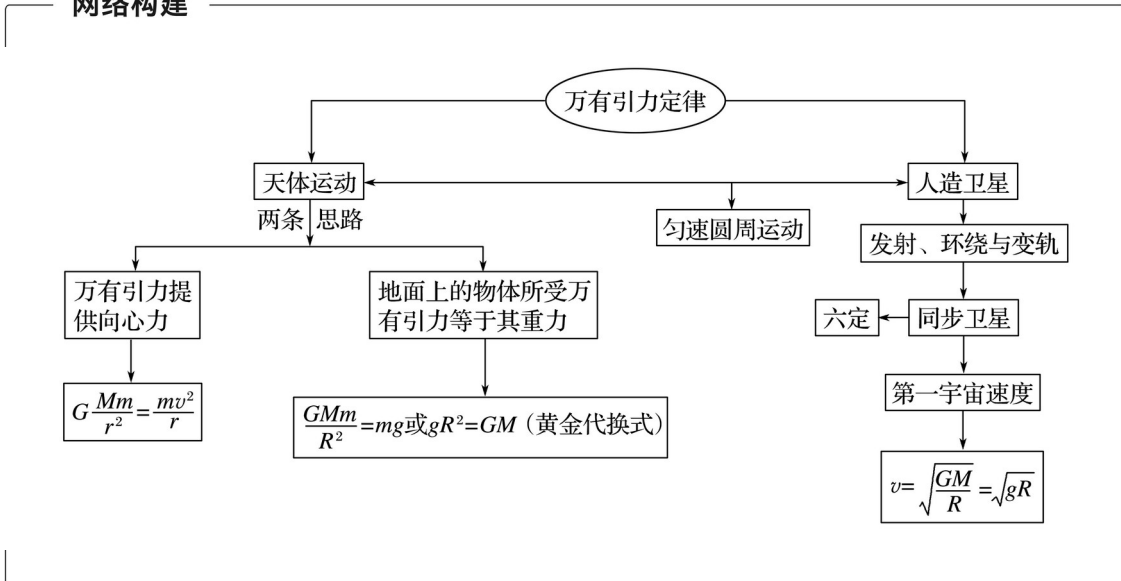




## 专题4 万有引力与航天

### 网络构建



### 考题一 天体质量(密度)的估算

#### 方法指导

求解中心天体质量密度的方法

1. 利用天体表面的重力加速度  $g$  和天体半径  $R$  求解

由于  $G = mg$ , 故天体质量  $M =$  .

2. 利用卫星绕天体做匀速圆周运动求解

(1) 已知卫星的轨道半径  $r$  和该轨道上的重力加速度  $g$ , 根据  $= mg$ , 得  $M =$  ; (2) 已知卫星线速度  $v$  和轨道半径  $r$ , 根据  $=$  得  $M =$  ; (3) 已知卫星运转周期  $T$  和轨道半径  $r$ , 由  $= mr$  得  $M =$  ; (4) 已知卫星线速度  $v$  和运转周期  $T$ , 根据  $= mv$  和  $r =$  得  $M =$  .

3. 天体密度的估算一般在质量估算的基础上, 利用  $M = \rho \cdot \pi R^3$  进行.

#### 典例剖析

例1 宇宙中有两颗相距无限远的恒星  $S_1$ 、 $S_2$ , 半径均为  $R_0$ . 图1分别是两颗恒星周围行星的

公转周期  $T^2$  与半径  $r^3$  的图象，则( )

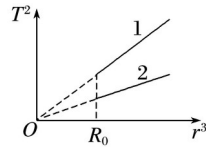


图 1

- A. 恒星  $S_1$  的质量大于恒星  $S_2$  的质量
- B. 恒星  $S_1$  的密度小于恒星  $S_2$  的密度
- C. 恒星  $S_1$  的第一宇宙速度大于恒星  $S_2$  的第一宇宙速度
- D. 距两恒星表面高度相同的行星， $S_1$  的行星向心加速度较大

