

易错点 05 万有引力与航天

目录

01 易错陷阱 (3 大陷阱)

02 举一反三

【易错点提醒一】混淆不同天体的重力加速度

【易错点提醒二】对天体质量和密度的计算公式运用存在错误

【易错点提醒三】混淆卫星不同速度的含义

【易错点提醒四】混淆近地卫星、同步卫星和赤道上物体的运行问题

【易错点提醒五】卫星变轨时不知是加速还是减速且卫星变轨时物理量的变化比较错误。

03 易错题通关

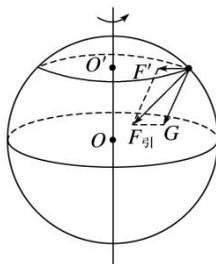


易错点一：应用有引力定律出现错误

一、万有引力和重力的关系

1. 物体在地球表面上所受引力与重力的关系：

除两极以外，地面上其他点的物体，都围绕地轴做圆周运动，这就需要一个垂直于地轴的向心力。地球对物体引力的一个分力 F' 提供向心力，另一个分力为重力 G ，如图所示。



(1) 当物体在两极时： $G = F_{引}$ ，重力达到最大值 $G_{\max} = G \frac{Mm}{R^2}$ 。

(2) 当物体在赤道上时：

$F' = m\omega^2 R$ 最大，此时重力最小

$$G_{\min} = G \frac{Mm}{R^2} - m\omega^2 R$$

(3) 从赤道到两极：随着纬度增加，向心力 $F' = m\omega^2 R'$ 减小， F' 与 $F_{引}$ 夹角增大，所以重力 G 在增大，重力加速度增大。

因为 F' 、 $F_{引}$ 、 G 不在一条直线上，重力 G 与万有引力 $F_{引}$ 方向有偏差，重力大小 $mg < G \frac{Mm}{R^2}$ 。

2. 重力与高度的关系

若距离地面的高度为 h ，则 $mg' = G \frac{Mm}{(R+h)^2}$ (R 为地球半径， g' 为离地面 h 高度处的重力加速度)。在同一纬度，距地面越高，重力加速度越小。

3. 特别说明

(1) 重力是物体由于地球吸引产生的，但重力并不是地球对物体的引力。

(2) 在忽略地球自转的情况下，认为 $mg = G \frac{Mm}{R^2}$ 。

二、天体质量和密度的计算

1. 计算中心天体的质量、密度的两种方法

	使用方法	已知量	利用公式	表达式	备注
质量的 计算	利用运行天体	r 、 T	$G \frac{Mm}{r^2} = m r \frac{4\pi^2}{T^2}$	$M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$	只能得到中心天体的质量
		r 、 v	$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$	$M = \frac{r v^2}{G}$	
		v 、 T	$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ $G \frac{Mm}{r^2} = m r \frac{4\pi^2}{T^2}$	$M = \frac{v^2 T}{2\pi G}$	
	利用天体表面重力加速度	g 、 R	$mg = \frac{GMm}{R^2}$	$M = \frac{gR^2}{G}$	
密度的 计算	利用运行天体	r 、 T 、 R	$G \frac{Mm}{r^2} = m r \frac{4\pi^2}{T^2}$ $M = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi R^3$	$\rho = \frac{3\pi r^3}{GT^2 R^3}$ 当 $r=R$ 时 $\rho = \frac{3\pi}{GT^2}$	利用近地卫星只需测出其运行周期
	利用天体表面重力加速度	g 、 R	$mg = \frac{GMm}{R^2}$ $M = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi R^3$	$\rho = \frac{3g}{4\pi GR}$	

