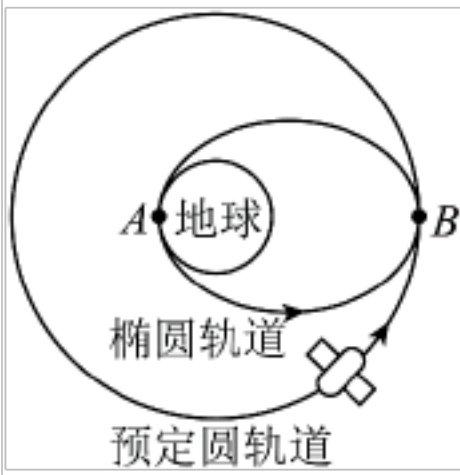


专题五 万有引力与航天

专题检测题组(时间:90分钟 满分:100分)

一、选择题(每小题3分,共45分)

1. 2023年4月16日,我国成功发射风云三号07星,如图所示为其发射过程的简化示意图:运载火箭将风云三号07星送入近地点为A、远地点为B的椭圆轨道上,卫星运行稳定后实施变轨,进入预定圆轨道,已知圆轨道离地高度为h,地球半径为R,地球表面重力加速度为g,忽略地球自转的影响。对风云三号07星,下列说法正确的是()



A. 在椭圆轨道经过A点时的线速度等于第一宇宙速度

B. 在椭圆轨道经过B点时的角速度等于 $\sqrt{\frac{gR^2}{R+h^3}}$

C. 在椭圆轨道经过B点时的加速度小于在预定圆轨道经过B点时的加速度

D. 在椭圆轨道的运行周期小于在预定圆轨道的运行周期

2. 谷歌和NASA宣布,他们发现了第二个“太阳系”——开普勒-90系统。开普勒-90系统的中心恒星比太阳稍大、更炽热、质量也更大,但其他许多方面均类似太阳。开普勒-90i是该系统中最小的行星,它的表面布满岩石,表面温度约426.7摄氏度,公转周期约14天,而地球的公转周期是365天。假设开普勒-90i和地球都做圆周运动,则()

A. 开普勒-90i做圆周运动的角速度一定比地球的角速度小

B. 开普勒-90i做圆周运动的线速度一定比地球的线速度大

C. 开普勒-90对开普勒-90i的引力一定比太阳对地球的引力大

D. 开普勒-90i做圆周运动的轨道半径的三次方与公转周期的平方之比一定比地球的大

3. 2022年7月14日下午,长征五号B火箭成功将我国空间站的首个实验舱“问天”实验舱送入太空与天和核心舱进行对接,随后神舟十四号乘组顺利进入问天实验舱,开启了太空实验的新阶段。如图所示,已知空间站在距地球表面高约400km的近地轨道上做匀速圆周运动,地球半径约为6400km,万有引力常量为G,则下列说法正确的是()

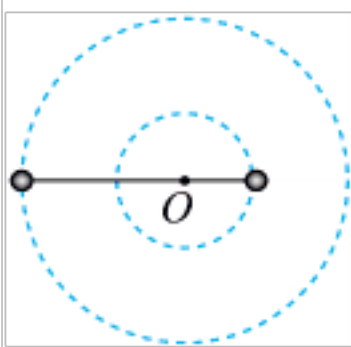


- A. 空间站绕地球运行的速度大于第一宇宙速度
- B. 若已知空间站的运行周期则可以计算出地球的质量
- C. “问天”实验舱需先进入核心舱所在的轨道，再加速追上核心舱完成对接
- D. 核心舱在轨运行时，舱内宇航员的加速度为0

4. 2022年10月，我国成功将“夸父一号”发射升空，它在距离地球表面高度约720km的圆轨道上绕地球做匀速圆周运动，已知地球同步卫星离地球表面高度约36000km，下列说法正确的是（ ）

- A. “夸父一号”围绕地球公转周期约为1天
- B. “夸父一号”围绕地球公转周期约为365天
- C. “夸父一号”的运行速度大于第一宇宙速度
- D. “夸父一号”的运行速度大于地球同步卫星的运行速度