解析 两颗恒星周围的行星绕恒星做匀速圆周运动，万有引力提供向心力， $G = mr$ ，变形得  $T^2 = \frac{4\pi^2 r^3}{GM}$ 。故图象的斜率越大，质量越小。故恒星  $S_1$  的质量小于恒星  $S_2$  的质量。故 A 错。因为两颗恒星的半径相等，所以体积相等，故恒星  $S_1$  的密度小于恒星  $S_2$  的密度，故 B 对。由  $G = m$  变形后得第一宇宙速度  $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ ，即质量越大，第一宇宙速度越大。故恒星  $S_1$  的第一宇宙速度小于恒星  $S_2$  的第一宇宙速度，故 C 错。行星向心加速度  $a = \frac{GM}{r^2}$ ，行星距两恒星表面高度相同，故质量越大，加速度越大，故 D 错。

答案 B

【变式训练】

1. 地质勘探发现某地区表面的重力加速度发生了较大的变化，怀疑地下有空腔区域。进一步探测发现在地面  $P$  点的正下方有一球形空腔区域储藏有天然气，如图 2 所示。假设该地区岩石均匀分布且密度为  $\rho$ ，天然气的密度远小于  $\rho$ ，可忽略不计。如果没有该空腔，地球表面正常的重力加速度大小为  $g$ ；由于空腔的存在，现测得  $P$  点处的重力加速度大小为  $kg(k < 1)$ 。已知引力常量为  $G$ ，球形空腔的球心深度为  $d$ ，则此球形空腔的体积是( )

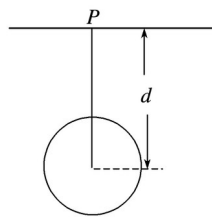


图 2

- A.  $\frac{4\pi d^3 \rho (1-k)G}{3}$
- B.  $\frac{4\pi d^3 \rho (1-k)G}{3\rho g}$
- C.  $\frac{4\pi d^3 \rho (1-k)G}{3\rho g^2}$
- D.  $\frac{4\pi d^3 \rho (1-k)G}{3\rho g^3}$

答案 D

解析 如果将近地表的球形空腔填满密度为  $\rho$  的岩石，则该地区重力加速度便回到正常值，因此，如果将空腔填满，地面质量为  $m$  的物体重力为  $mg$ ，没有填满时是  $kmg$ ，故空腔填满后引起的引力为  $(1-k)mg$ ；由万有引力定律，有： $(1-k)mg = G \frac{M_{\text{cavity}} m}{d^2}$ ，解得： $V = \frac{4\pi d^3 \rho (1-k)G}{3\rho g^3}$ ，D 对。

2. 某行星外围有一圈厚度为  $d$  的发光带(发光的物质)，简化为如图 3 甲所示模型， $R$  为该行

星除发光带以外的半径.现不知发光带是该行星的组成部分还是环绕该行星的卫星群,某科学家做了精确地观测,发现发光带绕行星中心的运行速度与到行星中心的距离  $r$  的关系如图乙所示(图中所标量为已知),则下列说法正确的是( )

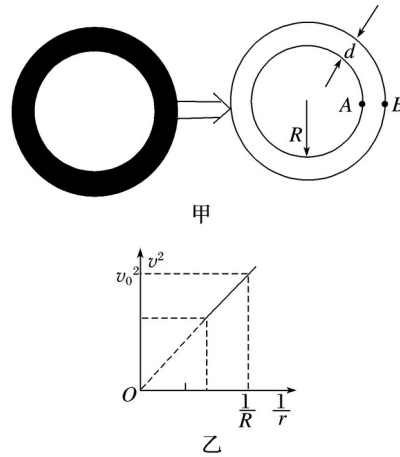


图 3

- A. 发光带是该行星的组成部分
- B. 该行星的质量  $M =$
- C. 行星表面的重力加速度  $g =$
- D. 该行星的平均密度为  $\rho =$

