

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：天体运动的分析与计算

研制人：熊小燕

审核人：邱勇

班级：_____ 姓名：_____ 学号：_____ 授课日期：2022.03.17

本课在课程标准中的表述：知道星体绕中心天体做圆周运动的物理量与轨道半径的关系。

【学习目标】

1. 知道处理星体绕中心天体做圆周运动的基本思路.
2. 知道星体绕中心天体做圆周运动的物理量与轨道半径的关系.

【课堂学习】

一、天体运动参量的分析与计算

【导学探究】

1. 一般卫星(或行星)的运动可看成匀速圆周运动，用描述天体运行的物理量表示出其所需向心力，并写出与万有引力的关系.

2. 你知道“黄金代换公式”吗？说说这个公式的作用.

3. 请使用问题 1 中的关系式推导线速度 v 、角速度 ω 、周期 T 、向心加速度 a_n 与轨道半径 r 的关系.

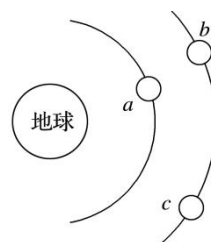
1. 随着轨道半径 r 的增大， v 、 ω 、 T 、 a_n 如何变化？在同一圆轨道上运行的不同卫星，它们的 v 、 ω 、 T 、 a_n 有何特点？

5. 同一轨道上的两卫星是否有可能相撞？

例 1：如图所示， a 、 b 、 c 是地球大气层外圈圆形轨道上运动的三颗卫星， a 和 b 的质量相等，且小于 c 的质量，则()

- A. c 所需向心力最小
- B. b 、 c 的周期相等且小于 a 的周期
- C. b 、 c 的向心加速度大小相等，且大于 a 的向心加速度
- D. b 、 c 的线速度大小相等，且小于 a 的线速度

例 2：2020 年 7 月 23 日 12 时 41 分，我国在海南岛东北海岸中国文昌航天发射场，用长征五号遥四运载火箭将我国首次火星探测任务“天问一号”探测器发射

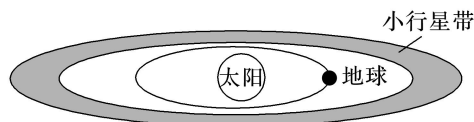


升空，飞行 2 000 多秒后，成功将探测器送入预定轨道，开启火星探测之旅，迈出了我国自主开展行星探测的第一步。已知火星的两个卫星 A 和 B ，卫星的轨道可以看作是圆形的，卫星 A 轨道半径是卫星 B 轨道半径的 n 倍，则()

- A. 卫星 A 与卫星 B 的线速度大小之比为 $\frac{1}{n}$ B. 卫星 A 与卫星 B 的向心加速度大小之比为 $\frac{1}{n^2}$
C. 卫星 A 与卫星 B 的周期之比为 $\frac{1}{\sqrt{n^3}}$ D. 卫星 A 的质量大于卫星 B 的质量

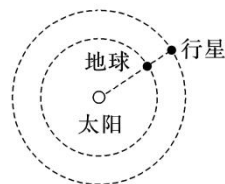
针对训练： 如图所示，在火星与木星轨道之间有一小行星带，假设该带中的小行星只受到太阳的引力，并绕太阳做匀速圆周运动。下列说法正确的是()

- A. 太阳对各小行星的引力相同
B. 各小行星绕太阳运动的周期均小于一年
C. 小行星带内侧小行星的向心加速度大小大于外侧小行星的向心加速度大小
D. 小行星带内各小行星绕太阳做圆周运动的线速度大小大于地球公转的线速度大小



二、卫星相距“最近”“最远”问题

例 3：某行星和地球绕太阳公转的轨道均可视为圆。每过 N 年，该行星会运行到日地连线的延长线上，如图所示。该行星与地球的公转半径之比为多少？

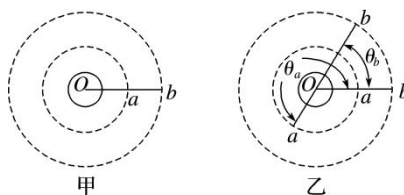


【知识深化】

两颗卫星在同一轨道平面内同向绕地球做匀速圆周运动， a 卫星的角速度为 ω_a ， b 卫星的角速度为 ω_b 。若某时刻两卫星正好同时通过地面同一点正上方，相距最近，如图甲所示。

当它们转过的角度之差 $\Delta\theta = \pi$ ，即满足 $\omega_a\Delta t - \omega_b\Delta t = \pi$ 时，两卫星第一次相距最远，如图乙所示。

当它们转过的角度之差 $\Delta\theta = 2\pi$ ，即满足 $\omega_a\Delta t - \omega_b\Delta t = 2\pi$ 时，两卫星再次相距最近。