5. 天文学家发现了一对被称为“灾难变星”的罕见双星系统，约每51分钟彼此绕行一圈，通过天文观测的数据，模拟该双星系统的运动，推测在接下来的7000万年里，这对双星彼此绕行的周期逐渐减小至18分钟。如果将该双星系统简化为理想的圆周运动模型，如图所示，两星球在万有引力作用下，绕O点做匀速圆周运动。不考虑其他天体的影响，两颗星球的质量不变，在彼此绕行的周期逐渐减小的过程中，下列说法中正确的是（ ）



- A. 每颗星球的角速度都在逐渐变小
- B. 两颗星球的距离在逐渐的变大
- C. 两颗星球的轨道半径之比保持不变
- D. 每颗星球的加速度都在变小

6. “嫦娥四号”是嫦娥探月工程计划中嫦娥系列的第四颗人造探月卫星，主要任务是更深层次、更加全面地科学探测月球地貌、资源等方面的信息，完善月球档案资料。已知引力常量为 G ，地球半

径为 R ，月球的半径为地球半径的 k 倍，地球表面重力加速度为 g ，月球表面的重力加速度为地球表面重力加速度的 n 倍，“嫦娥四号”离月球中心的距离为 r ，绕月周期为 T 。根据以上信息判断

下列说法正确的是（ ）

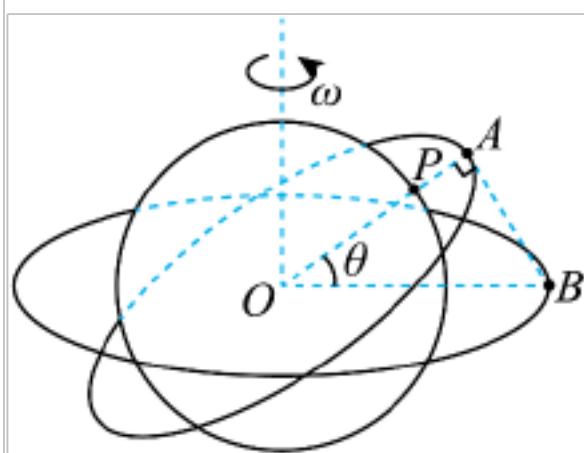
- A. 月球的第一宇宙速度是地球的第一宇宙速度的 $\sqrt{\frac{n}{k}}$ 倍
- B. “嫦娥四号”绕月运行的速度为 $\sqrt{\frac{gnk^2r^2}{R}}$
- C. 月球的平均密度为 $\frac{3r^3}{GT^2k^3R^3}$
- D. “嫦娥四号”只要减速运动就能返回地球

7. 2021 年 10 月 16 日神舟十三号采用自主快速交会对接模式成功对接于天和核心舱径向端口，与此前已对接的天舟二号、天舟三号货运飞船一起构成四舱（船）组合体。若该组合体绕地球运行轨道近似为圆形，周期为 92 分钟左右。由此可以判断（ ）

- A. 该组合体比地球同步卫星运行线速度小
- B. 该组合体比地球同步卫星向心加速度大
- C. 该组合体比地球同步卫星运行角速度小
- D. 该组合体比地球同步卫星运行周期大

8. 北斗导航系统是我国自行研制的全球卫星导航系统，现有 55 颗卫星组成。如图所示，P 是纬度为 θ 的地球表面上一点，人造地球卫星 A、B 均做匀速圆周运动，卫星 B 为地球赤道同步卫星。

若某时刻 P、A、B 与地心 O 在同一平面内，其中 O、P、A 在一条直线上，且 $\angle OAB = 90^\circ$ ，下列说法正确的是（ ）



- A. P 点向心加速度大于卫星 A 的向心加速度
- B. 卫星 A、B 与 P 点均绕地心做匀速圆周运动
- C. 卫星 A、B 的线速度之比为 $\frac{v_A}{v_B} = \sqrt{\cos \theta}$
- D. 卫星 A、B 的周期之比为 $\frac{T_A}{T_B} = \sqrt{\cos^3 \theta}$

9. 两个天体组成双星系统，它们在相互之间的万有引力作用下，绕连线上某点做周期相同的匀速圆周运动。科学家在地球上用望远镜观测由两个小行星构成的双星系统，看到一个亮度周期性变化的

光点，这是因为当其中一个天体挡住另一个天体时，光点亮度会减弱。科学家用航天器以某速度撞击该双星系统中较小的小行星，撞击后，科学家观测到光点明暗变化的时间间隔变短。不考虑撞击后双星系统的质量变化。根据上述材料，下列说法正确的是（ ）