答案 BC

解析 若发光带是该行星的组成部分,则其角速度与行星自转角速度相同,应有  $v = \omega r$ ,  $v$  与  $r$  应成正比,与图不符,因此该发光带不是该行星的组成部分,故 A 错误,发光带是环绕该行星的卫星群,由万有引力提供向心力,则有:  $G =$  得该行星的质量为:  $M =$ ; 由题图知,  $r = R$  时,  $v = v_0$ , 则有:  $M =$ . 故 B 正确. 当  $r = R$  时有  $mg = m$ , 得行星表面的重力加速度  $g =$ , 故 C 正确. 该行星的平均密度为  $\rho =$ , 故 D 错误, 故选 B、C.

3.“嫦娥二号”绕月卫星于 2010 年 10 月 1 日 18 时 59 分 57 秒在西昌卫星发射中心发射升空,并获得了圆满成功.“嫦娥二号”新开辟了地月之间的“直航航线”,即直接发射至地月转移轨道再进入距月面约  $h = 1 \times 10^5$  m 的圆形工作轨道,开始进行科学探测活动.设月球半径为  $R$ ,月球表面的重力加速度为  $g_{月}$ ,万有引力常量为  $G$ ,则下列说法正确的是( )

- A. 由题目条件可知月球的平均密度为
- B. “嫦娥二号”在工作轨道上绕月球运行的周期为  $2\pi$
- C. “嫦娥二号”在工作轨道上的绕行速度为
- D. “嫦娥二号”在工作轨道上运行时的向心加速度为  $(\ )^2 g_{月}$

答案 AD

解析 在月球表面重力与万有引力相等,由  $G = mg_{月}$  可得月球质量  $M =$ , 据密度公式可得月球密度  $\rho = =$ , 故 A 正确; 根据万有引力提供圆周运动向心力有  $G = m(R + h)$ , 可得周期  $T$

$= \frac{GM}{r^2}$ ，故 B 错误；根据万有引力提供圆周运动向心力  $G = m$  可得“嫦娥二号”绕行速度为  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ，故 C 错误；根据万有引力提供圆周运动向心力  $G = ma$  可得“嫦娥二号”在工作轨道上的向心加速度  $a = \frac{GM}{r^2} = (g_{月})^2$ ，故 D 正确。

## 考题二 人造卫星问题

### 方法指导

解答卫星问题的三个关键点

1. 根据  $G = F_{向} = m = mr\omega^2 = mr = ma$ ，推导、记忆  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 、 $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$ 、 $T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ 、 $a = \frac{GM}{r^2}$  等公式。
2. 理解掌握第一宇宙速度的意义、求法及数值、单位。
3. 灵活应用同步卫星的特点，注意同步卫星与地球赤道上物体的运动规律的区别与联系。

### 典例剖析

例 2 为“照亮”嫦娥四号“驾临”月球背面之路，一颗承载地月中转通信任务的中继卫星将在嫦娥四号发射前半年进入到地月拉格朗日  $L_2$  点。如图 4 所示，在该点，地球、月球和中继卫星位于同一直线上，且中继卫星绕地球做圆周运动的轨道周期与月球绕地球做圆周运动的轨道周期相同，则( )

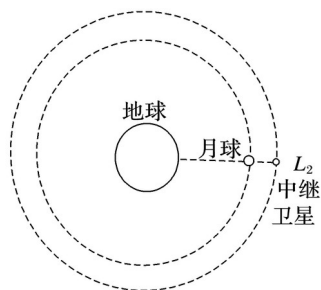


图 4

- A. 中继卫星做圆周运动的向心力由地球和月球的引力共同提供
- B. 中继卫星的线速度大小小于月球的线速度大小
- C. 中继卫星的加速度大小大于月球的加速度大小
- D. 在地面发射中继卫星的速度应大于第二宇宙速度

解析 卫星的向心力由月球和地球引力的合力提供，则 A 正确。卫星与月球绕地球同步运动，角速度相等，根据  $v = r\omega$ ，知卫星的线速度大于月球的线速度。故 B 错误；根据  $a = r\omega^2$  知，卫星的向心加速度大于月球的向心加速度。故 C 正确；在地面发射中继卫星的速度应小于第二宇宙速度，则 D 错误。

