小关系.



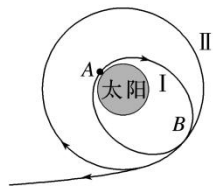
- (2)试比较卫星在轨道 I、II、III 上运行时的周期 T_1 、 T_2 、 T_3 的大小关系.

- (3)试比较卫星在轨道 I 上的加速度大小 a_1 ，轨道 III 上的加速度大小 a_3 ，椭圆轨道上经过 Q 点和 P 点的加速度大小 a_Q 、 a_P 的大小.

[深度思考] 卫星从轨道 I 到轨道 II 需要在 Q 点加速即 $v_Q > v_1$ ；从轨道 II 到轨道 III 需要在 P 点加速，即 $v_3 > v_P$ ；又 $v_1 > v_3$ ，它们矛盾吗？

例 1：2019 年春节期间，中国科幻电影里程碑的作品《流浪地球》热播，影片中为了让地球逃离太阳系，人们在地球上建造特大功率发动机，使地球完成一系列变轨操作，其逃离过程如图所示，地球在椭圆轨道 I 上运行到远日点 B 变轨，进入圆形轨道 II. 在圆形轨道 II 上运行到 B 点时再次加速变轨，从而最终摆脱太阳束缚. 对于该过程，下列说法正确的是(图中 A 点为近日点)()

- A. 沿轨道 I 运动至 B 点时, 需向前喷气减速才能进入轨道 II
- B. 沿轨道 I 运行的周期小于沿轨道 II 运行的周期
- C. 沿轨道 I 运行时, 在 A 点的加速度小于在 B 点的加速度
- D. 在轨道 I 上由 A 点运行到 B 点的过程, 速度逐渐增大



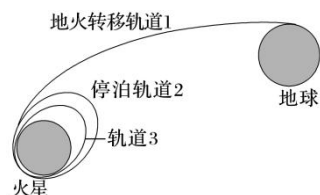
【知识深化】

判断卫星变轨时速度、加速度变化情况的思路

1. 判断卫星在不同圆轨道的运行速度大小时, 可根据“越远越慢”的规律判断.
2. 判断卫星在同一椭圆轨道上不同点的速度大小时, 可根据开普勒第二定律判断, 即离中心天体越远, 速度越小.
3. 判断卫星为实现变轨在某点需要加速还是减速时, 可根据离心运动或近心运动的条件进行分析.
4. 判断卫星的加速度大小时, 可根据 $a = \frac{F_{\text{万}}}{m} = G \frac{M}{r^2}$ 判断.

针对训练: 如图所示, 我国火星探测器“天问一号”在地火转移轨道 1 上飞行七个月, 进入近火点为 400 千米、远火点为 5.9 万千米的火星停泊轨道 2, 进行相关探测后将进入较低的轨道 3 开展科学探测. 则探测器()

- A. 在轨道 2 上近火点减速可进入轨道 3
- B. 在轨道 2 上的周期比在轨道 3 上的周期小
- C. 在轨道 2 上近火点的机械能比远火点大
- D. 从地球发射时的速度介于地球的第一宇宙速度和第二宇宙速度之间

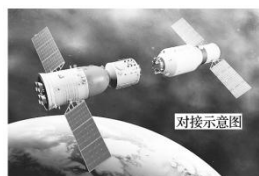


二、航天器的对接问题

若使航天器在同一轨道上运行, 航天器加速会进入较高的轨道, 减速会进入较低的轨道, 都不能实现对接, 故要想实现对接, 可使航天器在半径较小的轨道上加速, 然后进入较高的空间轨道, 逐渐靠近其他航天器, 两者速度接近时实现对接.

例 2: 如图所示, 我国发射的“神舟十一号”飞船和“天宫二号”空间实验室于 2016 年 10 月 19 日自动交会对接成功. 假设对接前“天宫二号”与“神舟十一号”都围绕地球做匀速圆周运动, 为了实现飞船与空间实验室的对接, 下列措施可行的是()

- A. 使飞船与空间实验室在同一轨道上运行, 然后飞船加速追上空间实验室实现对接
- B. 使飞船与空间实验室在同一轨道上运行, 然后空间实验室减速等待飞船实现对接
- C. 飞船先在比空间实验室半径小的轨道上加速, 加速后飞船逐渐靠近空间实验室, 两者速度接近时实现对接
- D. 飞船先在比空间实验室半径小的轨道上减速, 减速后飞船逐渐靠近空间实验室, 两者速度接近时实现对接



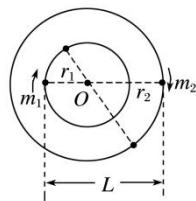
三、双星或多星问题

1. 双星模型

(1) 如图所示, 宇宙中有相距较近、质量相差不大的两个星球, 它们离其他星球都较远, 其他星球对它们的万有引力可以忽略不计. 在这种情况下, 它们将围绕其连线上的某一固定点做周期相同的匀速圆周运动, 通常, 我们把这样的两个星球称为“双星”.