- A. 被航天器撞击后，双星系统的运动周期变大
- B. 被航天器撞击后，两个小行星中心连线的距离增大
- C. 被航天器撞击后，双星系统的引力势能减小
- D. 小行星质量越大，其运动的轨道越容易被改变

10. 宇航员登上某半径为 R 的球形未知天体，在该天体表面将一质量为 m 的小球以初速度 v_0 竖直上抛，上升的最大高度为 h ，万有引力常量为 G 。则（ ）

- A. 该星球表面重力加速度为 $\frac{v_0^2}{2h}$
- B. 该星球质量为 $\frac{v_0^2 R^2}{Gh}$
- C. 该星球的近地面环绕卫星运行周期为 $\frac{2\sqrt{hR}}{v_0}$
- D. 小球到达最大高度所需时间 $\frac{h}{v_0}$

11. 2021 年 2 月 10 日，在历经近 7 个月的太空飞行后，我国首个火星探测器“天问一号”成功

“太空刹车”，顺利被火星捕获，进入环火星轨道。物体在万有引力场中具有势能叫作引力势

能，若取两物体相距无穷远时的引力势能为零，一个质量为 m 的质点距质量为 M 的引力源中心为 r

时，其引力势能 $E_p = -\frac{GMm}{r}$ （式中 G 为引力常量）。已知地球半径约为 6400km ，地球的第一宇

宙速度为 7.9km/s ，火星半径约为地球半径的 $\frac{1}{2}$ ，火星质量约为地球质量的 $\frac{1}{9}$ 。则以下“天问一

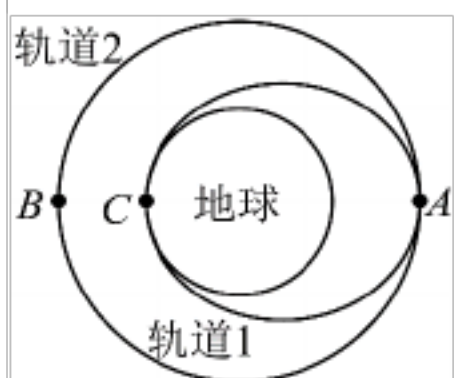
号”相对于火星的速度大于火星第二宇宙速度的是（ ）

- A. 7.9km/s
- B. 5.5km/s
- C. 4.0km/s
- D. 3.2km/s

12. 某载人飞船发射过程可以简化为如图所示，轨道 1 是椭圆轨道，变轨后到圆轨道 2，A 点和 C

点分别是轨道 1 的远日点和近日点，B 点是轨道 2 上与 A、C 共线的点，A 点距地心的距离为 $2r$ ，C

点距地心的距离为 r ，则（ ）



- A. 飞船在轨道 1 上过 C 点的速度大于轨道 2 过 A 点的速度

- B. 若轨道 2 的速度为 v ，则轨道 1 在 A 点的加速度为 $\frac{v^2}{2r}$
- C. 在轨道 1 上运行的周期与轨道 2 上运行周期的之比为 $\frac{27}{64}$
- D. 在轨道 1 上由 C 点运动到 A 点的过程中，由于离地高度越来越大，所以机械能逐渐增大