答案 AC

【变式训练】

4.(2016·全国丙卷·14)关于行星运动的规律,下列说法符合史实的是( )

- A.开普勒在牛顿定律的基础上,导出了行星运动的规律
- B.开普勒在天文观测数据的基础上,总结出了行星运动的规律
- C.开普勒总结出了行星运动的规律,找出了行星按照这些规律运动的原因
- D.开普勒总结出了行星运动的规律,发现了万有引力定律

答案 B

解析 开普勒在天文观测数据的基础上总结出了开普勒天体运动三定律,找出了行星运动的规律,而牛顿发现了万有引力定律.

5.水星或金星运行到地球和太阳之间,且三者几乎排成一条直线的现象,天文学称为“行星凌日”.已知地球的公转周期为365天,若将水星、金星和地球的公转轨道视为同一平面内的圆轨道,理论计算得到水星相邻两次凌日的时间间隔为116天,金星相邻两次凌日的时间间隔为584天,则下列判断合理的是( )

- A.地球的公转周期大约是水星的2倍
- B.地球的公转周期大约是金星的1.6倍
- C.金星的轨道半径大约是水星的3倍
- D.实际上水星、金星和地球的公转轨道平面存在一定的夹角,所以水星或金星相邻两次凌日的实际时间间隔均大于题干所给数据

答案 BD

解析 水星相邻两次凌日的时间间隔为 $t = 116$ 天,设水星的周期为 $T_1$ ,则有: $t - t = 2\pi$ ,代入数据解得 $T_1 \approx 88$ 天,可知地球公转周期大约是水星的4倍,故A错误;金星相邻两次凌日的时间间隔为584天,设金星的周期为 $T_3$ ,则有: $t - t = 2\pi$ ,代入数据解得 $T_3 \approx 225$ 天,可知地球的公转周期大约是金星的1.6倍,故B正确;根据 $G = mr\omega^2$ ,得 $r = \frac{GM}{\omega^2}$ ,因为水星的公转周期大约是金星的0.4倍,则水星的轨道半径大约是金星的0.5倍,故C错误;由所给资料,若运行轨道平面不存在夹角,那么行星凌日间隔时间会与理论时间一致,而实际与理论不同,故运行轨道平面必然存在夹角,故D正确.

## 考题三 双星与多星问题

### ■ 方法指导

#### 1.双星问题的模型构建

对于做匀速圆周运动的双星问题,双星的角速度(周期)以及向心力大小相等,基本方程式为 $G = M_1 r_1 \omega^2 = M_2 r_2 \omega^2$ ,式中 $L$ 表示双星间的距离, $r_1, r_2$ 分别表示两颗星的轨道半径, $L = r_1 + r_2$ .

#### 2.做匀速圆周运动的双星问题中需要注意的几个关键点

- (1)双星绕它们连线上的某点做匀速圆周运动，两星轨道半径之和与两星距离相等；
- (2)双星做匀速圆周运动的角速度必相等，因此周期也必然相等；
- (3)双星做匀速圆周运动的向心力由双星间相互作用的万有引力提供，大小相等；
- (4)列式时须注意，万有引力定律表达式中的  $r$  表示双星间的距离，而不是轨道半径(双星系统中两颗星的轨道半径一般不同).抓住以上四个“相等”，即向心力、角速度、周期相等，轨道半径之和与两星距离相等，即可顺利求解此类问题.

### 典例剖析

例3 天体  $A$  和  $B$  组成双星系统，围绕两球心连线上的某点做匀速圆周运动的周期均为  $T$ .天体  $A$ 、 $B$  的半径之比为  $2:1$ ，两天体球心之间的距离为  $R$ ，且  $R$  远大于两天体的半径.忽略天体的自转，天体  $A$ 、 $B$  表面重力加速度之比为  $4:1$ ，引力常量为  $G$ ，求  $A$  天体的质量.