【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：天体运动的分析与计算

研制人：熊小燕

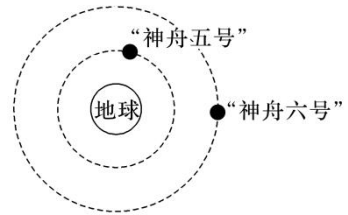
审核人：邱勇

班级：_____ 姓名：_____ 学号：_____ 时间：2022.03.17 作业时长：30 分钟

[基础练习]

1. 我国发射的“神舟六号”载人飞船，与“神舟五号”飞船相比，它在更高的轨道上绕地球做匀速圆周运动，如图所示，下列说法中正确的是()

- A. “神舟六号”的线速度较大
- B. “神舟六号”的角速度较大
- C. “神舟六号”的周期更长
- D. “神舟六号”的向心加速度较大



2. 我国高分系列卫星的高分辨对地观察能力不断提高.2018 年 5 月 9 日发射的“高分五号”轨道高度约为 705 km，之前已运行的“高分四号”轨道高度约为 36 000 km，它们都绕地球做圆周运动.与“高分四号”相比，下列物理量中“高分五号”较小的是()

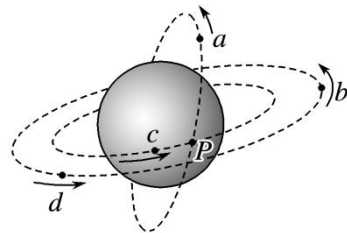
- A. 周期
- B. 角速度
- C. 线速度
- D. 向心加速度

3. 地球的两颗人造卫星 A 和 B ，它们的轨道近似为圆.已知 A 的周期约为 12 小时， B 的周期约为 16 小时，则两颗卫星相比()

- A. A 距地球表面较远
- B. A 的角速度较小
- C. A 的线速度较小
- D. A 的向心加速度较大

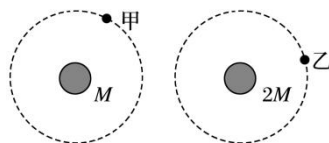
4. a 、 b 、 c 、 d 是在地球大气层外的圆形轨道上运行的四颗人造卫星.其中 a 、 c 的轨道相交于 P 点， b 、 d 在同一个圆轨道上， b 、 c 轨道在同一平面上.某时刻四颗卫星的运行方向及位置如图所示，下列说法中正确的是()

- A. a 、 c 的加速度大小相等，且大于 b 的加速度
- B. b 、 c 的角速度大小相等，且小于 a 的角速度
- C. a 、 c 的线速度大小相等，且小于 d 的线速度
- D. a 、 c 存在在 P 点相撞的危险



5. 如图所示，甲、乙两颗卫星以相同的轨道半径分别绕质量为 M 和 $2M$ 的行星做匀速圆周运动，下列说法正确的是()

- A. 甲的向心加速度比乙的小
- B. 甲的运行周期比乙的小
- C. 甲的角速度比乙的大
- D. 甲的线速度比乙的大



6. 2020 年 11 月 6 日，全球首颗 6G 试验卫星“电子科技大学号”搭载“长征六号”运载火箭在太原卫星发射中心成功升空，并顺利进入预定轨道.该卫星绕地球做匀速圆周运动，其轨道到地面的距离等于地球半径的 2 倍，已知地球的半径为 R ，地球表面的重力加速度大小为 g ，忽略地球的自转.则下列说法正确

的是()

- A. 该卫星绕地球做匀速圆周运动的线速度大小为 $\sqrt{\frac{gR}{6}}$
- B. 该卫星绕地球做匀速圆周运动的线速度大小为 $\sqrt{\frac{gR}{3}}$
- C. 该卫星绕地球做匀速圆周运动的角速度为 $\frac{\sqrt{gR}}{9R}$
- D. 该卫星绕地球做匀速圆周运动的周期为 $2\pi\sqrt{\frac{3R}{g}}$

[能力练习]

7. 火星探测任务“天问一号”的标识如图所示. 若火星和地球绕太阳的运动均可视为匀速圆周运动, 火星公转轨道半径与地球公转轨道半径之比为 3:2, 则火星与地球绕太阳运动的()

- A. 轨道周长之比为 2:3
- B. 线速度大小之比为 $\sqrt{3}:\sqrt{2}$
- C. 角速度大小之比为 $2\sqrt{2}:3\sqrt{3}$
- D. 向心加速度大小之比为 9:4



中国行星探测
MARS

8. 为了探测 X 星球, 载着登陆舱的探测飞船在以该星球中心为圆心、半径为 r_1 的圆轨道上运动, 周期为 T_1 , 总质量为 m_1 . 随后登陆舱脱离飞船, 变轨到离星球更近的半径为 r_2 的圆轨道上运动, 此时登陆舱的质量为 m_2 , 引力常量为 G , 则()