(2) 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 两星的向心力大小相等, 由它们间的万有引力提供.
- 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.



(3)处理方法：双星间的万有引力提供了它们做圆周运动的向心力，即 $\frac{Gm_1m_2}{L^2}=m_1\omega^2r_1$ ， $\frac{Gm_1m_2}{L^2}=m_2\omega^2r_2$ 。

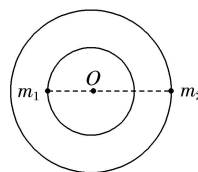
2. 多星系统

在宇宙中存在“三星”“四星”等多星系统，在多星系统中：

(1)各个星体做圆周运动的周期、角速度相同。

(2)某一星体做圆周运动的向心力是由其他星体对它万有引力的合力提供的。

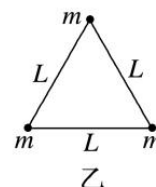
例 3：两个靠得很近的天体，离其他天体非常遥远，它们以其连线上某一点 O 为圆心各自做匀速圆周运动，两者的距离保持不变，科学家把这样的两个天体称为“双星”，如图所示。已知双星的质量分别为 m_1 和 m_2 ，它们之间的距离为 L ，引力常量为 G ，求双星的运行轨道半径 r_1 和 r_2 及运行周期 T 。



例 4：宇宙中存在一些离其他恒星较远的三星系统，通常可忽略其他星体对它们的引力作用，三颗星体的质量相同。现已观测到稳定的三星系统存在两种基本的构成形式：一种是三颗星体位于同一直线上，两颗星体围绕中央星体做匀速圆周运动，如图甲所示；另一种是三颗星体位于等边三角形的三个顶点上，并沿等边三角形的外接圆轨道运行，如图乙所示。设这两种构成形式中三颗星体的质量均为 m ，且两种系统中各星体间的距离已在图甲、乙中标出，引力常量为 G ，则下列说法中正确的是()



甲



乙

设这两种构成形式中三颗星体的质量均为 m ，且两种系统中各星体间的距离已在图甲、乙中标出，引力常量为 G ，则下列说法中正确的是()

- A. 直线三星系统中外侧每颗星体做匀速圆周运动的线速度大小为 $\sqrt{\frac{Gm}{L}}$
- B. 直线三星系统中外侧每颗星体做匀速圆周运动的周期为 $2\pi\sqrt{\frac{L^3}{5Gm}}$
- C. 三角形三星系统中每颗星做匀速圆周运动的角速度为 $2\sqrt{\frac{3Gm}{L^3}}$
- D. 三角形三星系统中每颗星做匀速圆周运动的加速度大小为 $\frac{\sqrt{3}Gm}{L^2}$

[课后作业] 完成课后作业

[课后感悟] _____

江苏省仪征中学 2021—2022 学年度第一学期高一物理学科作业

专题：卫星的变轨和双星问题(一)

研制人：熊小燕

审核人：邱勇

班级：_____ 姓名：_____ 学号：_____ 时间：2022.03.29 作业时长：30 分钟

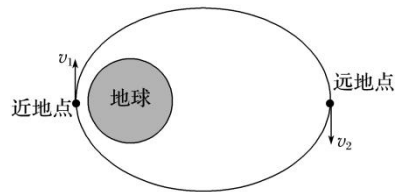
[基础练习]

1. 2018 年 12 月 12 日，嫦娥四号探测器经过约 110 小时的奔月飞行到达月球附近。假设嫦娥四号在月球上空某高度处做圆周运动，运行速度为 v_1 ，为成功实施近月制动，使它进入更靠近月球的预定圆轨道，设其在预定圆轨道上的运行速度为 v_2 。对这一变轨过程及变轨前后的速度对比正确的是()