[思维规范流程]

|                              |  |
|------------------------------|--|
| 对 $A$ 、 $B$ 分别列牛顿第二定律表达式     | 对 $A$ : $G = M_1 R_1$ ①<br>对 $B$ : $G = M_2 R_2$ ② |
| 轨道半径与两天体之间关系                 | $R_1 + R_2 = R$ ③                                  |
| 在 $A$ 、 $B$ 表面：<br>$F_B = G$ | 对 $A$ : $4mg =$ ④<br>对 $B$ : $mg =$ ⑤              |
| 结论                           | 得 $M_1 =$ ⑥  |

每式各 2 分

【变式训练】

6.美国在 2016 年 2 月 11 日宣布“探测到引力波的存在”.天文学家通过观测双星轨道参数的变化来间接验证引力波的存在，证实了 GW150914 是一个 36 倍太阳质量的黑洞和一个 29 倍太阳质量的黑洞合并事件.假设这两个黑洞绕它们连线上的某点做圆周运动，且这两个黑洞的间距缓慢减小.若该黑洞系统在运动过程中各自质量不变且不受其他星系的影响，则关于这两个黑洞的运动，下列说法正确的是( )

- A.这两个黑洞运行的线速度大小始终相等
- B.这两个黑洞做圆周运动的向心加速度大小始终相等
- C.36 倍太阳质量的黑洞轨道半径比 29 倍太阳质量的黑洞轨道半径大
- D.随两个黑洞的间距缓慢减小，这两个黑洞运行的周期也在减小

答案 D

解析 这两个黑洞共轴转动，角速度相等，根据  $v = \omega r$  可知，由于不知道两个黑洞的转动半径关系，所以线速度大小不一定相等，故 A 错误；根据  $a = \omega^2 r$  可知，由于不知道两个黑洞的转动半径关系，所以向心加速度大小不一定相等，故 B 错误；两个黑洞都是做圆周运动，则  $m_1 \omega^2 r_1 = m_2 \omega^2 r_2$ ，可以得到半径与质量成反比关系，质量大的半径小，故选项 C 错误；根据  $G = \frac{m_1 m_2}{r^2}$  可得， $m_2 = \frac{m_1}{r_1}$ ，根据  $G = \frac{m_1 m_2}{r_2^2}$  可得， $m_1 = \frac{m_2}{r_2}$ ，所以  $m_1 + m_2 = \frac{m_1}{r_1} + \frac{m_1}{r_2} = \frac{m_1(r_1 + r_2)}{r_1 r_2}$ ，当  $m_1 + m_2$  不变时， $r$  减小，则  $T$  减小，即双星系统运行周期会随间距减小而减小，故 D 正确。

7. 由三颗星体构成的系统，叫做三星系统。有这样一种简单的三星系统：质量刚好都相同的三个星体  $a$ 、 $b$ 、 $c$  在三者相互之间的万有引力作用下，分别位于等边三角形的三个顶点上，绕某一共同的圆心  $O$  在三角形所在的平面内做相同周期的圆周运动，若三个星体的质量均为  $m$ ，三角形的边长为  $a$ ，万有引力常量为  $G$ ，则下列说法正确的是( )

- A. 三个星体做圆周运动的轨道半径为  $a$
- B. 三个星体做圆周运动的周期均为  $2\pi a$
- C. 三个星体做圆周运动的线速度大小均为  $\frac{2\pi a}{T}$
- D. 三个星体做圆周运动的向心加速度大小均为  $\frac{4\pi^2 a}{T^2}$

答案 B

解析 由几何关系知；它们的轨道半径为  $r = \frac{a}{\sqrt{3}}$ ，故 A 错误；根据合力提供向心力有： $2 \cdot \frac{Gm^2}{a^2} \cos 30^\circ = m \frac{v^2}{r} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$  得星体做圆周运动的周期为： $T = 2\pi a$ ，线速度为： $v = \frac{2\pi a}{T}$ ，向心加速度为： $a' = \frac{4\pi^2 a}{T^2}$ ，故 B 正确，C、D 错误。