- A. X 星球的质量为 $M = \sqrt{\frac{4\pi^2 r_1}{T_1^2}}$
- B. X 星球表面的重力加速度为 $g = \frac{4\pi^2 r_1}{T_1^2}$
- C. 登陆舱在 r_1 与 r_2 轨道上运动时的速度大小之比为 $\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{m_1 r_2}{m_2 r_1}}$
- D. 登陆舱在半径为 r_2 轨道上做圆周运动的周期为 $T_2 = T_1 \sqrt{\frac{r_2^3}{r_1^3}}$

9. 据英国《卫报》网站 2015 年 1 月 6 日报道, 在太阳系之外, 科学家发现了一颗最适宜人类居住的类地行星, 它绕恒星橙矮星运行, 被命名为“开普勒 438b”. 假设该行星绕橙矮星的运动与地球绕太阳的运动均视为匀速圆周运动, 其运行的周期为地球运行周期的 p 倍, 橙矮星的质量为太阳质量的 q 倍. 则该行星与地球的()

- A. 轨道半径之比为 $\sqrt[3]{p^2 q}$
- B. 轨道半径之比为 $\sqrt[3]{p^2}$
- C. 线速度大小之比为 $\sqrt[3]{\frac{p}{q}}$
- D. 线速度大小之比为 $\frac{1}{p}$

10. 2018 年 5 月 21 日, 我国在西昌卫星发射中心将“鹊桥”号中继星发射升空并成功进入预定轨道. 设“鹊桥”号中继星在轨道上绕地球做匀速圆周运动的周期为 T , 已知地球表面处的重力加速度为 g , 地球半径为 R . 求:

(1) “鹊桥”号中继星离地面的高度 h ;

- (2) “鹊桥”号中继星运行的线速度大小 v ;
- (3) “鹊桥”号中继星在轨道上绕地球运行的向心加速度的大小.

[提升练习]

★11. a 、 b 两颗卫星均在赤道正上方绕地球做匀速圆周运动, a 为近地卫星, b 卫星离地面高度为 $3R$, 已知地球半径为 R , 表面的重力加速度为 g , 试求: (忽略地球的自转影响)

- (1) a 、 b 两颗卫星的周期;
- (2) a 、 b 两颗卫星的线速度大小之比;
- (3) 若某时刻两卫星正好同时通过赤道同一点的正上方, 则至少经过多长时间两卫星相距最远.

专题：《天体运动的分析与计算》补充练习

1. 我国计划于 2018 年择机发射“嫦娥五号”航天器，假设航天器在近月轨道上绕月球做匀速圆周运动，经过时间 t （小于绕行周期），运动的弧长为 s ，航天器与月球中心连线扫过的角度为 θ （弧度），引力常量为 G ，则（ ）

A. 航天器的轨道半径为 $\frac{\theta}{t}$

B. 航天器的环绕周期为 $\frac{\pi t}{\theta}$

C. 月球的质量为 $\frac{s^3}{Gt^2\theta}$

D. 月球的密度为 $\frac{3\theta^2}{4Gt}$

2. 如图所示是美国的“卡西尼”号探测器经过长达 7 年的“艰苦”旅行, 进入绕土星飞行的轨道。若“卡西尼”号探测器在半径为 R 的土星上空离土星表面高 h 的圆形轨道上绕土星飞行, 环绕 n 周飞行时间为 t , 已知引力常量为 G , 则下列关于土星质量 M 和平均密度 ρ 的表达式正确的是 ()



$$A. \quad M = \frac{4\pi^2(R+h)^3}{Gt^2}, \quad \rho = \frac{3\pi(R+h)^3}{Gt^2 R^3}$$

$$\text{B. } M = \frac{4\pi^2(R+h)^2}{Gt^2}, \quad \rho = \frac{3\pi(R+h)^2}{Gt^2 R^3}$$

$$\text{C. } M = \frac{4\pi^2 t^2 (R+h)^2}{Gn^2}, \quad \rho = \frac{3\pi t^2 (R+h)^3}{Gn^2 R^3}$$

$$\text{D. } M = \frac{4\pi^2 n^2 (R+h)^3}{Gt^2}, \quad \rho = \frac{3\pi n^2 (R+h)^3}{Gt^2 R^3}$$

3. 过去几千年来，人类对行星的认识与研究仅限于太阳系内，行星“51 peg b”的发现拉开了研究太阳系外行星的序幕。“51 peg b”绕其中心恒星做匀速圆周运动，周期约为 4 天，轨道半径约为地球绕太阳运动半径为 1/20，该中心恒星与太阳的质量比约为（ ）