- A. 发动机向后喷气进入低轨道， $v_1 > v_2$
- B. 发动机向后喷气进入低轨道， $v_1 < v_2$
- C. 发动机向前喷气进入低轨道， $v_1 > v_2$
- D. 发动机向前喷气进入低轨道， $v_1 < v_2$

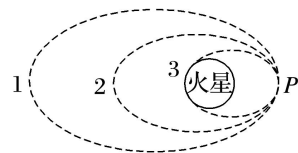
2. 1970 年成功发射的“东方红一号”是我国第一颗人造地球卫星，该卫星至今仍沿椭圆轨道绕地球运动。如图所示，设卫星在近地点、远地点的速度分别为 v_1 、 v_2 ，近地点到地心的距离为 r ，地球质量为 M ，引力常量为 G 。则()

- A. $v_1 > v_2$ ， $v_1 = \sqrt{\frac{GM}{r}}$
- B. $v_1 > v_2$ ， $v_1 > \sqrt{\frac{GM}{r}}$
- C. $v_1 < v_2$ ， $v_1 = \sqrt{\frac{GM}{r}}$
- D. $v_1 < v_2$ ， $v_1 > \sqrt{\frac{GM}{r}}$



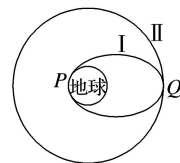
3. 2021 年 2 月，我国“天问一号”火星探测器到达火星附近，进入环火轨道，进行火星科学探测。探测器着陆前运行的轨道分别如图中 1、2、3 所示，则探测器()

- A. 沿不同轨道运动，经过 P 点时的加速度相同
- B. 由轨道 2 变到轨道 3，需要在 P 点加速
- C. 在轨道 1 上运行的周期比在轨道 2 上运行的周期小
- D. 沿轨道 2 经过 P 点的速度大于沿轨道 1 经过 P 点的速度



4. 现对发射地球同步卫星的过程进行分析，如图所示，卫星首先进入椭圆轨道 I， P 点是轨道 I 上的近地点，然后在 Q 点通过改变卫星速度，让卫星进入地球同步轨道 II，则()

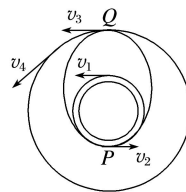
- A. 卫星在同步轨道 II 上的运行速度大于第一宇宙速度 7.9 km/s
- B. 该卫星的发射速度必定大于第二宇宙速度 11.2 km/s
- C. 在轨道 I 上，卫星在 P 点的速度大于第一宇宙速度 7.9 km/s
- D. 在轨道 I 上，卫星在 Q 点的速度大于第一宇宙速度 7.9 km/s



[能力练习]

5. 发射同步卫星的一般程序：先让卫星进入一个近地的圆轨道，然后在 P 点变轨，进入椭圆转移轨道(该椭圆轨道的近地点为近地圆轨道上的 P 点，远地点为同步圆轨道上的 Q 点)，到达远地点 Q 时再次变轨，进入同步轨道，如图设卫星在近地圆轨道上运行的速率为 v_1 ，在椭圆转移轨道的近地点 P 的速率为 v_2 ，沿

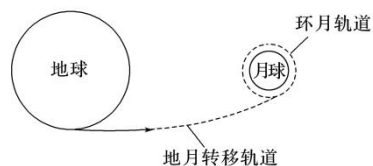
转移轨道刚到达远地点 Q 时的速率为 v_3 ，在同步轨道上的速率为 v_4 ，三个轨道上运动的周期分别为 T_1 、 T_2 、 T_3 ，则下列说法正确的是()



- A. 在 P 点变轨时需要加速， Q 点变轨时需要减速
- B. 在 P 点变轨时需要减速， Q 点变轨时需要加速
- C. $T_1 < T_3 < T_2$
- D. $v_2 > v_1 > v_4 > v_3$

6. 2020 年 11 月 24 日，长征五号遥五运载火箭托举“嫦娥五号”向着月球飞驰而去.12 月 17 日，在闯过月面着陆、自动采样、月面起飞、月轨交会对接、再入返回等多个难关后，历经重重考验的嫦娥五号携带月球样品，成功返回地面. 如图为“嫦娥五号”发射到达环月轨道的行程示意图，下列说法正确的是()

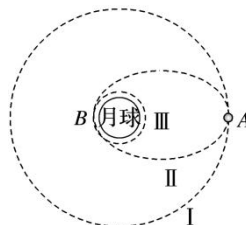
- A. 在地月转移轨道上无动力奔月时，速率不断减小
- B. 接近环月轨道时，需要加速才能进入环月轨道
- C. “嫦娥五号”在地月转移轨道上运动的最大速度小于 11.2 km/s
- D. “嫦娥五号”在地球表面加速升空过程中地球引力越来越小，处于失重状态