## 专题规范练

1. 有研究表明，目前月球远离地球的速度是每年  $3.82 \pm 0.07 \text{cm}$ 。则 10 亿年后月球与现在相比( )

- A. 绕地球做圆周运动的周期变小
- B. 绕地球做圆周运动的加速度变大
- C. 绕地球做圆周运动的线速度变小
- D. 地月之间的引力势能变小

答案 C

解析 对月球进行分析，根据万有引力提供向心力，则： $\frac{GMm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ ，则： $T = \frac{2\pi r}{v}$ ，由于半径变大，故周期变大，故选项 A 错误。根据  $\frac{GMm}{r^2} = ma$ ，则： $a = \frac{GM}{r^2}$ ，由于半径变大，故加速度变小，故选项 B 错误；根据  $\frac{GMm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ ，则  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ，由于半径变大，故线速度变小，故选项 C 正确；由于月球远离地球，万有引力做负功，故引力势能变大，故选项 D 错误。

2. 2014 年 3 月 8 日，马来西亚航空公司从吉隆坡飞往北京的航班 MH370 失联，MH370 失联后多个国家积极投入搜救行动，在搜救过程中卫星发挥了巨大的作用。其中我国的北斗导航

系统和美国的 GPS 导航系统均参与搜救工作，北斗导航系统包含 5 颗地球同步卫星，而 GPS 导航系统由运行周期为 12 小时的圆轨道卫星群组成，下列说法正确的是( )

- A.发射人造地球卫星时，发射速度只要大于 7.9 km/s 就可以
- B.北斗同步卫星的线速度与 GPS 卫星的线速度之比为
- C.北斗同步卫星的机械能一定大于 GPS 卫星的机械能
- D.卫星向地面上同一物体拍照时，GPS 卫星的拍摄视角小于北斗同步卫星的拍摄视角

答案 B

解析 发射不同的人造地球卫星，发射速度要求是不相同的，故 A 错；北斗同步卫星的周期是 24 h，GPS 导航系统卫星的周期为 12 小时，根据开普勒第三定律可得半径比为，万有引力提供向心力，由  $v = \frac{2\pi r}{T}$ ，得线速度之比为，B 对；不知道北斗同步卫星和 GPS 卫星的质量，无法比较机械能，C 错；GPS 卫星半径小于北斗同步卫星运动半径，得 GPS 卫星的拍摄视角大于北斗同步卫星的拍摄视角，D 错。

3.(多选)(2016·江西八校联盟模拟)我国志愿者王跃曾与俄罗斯志愿者一起进行“火星 500”的模拟实验活动.假设王跃登陆火星后，测得火星的半径是地球半径的，质量是地球质量的.已知地球表面的重力加速度是  $g$ ，地球的半径为  $R$ ，王跃在地球表面能竖直向上跳起的最大高度为  $h$ ，忽略自转的影响.下列说法正确的是( )

- A.火星的密度为
- B.火星的第一宇宙速度与地球的第一宇宙速度相等
- C.火星表面的重力加速度为
- D.王跃在火星表面能竖直向上跳起的最大高度为

答案 ACD

4.(2016·四川理综·3)国务院批复，自 2016 年起将 4 月 24 日设立为“中国航天日”.1970 年 4 月 24 日我国首次成功发射的人造卫星东方红一号，目前仍然在椭圆轨道上运行，其轨道近地点高度约为 440 km，远地点高度约为 2 060 km；1984 年 4 月 8 日成功发射的东方红二号卫星运行在赤道上空 35 786 km 的地球同步轨道上.设东方红一号在远地点的加速度为  $a_1$ ，东方红二号的加速度为  $a_2$ ，固定在地球赤道上的物体随地球自转的加速度为  $a_3$ ，则  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$  的大小关系为( )