13. 我国载人航天事业已迈入“空间站时代”。若中国空间站绕地球近似做匀速圆周运动，运行周

期为 T ，轨道半径约为地球半径的 $\frac{17}{16}$ 倍，已知地球半径为 R ，引力常量为 G ，忽略地球自转的影

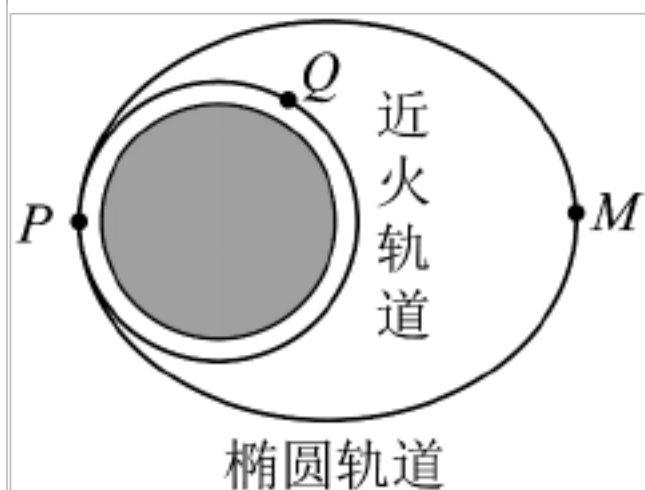
响，则（ ）

- A. 漂浮在空间站中的宇航员不受地球的引力
- B. 空间站绕地球运动的线速度大小约为 $\frac{17 R}{8T}$
- C. 地球的平均密度约为 $\frac{3}{GT^2} \frac{16^3}{17}$
- D. 空间站绕地球运动的向心加速度大小约为地面重力加速度的 $\frac{16^2}{17}$ 倍

14. 2021 年 2 月 10 日，“天问一号”探测器成功进入环绕火星椭圆轨道，在椭圆轨道的近火点 P

（接近火星表面）制动后顺利进入近火轨道，Q 点为近火轨道上的另一点，M 点是椭圆轨道的远地

点，椭圆轨道的半长轴等于圆形轨道的直径，如图所示。下列说法正确的是（ ）



- A. 探测器在 M 点的速度最大
- B. 探测器在 Q 点与椭圆轨道上的 P 点的加速度大小相等
- C. 探测器在椭圆轨道上 P 点与 M 点的速度之比为 3:1
- D. 探测器在椭圆轨道与圆轨道上的周期之比为 1

15. 木星有多颗卫星，其中木卫一、木卫二、木卫三、木卫四是意大利天文学家伽利略在 1610 年

用自制的望远镜发现的，这四个做圆周运动的卫星后被称为伽利略卫星。已知木卫一的公转周期为

T_1 、木卫二的公转周期为 T_2 、木卫三的公转周期为 T_3 ，且满足 $T_1:T_2:T_3=1:2:4$ 万有引力常量为

G 。若木卫一的公转半径为 R_1 ，根据给出的信息可以求出（ ）

- A. 木卫二和木卫三的公转半径
- B. 木星的质量
- C. 木星表面的重力加速度
- D. 木星的密度

二、非选择题(共 55 分)

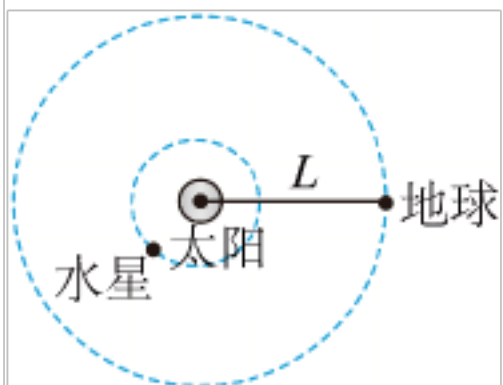
16. (8 分) 宇航员登上某半径为 R 的球形未知天体, 在该天体表面将一质量为 m 的小球以初速度

v_0 竖直上抛, 上升的最大高度为 h , 万有引力常量为 G 。求:

- (1) 该未知天体表面的重力加速度大小;
- (2) 该未知天体的质量。

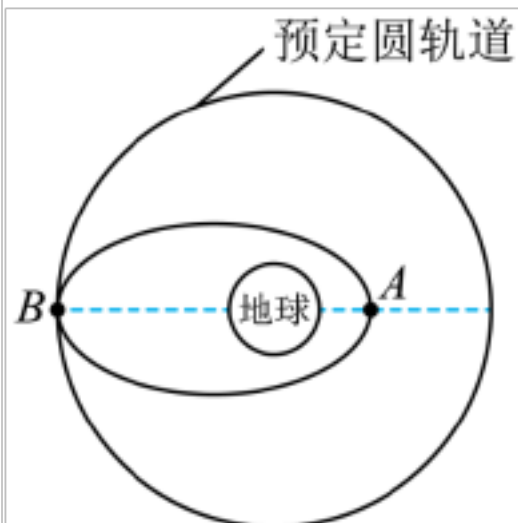
17. (10 分) 如图所示, 水星、地球绕太阳的公转可以看成同一平面内的匀速圆周运动。已知太阳的半径为 R , 地球—水星连线与地球—太阳连线夹角的最大值为 θ , 地球的轨道半径为 L , 地球的公转周期为 T , 万有引力常量为 G 。求:

- (1) 太阳的密度 ;
- (2) 水星的公转周期 T 。



18. (10分) 我国首次执行载人航天飞行的“神舟”六号飞船于2005年10月12日在中国酒泉卫星发射中心发射升空,由“长征—2F”运载火箭将飞船送入近地点为A、远地点为B的椭圆轨道上。近地点A距地面高度为 h_1 。实施变轨后,进入预定圆轨道,如图所示。在预定圆轨道上飞行 n 圈所用时间为 t ,之后返回。已知引力常量为 G ,地球表面重力加速度为 g ,地球半径为 R ,求:

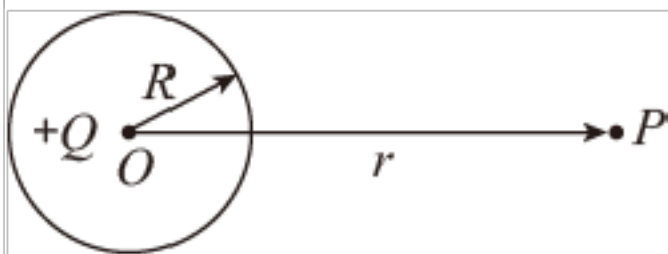
- (1) 飞船在预定圆轨道上运动的周期为多大?
- (2) 预定圆轨道距地面的高度为多大?
- (3) 飞船在近地点A的加速度为多大?



19. (12分) 牛顿说:“我们必须普遍地承认,一切物体,不论是什么,都被赋予了相互引力的原理”。任何两个物体间存在的相互作用的引力,都可以用万有引力定律 $F_{万} = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ 计算,而且任何两个物体之间都存在引力势能,若规定物体处于无穷远处时的势能为零,则二者之间引力势能的大小为 $E_p = -G \frac{m_1 m_2}{r}$,其中 m_1 、 m_2 为两个物体的质量, r 为两个质点间的距离(对于质量分布均匀的球体,指的是两个球心之间的距离), G 为引力常量。设有一个质量分布均匀的星球,质量为 M ,半径为 R 。

- (1) 该星球的第一宇宙速度是多少?
- (2) 为了描述电场的强弱,引入了电场强度的概念,请写出电场强度的定义式。类比电场强度的定义,请在引力场中建立“引力场强度”的概念,并计算该星球表面处的引力场强度是多大?
- (3) 该星球的第二宇宙速度是多少?

(4) 如图所示是一个均匀带电实心球的剖面图，其总电荷量为 $+Q$ （该带电实心球可看作电荷集中在球心处的点电荷），半径为 R ， P 为球外一点，与球心间的距离为 r ，静电力常量为 k 。现将一个点电荷 $-q$ （该点电荷对实心球周围电场的影响可以忽略）从球面附近移动到 p 点，请参考引力势能的概念，求电场力所做的功。



20. (15分) 天宫一号是我国研发的一个目标飞行器，目的是作为其他飞行器的接合点，是中国空间实验室的雏形，于北京时间2011年9月29日21时16分03秒发射升空。

(1) 若万有引力常量为 G ，地球质量为 M_D ，地球半径为 R_D ，天宫一号离地面的高度为 H ，求：天宫一号的运行周期 T ；

(2) 发射天宫一号的速度必须大于第一宇宙速度，试推导第一宇宙速度的表达式；若 $R_D = 6400\text{km}$ ， g 取 10m/s^2 ，求地球的第一宇宙速度 v_1 ；

(3) 若万有引力常量为 G ，中心天体的质量为 M ，质量为 m 的物体距中心天体 r 时具有的引力势能为 $E_p = -G \frac{Mm}{r}$ （以无穷远处势能为零）。求地球的第二宇宙速度 v_2 。

参考答案:

1. D

【详解】A. 卫星在地球表面附近做匀速圆周运动, 运行速度为第一宇宙速度, 卫星在椭圆轨道 A 点时加速做离心运动, 则线速度大于第一宇宙速度, 故 A 错误;