易错点二：混淆卫星听不同速度和不同模型

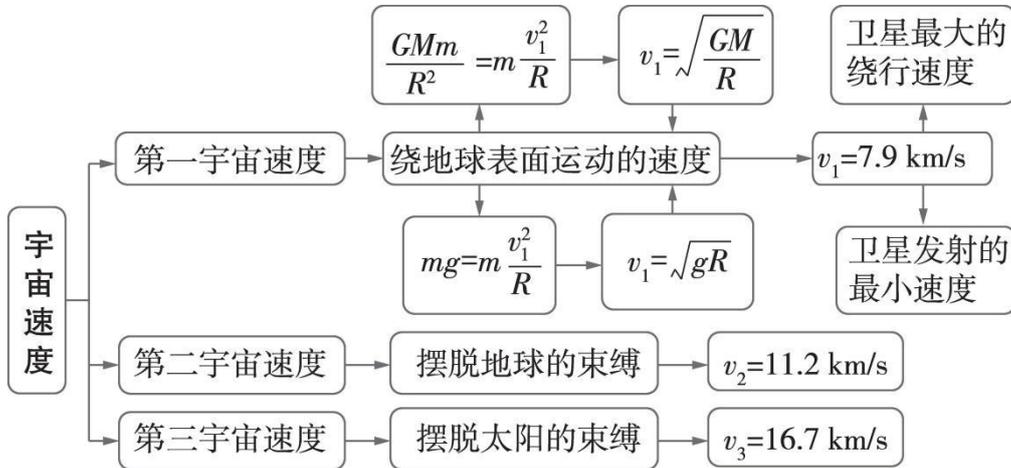
三、宇宙速度与卫星的绕行速度

1. 三个宇宙速度

第一宇宙速度（环绕速度）	$v_1 = 7.9 \text{ km/s}$ ，是人造卫星的最小发射速度，也是人造卫星的最大[19]环绕速度。
第二宇宙速度（脱离速度）	$v_2 = 11.2 \text{ km/s}$ ，是物体挣脱[21]地球引力束缚的最小发射速度。

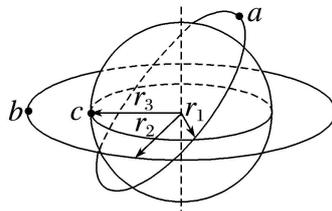
第三宇宙速度（逃逸速度）	$v_3 = 16.7 \text{ km/s}$ ，是物体挣脱[23] 太阳 引力束缚的最小发射速度。
--------------	--

2. 宇宙速度、发射速度与卫星的绕行速度的关系



四 同步卫星、近地卫星及赤道上物体的比较

如图所示， a 为近地卫星，轨道半径为 r_1 ； b 为地球同步卫星，轨道半径为 r_2 ； c 为赤道上随地球自转的物体，轨道半径为 r_3 。



比较项目	近地卫星 (r_1 、 ω_1 、 v_1 、 a_1)	同步卫星 (r_2 、 ω_2 、 v_2 、 a_2)	赤道上随地球自转的物体 (r_3 、 ω_3 、 v_3 、 a_3)
向心力来源	万有引力	万有引力	万有引力的一个分力
轨道半径	$r_2 > r_1 = r_3$		
角速度	$\omega_1 > \omega_2 = \omega_3$		
线速度	$v_1 > v_2 > v_3$		
向心加速度	$a_1 > a_2 > a_3$		

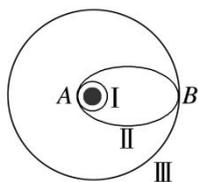
环绕天体表面运动的周期 T ，就可估算出中心天体的密度。

易错点三：分析卫星的变轨问题出现错误。

五. 变轨原理

(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 $G\frac{Mm}{r_1^2} = m\frac{v^2}{r_1}$, 如图所示.



(2) 在 A 点(近地点)点火加速, 由于速度变大, 所需向心力变大, $G\frac{Mm}{r_1^2} < m\frac{v_A^2}{r_1}$, 卫星做离心运动进入椭圆轨道 II.

(3) 在椭圆轨道 B 点(远地点)将做近心运动, $G\frac{Mm}{r_2^2} > m\frac{v_B^2}{r_2}$, 再次点火加速, 使 $G\frac{Mm}{r_2^2} = m\frac{v'^2}{r_2}$, 进入圆轨道 III.

六. 变轨过程分析

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

(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 上经过 A 点, 卫星的加速度都相同, 同理, 卫星在轨道 II 或轨道 III 上经过 B 点的加速度也相同.

(3) 周期: 设卫星在 I、II、III 轨道上的运行周期分别为 T_1 、 T_2 、 T_3 , 轨道半径分别为 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 $T_1 < T_2 < T_3$.

(4) 机械能: 在一个确定的圆(椭圆)轨道上机械能守恒. 若卫星在 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 和从轨道 II 到轨道 III 都需要点火加速, 则 $E_1 < E_2 < E_3$.



【易错点提醒一】混淆不同天体的重力加速度

【例 1】 已知海王星和地球的质量比为 $\frac{1}{9}$, 它们的半径比为 $R:r = 4:1$, 求: 海王星表面和地球表面的重力加速度之比是多少?