- A.  $a_2 > a_1 > a_3$
- B.  $a_3 > a_2 > a_1$
- C.  $a_3 > a_1 > a_2$
- D.  $a_1 > a_2 > a_3$

答案 D

解析 由于东方红二号卫星是同步卫星，则其角速度和赤道上的物体角速度相等，根据  $a = \omega^2 r$ ， $r_2 > r_3$ ，则  $a_2 > a_3$ ；由万有引力定律和牛顿第二定律得， $G = ma$ ，由题目中数据可以得出， $r_1 < r_2$ ，则  $a_2 < a_1$ ；综合以上分析有， $a_1 > a_2 > a_3$ ，选项 D 正确。

5.(2016·天津理综·3)如图 1 所示，我国即将发射“天宫二号”空间实验室，之后发射“神舟十一

号”飞船与“天宫二号”对接.假设“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( )

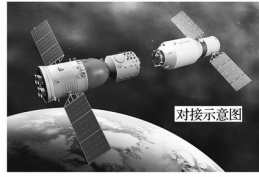


图 1

- 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

答案 C

解析 若使飞船与空间实验室在同一轨道上运行，然后飞船加速，所需向心力变大，则飞船将脱离原轨道而进入更高的轨道，不能实现对接，选项 A 错误；若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，所需向心力变小，则空间实验室将脱离原轨道而进入更低的轨道，不能实现对接，选项 B 错误；要想实现对接，可使飞船在比空间实验室半径较小的轨道上加速，然后飞船将进入较高的空间实验室轨道，逐渐靠近空间实验室后，两者速度接近时实现对接，选项 C 正确；若飞船在比空间实验室半径较小的轨道上减速，则飞船将进入更低的轨道，不能实现对接，选项 D 错误.

6.(多选)已知地球自转周期为  $T_0$ ，有一颗与同步卫星在同一轨道平面的低轨道卫星，自西向东绕地球运行，其运行半径为同步轨道半径的四分之一，该卫星两次在同一城市的正上方出现的时间间隔可能是( )

- A. B. C. D.

答案 CD

解析 设地球的质量为  $M$ ，卫星的质量为  $m$ ，运动周期为  $T$ ，因为卫星做圆周运动的向心力由万有引力提供，有： $\frac{GMm}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$  解得： $T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ . 同步卫星的周期与地球自转周期相同，即为  $T_0$ . 已知该人造卫星的运行半径为同步卫星轨道半径的四分之一，所以该人造卫星与同步卫星的周期之比是： $\frac{T}{T_0} = \left(\frac{r}{R}\right)^{\frac{3}{2}} = \left(\frac{1}{4}\right)^{\frac{3}{2}} = \frac{1}{8}$ ，解得  $T = \frac{T_0}{8}$ . 设卫星至少每隔  $t$  时间才在同一地点的正上方出现一次，根据圆周运动角速度与所转过的圆心角的关系  $\theta = \omega t$  得： $t = 2n\pi + t$ ；解得  $t = \frac{T_0}{7n}$ ，当  $n = 1$  时  $t = \frac{T_0}{7}$ ， $n = 3$  时  $t = \frac{T_0}{21}$ ，故 A、B 错误，C、D 正确.

7.据新华社北京 3 月 21 日电，记者 21 日从中国载人航天工程办公室了解到，已在轨工作 1 630 天的天宫一号目标飞行器在完成与三艘神舟飞船交会对接和各项试验任务后，由于超期服役两年半时间，其功能已于近日失效，正式终止了数据服务.根据预测，天宫一号的飞行

轨道将在今后数月内逐步降低，并最终进入大气层烧毁.若天宫一号服役期间的轨道可视为圆且距地面  $h(h \approx 343 \text{ km})$ ，运行周期为  $T$ ，地球的半径为  $R$ ，下列关于天宫一号的说法正确的是( )

- A. 因为天宫一号的轨道距地面很近，其线速度小于同步卫星的线速度
- B. 女航天员王亚平曾在天宫一号中漂浮着进行太空授课，那时她不受地球的引力作用
- C. 天宫一号进入外层稀薄大气一小段时间内，克服气体阻力的功小于引力势能的减小量
- D. 由题中信息可知地球的质量为