[提升练习]

★7. 如图，已知月球半径为 R ，月球表面的重力加速度为 g_0 ，飞船在绕月球的圆形轨道 I 上运动，轨道半径为 r ， $r = 4R$ ，到达轨道 I 的 A 点时点火变轨进入椭圆轨道 II，到达轨道的近月点 B 时再次点火进入近月轨道 III 绕月球做圆周运动. 已知引力常量 G ，求：

- (1) 第一次点火和第二次点火分别是加速还是减速；
- (2) 飞船在轨道 I 上的运行速率；
- (3) 飞船在轨道 II 上的运行周期.



江苏省仪征中学 2021—2022 学年度第一学期高一物理学科作业

专题：卫星的变轨和双星问题(二)

研制人：熊小燕

审核人：邱勇

班级：_____ 姓名：_____ 学号：_____ 时间：2022.03.29 作业时长：30 分钟

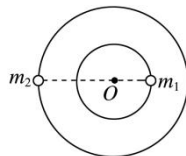
[基础练习]

1. 冥王星与其附近的另一星体卡戎可视为双星系统，冥王星与星体卡戎的质量之比约为 7:1，同时绕它们连线上的某点 O 做匀速圆周运动，由此可知，冥王星绕 O 点运动的()

- A. 轨道半径约为卡戎的 $\frac{1}{7}$ B. 角速度约为卡戎的 $\frac{1}{7}$
C. 线速度大小约为卡戎的 7 倍 D. 向心力大小约为卡戎的 7 倍

2. 如图所示，两颗星球组成的双星，在相互之间的万有引力作用下，绕连线上的 O 点做周期相同的匀速圆周运动。现测得两颗星中心之间的距离为 L ，质量之比为 $m_1:m_2=3:2$ ，下列说法中正确的是()

- A. m_1 、 m_2 做圆周运动的线速度之比为 3:2
B. m_1 、 m_2 做圆周运动的角速度之比为 3:2
C. m_1 做圆周运动的半径为 $\frac{2}{5}L$
D. m_2 做圆周运动的半径为 $\frac{2}{5}L$

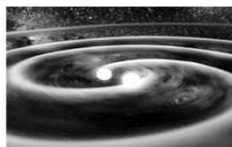


3. 美国宇航局利用开普勒太空望远镜发现了一个新的双星系统，命名为“开普勒-47”，该系统位于天鹅座内，距离地球大约 5 000 光年。这一新的系统有一对互相围绕运行的恒星，运行周期为 T ，其中大恒星的质量为 M ，小恒星的质量只有大恒星质量的三分之一。已知引力常量为 G ，则下列判断正确的是()

- A. 小恒星、大恒星的转动半径之比为 1:1
B. 小恒星、大恒星的转动半径之比为 1:2
C. 两颗恒星相距 $\sqrt[3]{\frac{GMT^2}{3\pi^2}}$
D. 两颗恒星相距 $\sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}$

4. 如图所示为两个中子星相互吸引旋转并靠近最终合并成黑洞的过程，科学家预言在此过程中释放引力波。根据牛顿力学，在中子星靠近的过程中()

- A. 中子星间的引力变大
B. 中子星的线速度变小
C. 中子星的角速度变小
D. 中子星的加速度变小



[能力练习]

5. 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 s 时，它们相距约 400 km，绕二者连线上的某点每秒转动 12 圈。将两颗中子星都看作是质量均匀分布的球体，由这些数据、引力常量并利用牛顿力学知识，可以估算出这一时刻两颗中子星()

6. 双星系统由两颗恒星组成，两恒星在相互引力的作用下，分别围绕其连线上的某一点做周期相同的匀速圆周运动。研究发现，双星系统演化过程中，两星的总质量、距离和周期均可能发生变化。若某双星系统中两星做匀速圆周运动的周期为 T ，经过一段时间演化后，两星总质量变为原来的 k 倍，两星之间的距离变为原来的 n 倍，则此时两星做匀速圆周运动的周期为()

7. 2012 年 7 月 26 日, 一个国际研究小组借助于智利的“甚大望远镜”, 观测到了一组双星系统, 它们绕两者连线上的某点 O 做匀速圆周运动, 如图所示, 此双星系统中体积较小成员能“吸食”另一颗体积较大星体表面物质, 达到质量转移的目的, 假设在“吸食”过程中两者球心之间的距离保持不变, 则在该过程中()