A. 1/10

B. 1

C. 5

D. 10

4. 2019 年 1 月, 我国在西昌卫星发射中心成功发射了“中星 2D”卫星. “中星 2D”是我国最新研制的通信广播卫星, 可为全国提供广播电视及宽带多媒体等传输任务. “中星 2D”的质量为 m 、运行轨道距离地面高度为 h . 已知地球的质量为 M 、半径为 R , 引力常量为 G , 根据以上信息可知“中星 2D”在轨运行时 ()

A. 速度的大小为 $\sqrt{\frac{Gm}{R+h}}$

B. 角速度大小为 $\sqrt{\frac{GM}{R^3}}$

C. 加速度大小为 $\frac{GM}{(R+h)^2}$

D. 周期为 $2\pi R\sqrt{\frac{R}{GM}}$

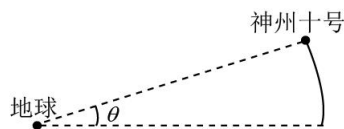
5. 观察“神州十号”在圆轨道上的运动,发现每经过时间 $2t$ 通过的弧长为 L ,该弧长对应的圆心角为 θ (弧度),如图所示,已知引力常量为 G ,由此可推导出地球的质量为()

A. $\frac{L^3}{4G\theta t^2}$

B. $\frac{2L^3\theta}{Gt^2}$

C. $\frac{L}{4G\theta t^2}$

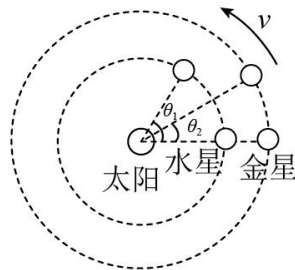
D. $\frac{2L^2}{G\theta t^2}$



6. 2015 年 7 月 23 日, 美国宇航局通过开普勒太空望远镜发现了迄今“最接近另一个地球”的系外行星开普勒-452b, 开普勒-452b 围绕一颗类似太阳的恒星做匀速圆周运动, 公转周期约为 385 天(约 $3.3 \times 10^7 \text{s}$), 轨道半径约为 $1.5 \times 10^{11} \text{m}$, 已知引力常量 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$, 利用以上数据可以估算类似太阳的恒星的质量约为()

- A. $1.8 \times 10^{30} \text{kg}$ B. $1.8 \times 10^{27} \text{kg}$
C. $1.8 \times 10^{24} \text{kg}$ D. $1.8 \times 10^{21} \text{kg}$

7. 如果把水星和金星绕太阳的运动视为匀速圆周运动，从水星与金星在一条直线上开始计时，若天文学家测得在相同时间内水星转过的角度为 θ_1 ；金星转过的角度为 θ_2 （ θ_1 、 θ_2 均为锐角），如图所示，则由此条件不可求的是（ ）



- A. 水星和金星绕太阳运动的周期之比
B. 水星和金星绕太阳运动的向心加速度之比
C. 水星和金星绕太阳运动的轨道半径之比
D. 水星和金星的密度之比

8. 根据观测，土星外层有一个环，为了判定它是土星的一部分还是土星的卫星群，可以测量环中各层的线速度 V 与该层到土星中心的距离 r 之间的关系来判断

- A. 若 $V \propto r$ ，则该层是土星的一部分 B. 若 $V^2 \propto r$ ，则该层是土星的卫星群
C. 若 $V \propto \frac{1}{r}$ ，则该层是土星的一部分 D. 若 $V^2 \propto \frac{1}{r}$ ，则该层是土星的卫星群

9. 假设“嫦娥三号”探月卫星以速度 v 在月球表面附近做匀速圆周运动，测出运动的周期为 T ，已知万有引力常量为 G ，不计周围其他天体的影响，则下列说法正确的是（ ）

- A. “嫦娥三号”探月卫星的轨道半径为 $\frac{vT}{2\pi}$
B. 月球的平均密度为 $\frac{3\pi}{GT^2}$
C. “嫦娥三号”探月卫星的质量为 $\frac{v^3T}{2\pi G}$
D. 月球表面的重力加速度为 $\frac{2\pi v}{T}$

10. (1) 已知地球半径为 R ，地球表面的重力加速度为 g ，引力常量为 G ，月球绕地球运动的周期为 T ，且把月球绕地球的运动近似看作匀速圆周运动，忽略地球的自转。试求出月球绕地球运动的轨道半径 r ；

(2) 若某位宇航员随登月飞船登陆月球后，在月球表面某处以速度 v_0 竖直向上抛出一个球，经过时间 t 小球落回抛出点。已知月球半径为 $R_{\text{月}}$ ，引力常量为 G ，忽略月球的自转。试求出月球的质量 $m_{\text{月}}$ 。