答案 C

解析 根据万有引力提供向心力可知： $G = m$ ，解得： $v =$ ，由于天宫一号的轨道半径小于同步卫星的半径，则其线速度大于同步卫星的线速度，故 A 错误；航天员在天宫一号中处于失重状态，地球对她的万有引力提供她随天宫一号围绕地球做圆周运动的向心力，不是不受地球的引力作用，故 B 错误；根据动能定理可知引力与空气阻力对天宫一号做的总功应为正值，而引力做的功等于引力势能的减少，即天宫一号克服气体阻力做的功小于引力势能的变化，故 C 正确；根据万有引力提供向心力可知， $G = m$ ，解得： $M =$ ，故 D 错误.

8. 宇宙间是否存在暗物质是物理学之谜，对该问题的研究可能带来一场物理学的革命.为了探测暗物质，我国在 2015 年 12 月 17 日成功发射了一颗被命名为“悟空”的暗物质探测卫星.已知“悟空”在低于同步卫星的轨道上绕地球做匀速圆周运动，经过时间  $t(t$  小于其运动周期)，运动的弧长为  $L$ ，与地球中心连线扫过的角度为  $\theta$ (弧度)，引力常量为  $G$ ，则下列说法中正确的是( )

- A. “悟空”的质量为
- B. “悟空”的环绕周期为
- C. “悟空”的线速度大于第一宇宙速度
- D. “悟空”的向心加速度小于地球同步卫星的向心加速度

答案 B

解析 “悟空”绕地球做匀速圆周运动，根据万有引力提供向心力，只能求出地球质量，不能求出“悟空”的质量，故 A 错误；“悟空”经过时间  $t(t$  小于“悟空”的周期)，它运动的弧长为  $L$ ，它与地球中心连线扫过的角度为  $\theta$ (弧度)，则“悟空”的角速度为： $\omega =$ ，周期  $T =$ ，故 B 正确；“悟空”在低于地球同步卫星的轨道上绕地球做匀速圆周运动，万有引力提供向心力，则有： $= m$ ，得  $v =$ ，可知卫星的轨道半径越大，速率越小，第一宇宙速度是近地卫星的环绕速度，故“悟空”在轨道上运行的速度小于地球的第一宇宙速度，故 C 错误；由  $= ma$  得：加速度  $a = G$ ，则知“悟空”的向心加速度大于地球同步卫星的向心加速度，故 D 错误.

9. (2016·泰安二模)一半径为  $R$ 、密度均匀的自行旋转的行星，其赤道处的重力加速度为极地处重力加速度的  $n$  倍( $n < 1$ ).求该行星的同步卫星距离地面的高度.

答案  $(-1)R$

解析 设行星的质量为  $M$ ，自转的角速度为  $\omega$ ，其极地处的重力加速度为  $g$ 。对质量为  $m_1$  的物体位于极地和赤道时，根据万有引力定律

$$G = m_1g, G - nm_1g = m_1R\omega^2$$

设同步卫星的质量为  $m_2$ ，距离地面的高度为  $h$ ，根据万有引力定律  $G = m_2(R + h)\omega^2$

整理得  $h = (n - 1)R$

10. 假设某天你在一个半径为  $R$  的星球上，手拿一只小球从离星球表面高  $h$  处无初速度释放，测得小球经时间  $t$  落地。若忽略星球的自转影响，不计一切阻力，万有引力常量为  $G$ 。求：

(1) 该星球的质量  $M$ ；

(2) 在该星球上发射卫星的第一宇宙速度大小  $v$ 。

答案 (1) (2)

解析 (1) 根据  $h = \frac{1}{2}gt^2$  可知  $g =$

由  $g = \frac{GM}{R^2}$ ，可得  $M =$

(2) 根据  $mg = m\frac{v^2}{R}$ ，可得  $v =$