-

★8. 如图所示，三颗质量均为 M 的星球位于边长为 L 的等边三角形的三个顶点上．如果它们中的每一颗都在相互的引力作用下沿外接于等边三角形的圆轨道运行而保持等边三角形不变，已知引力常量为 G ，下列说法正确的是()

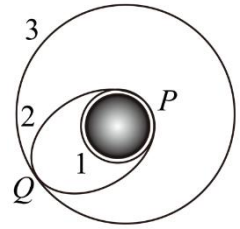
《专题：卫星的变轨和双星问题》补充练习

1. 2021 年 4 月,我国自主研发的空间站(天和核心舱)成功发射并入轨运行,天和核心舱在离地面约 400km 高度处绕地球转动,轨道近似为圆轨道。2021 年 6 月,神舟十二号载人飞船与天和核心舱完成对接,三名航天员顺利进驻天和核心舱。2021 年 9 月,神舟十二号载人飞船与天和核心舱成功实施分离后返回地球。关于神州十二号载人飞船,下列说法中正确的是()

- A. 飞船在发射升空的过程中,飞船始终处于完全失重状态
- B. 飞船在较低轨道通过向前方喷气后才能与天和核心舱完成交会对接
- C. 飞船在较低轨道通过向后方喷气后才能与天和核心舱完成交会对接
- D. 飞船与天和核心舱成功实施分离后返回地球的过程中,飞船始终处于超重状态

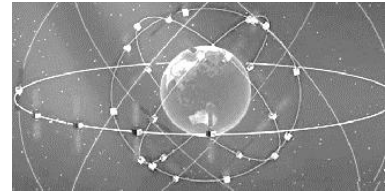
2. 如图所示,人造卫星在轨道 3 上绕地球做匀速圆周运动,当卫星返回时,先在 Q 点变轨沿椭圆轨道 2 运行,然后在近地点 P 变轨沿近地圆轨道 1 运行。下列说法正确的是()

- A. 卫星从 Q 点往 P 点运动时,发动机不工作,卫星的运行速度不断变小
- B. 卫星从 Q 点往 P 点运动时,发动机一直工作,使卫星的运行速度不断变大
- C. 卫星在轨道 3 上运行的周期大于在轨道 2 上的运行周期
- D. 卫星在轨道 2 上的 P 点变轨时,要加速才能沿轨道 1 运动



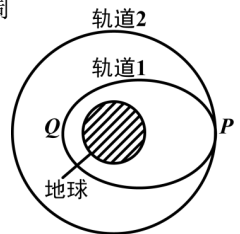
3. 北斗问天,国之夙愿。我国北斗三号系统的收官之星是地球静止轨道卫星,其轨道半径约地球半径的 7 倍,则该卫星()

- A. 发射速度可能大于 11.2km/s
- B. 线速度小于 7.9km/s
- C. 周期约为 $\frac{24}{7}$ h
- D. 可以经过曾母暗沙区域的上空



4. 如图所示是我国发射“神舟七号”载人飞船的入轨过程.飞船先沿椭圆轨道飞行,后在远地点 343 千米处点火加速,由椭圆轨道变成高度为 343 千米的圆轨道,在此圆轨道上飞船运行的周期约为 90 分钟.下列判断正确的是()

- A. 飞船变轨前后的线速度相等
- B. 飞船在圆轨道上时航天员出舱前后都处于失重状态
- C. 飞船在此圆轨道上运动的角速度大于同步卫星运动的角速度
- D. 飞船变轨前通过椭圆轨道远地点时的加速度大于变轨后沿圆轨道运动的加速度



5. 地球表面赤道上相对地面静止物体的向心加速度大小为 a_1 ;某近地卫星绕地球做匀速圆周运动的线速度为 v_1 ,周期为 T_1 ;地球同步卫星加速度为 a_2 ,线速度为 v_2 ,周期为 T_2 ;已知引力常量为 G ,地球半径为 R ,同步卫星轨道半径为 r 。下列关系式正确的是()

- A. $\frac{a_1}{a_2} = \frac{r^2}{R^2}$
- B. $\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{R}{r}}$
- C. $\frac{a_1}{a_2} = \frac{R}{r}$
- D. $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{r}{R}\right)^{\frac{3}{2}}$