B. 卫星进入预定圆轨道做匀速圆周运动, 由万有引力提供向心力得

$$G \frac{Mm}{R+h} = m \omega^2 (R+h)$$

又

$$G \frac{Mm}{R^2} = mg$$

联立解得卫星在预定圆轨道上的角速度为

$$\sqrt{\frac{gR^2}{R+h^3}}$$

由于卫星在椭圆轨道和预定圆轨道上经过 B 点时向心力相等, 但曲率半径不相等, 则卫星在椭圆轨道经过

B 点时的角速度不等于 $\sqrt{\frac{gR^2}{R+h^3}}$, 故 B 错误;

C. 由牛顿第二定律可得

$$\frac{GMm}{r^2} = ma$$

解得

$$a = \frac{GM}{r^2}$$

可知卫星在椭圆轨道和预定圆轨道经过 B 点时的加速度相同, 故 C 错误;

D. 设卫星在椭圆轨道的运行周期为 T_1 , 在预定圆轨道的运行周期为 T_2 , 根据开普勒第三定律有

$$\frac{\frac{2R+h^3}{2}}{T_1^2} = \frac{R+h^3}{T_2^2}$$

解得

$$T_1 = T_2$$

故 D 正确。

故选 D。

2. D

【详解】D. 天体做圆周运动，万有引力提供向心力，有

$$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$$

解得

$$\frac{r^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2}$$

由于开普勒-90 系统的中心恒星比太阳质量大，可知开普勒-90 i 做圆周运动的轨道半径的三次方与公转周期的平方之比一定比地球的大，D 正确；

AB. 开普勒-90 i 的公转周期比地球的公转周期小，根据 $\frac{2\pi}{T}$ 可得开普勒-90 i 做圆周运动的角速度大，但是无法确定开普勒-90 i 做圆周运动的轨道半径与地球的轨道半径的关系，也无法确定开普勒-90 i 做圆周运动的线速度与地球的线速度的大小关系，AB 错误；

C. 开普勒-90 i 与地球的质量关系、它们做圆周运动的轨道半径关系都不确定，故也无法确定它们与中心天体之间的引力关系，C 错误。

故选 D。

3. B

【详解】A. 第一宇宙速度是最大的环绕速度，空间站绕地球运行的速度小于第一宇宙速度，选项 A 错误；

B. 根据

$$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$$

空间站的轨道半径已知，若再已知空间站的运行周期，则可以计算出地球的质量，选项 B 正确；

C. “问天”实验舱需先进入低于核心舱所在的轨道，再加速做离心运动追上核心舱完成对接，选项 C 错误；

D. 核心舱在轨运行时，舱内宇航员做匀速圆周运动，则加速度不为 0，选项 D 错误。

故选 B。

4. D

【详解】AB. 根据万有引力提供向心力有

$$\frac{GMm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$$

解得

$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$$

“夸父一号”的轨道半径小于地球同步卫星的轨道半径，“夸父一号”公转周期小于1天，故AB错误；

CD. 根据

$$\frac{GMm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$$

解得

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

“夸父一号”的轨道半径比地球同步卫星的轨道半径小，比近地卫星的轨道半径大，所以“夸父一号”的运行速度比地球同步卫星的运行速度大，比第一宇宙速度小，故C错误，D正确。

故选D。

5. C

【详解】AB. 根据题意，由公式 $\frac{2\pi}{T}$ 可知，由于在彼此绕行的周期逐渐减小，则每颗星球的角速度

都在逐渐变大，设双星转动的角速度为 ω ，双星间距离为 L ，星球的质量分别为 m_1 、 m_2 ，由万有引力

提供向心力有

$$\frac{Gm_1m_2}{L^2} = m_1 \omega^2 r_1 = m_2 \omega^2 r_2$$

解得

$$\omega = \sqrt{\frac{G(m_1+m_2)}{L^3}}$$

可知，距离 L 逐渐的变小，故AB错误；

C. 根据题意，由万有引力提供向心力有

$$\frac{Gm_1m_2}{L^2} = m_1 \omega^2 r_1 = m_2 \omega^2 r_2$$

解得

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{m_2}{m_1}$$

由于星球质量不变，则两颗星球的轨道半径之比保持不变，故C正确；

D. 由万有引力公式提供向心力有

$$\frac{Gm_1m_2}{L^2} = m_1 a_1 = m_2 a_2$$

可知，由于距离 L 逐渐的变小，每颗星球的加速度都在变大，故D错误。

故选C。

6. C

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/417060154036010005>