易错分析: 不同天体的表面有不同的重力加速度, 所以求重力加速度时首先要分清是求哪一个天体的重力加速度再去列式, 不能张冠李戴. 设海王星表面的重力加速度为 g_1 , 地球表面的重力加速度 g_2 ,

则对海王星有 $\frac{GM_1M}{R^2} = Mg_1$ 对地球有 $\frac{GM_2m}{r^2} = mg_2$

解之得 $g_1: g_2 = 1:16$ ，解之得 $g_1: g_2 = 1:16$

错误的原因是学生对重力的产生原因及性质不理解。放在星球表面的物体受到重力是因为星球对物体的万有引力产生的。

【答案】1: 1

【详解】如果忽略由于随星球一起自转而所需的向心力，则星球表面的物体受到的重力等于星球对物体的万有引力，与太阳是没有关系的：对海王星有 $\frac{GMm}{R^2} = m g_1$

对地球有 $\frac{Gmm}{r^2} = m g_2$ 解之得 $g_1: g_2 = \sqrt{\frac{Mr^2}{mR^2}} = 1:1$

变式练习

【变式 1-1】(2012·全国课标理综卷第 21 题) 假设地球是一半径为 R 、质量分布均匀的球体。一矿井深度为 d 。已知质量分布均匀的球壳对壳内物体的引力为零。矿井底部和地面处的重力加速度大小之比为 ()

- A. $1 - \frac{d}{R}$ B. $1 + \frac{d}{R}$ C. $(\frac{R-d}{R})^2$ D. $(\frac{R}{R-d})^2$

【答案】A

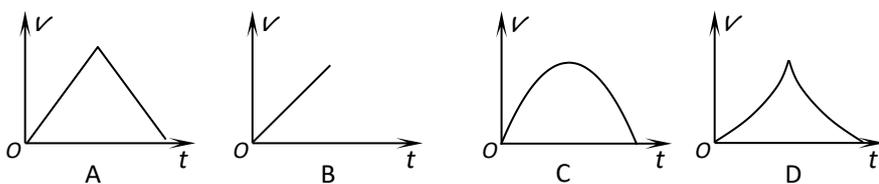
【详解】在地面上质量为 m 的物体根据万有引力定律有: $G \frac{Mm}{R^2} = mg$ ，从而得

$g = \frac{G \cdot \rho \cdot \frac{4}{3} \pi R^3}{R^2} = G \cdot \rho \cdot \frac{4}{3} \pi R$ 。根据题意，球壳对其内部物体的引力为零，则矿井底部

的物体 m' 只受到其以下球体对它的万有引力同理有 $g' = \frac{GM'}{(R-d)^2} = G\rho \frac{4}{3} \pi (R-d)$ ，式

中 $M' = \rho \frac{4}{3} \pi (R-d)^3$ 。两式相除化简 $\frac{g'}{g} = \frac{R-d}{R} = 1 - \frac{d}{R}$ 。所以选项 A 正确。

【变式 1-2】设地球是一个密度均匀的球体，已知质量分布均匀的球壳对壳内物体的引力为零，如果沿地球的直径挖一条隧道，将物体从此隧道一端由静止释放刚好运动到另一端(如图 2 所示)，不考虑阻力，在此过程中关于物体的运动速度 v 随时间 t 变化的关系图象可能是图 3 中的 ()



【答案】C

【详解】如果物体在距地心为 r 处 ($r \leq R$)，那么这个物体只会受到以地心为球心、以 r 为半径的那部分球体的万有引力，而距地心为 r 到 R 之间的物质对物体作用力的合力为零。物体掉入隧道之后，不是做自由落体运动。设物体的质量为 m ，地球密度为 ρ ，以半径为 r 的

那部分球体的质量为 M ，距地心 r 处的重力加速度为 g ，则 $V = \frac{4}{3}\pi R^3$ ， $mg = G\frac{Mm}{R^2}$ ，得

$g = \frac{GM}{r^2}$ ， $g = G \cdot \rho \cdot \frac{4}{3}\pi R$ 。由于物体掉入隧道之后， r 在变化，由①式可知 g 也在变

化，且离地心越近 g 越小，在地心处 $g = 0$ 。所以物体不是做自由落体运动。考虑到方向，

有 $g = -G \cdot \rho \cdot \frac{4}{3}\pi R r$ ，即物体的加速度 g 与位移 r 大小成正比、方向相反，所以选项 C 正

确。

【易错点提醒二】对天体质量和密度的计算公式运用存在错误

【例 2】(2021·广东卷)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，若核心舱绕地球的运行可视为匀速圆周运动，已知引力常量，由下列物理量能计算出地球质量的是 ()

- A. 核心舱的质量和绕地半径
- B. 核心舱的质量和绕地周期
- C. 核心舱的绕地角速度和绕地周期
- D. 核心舱的绕地线速度和绕地半径对天体质量和密度的计算公式运用有误

易错分析：不知道只能计算中心天体的质量，误认为能计算绕行天体的质量

【答案】D

【详解】由于引力常量 G 已知，由地球对核心舱的万有引力提供向心力可得

$\frac{GMm}{r^2} = m\frac{v^2}{r} = m\omega^2 r = m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r$ ，若仅知道核心舱的质量 m (可约去) 和绕地

半径 r ，无法计算出地球质量，A 错误；若仅知道核心舱的质量 m (可约去) 和

绕地周期 T ，无法计算出地球质量，B 错误；若仅知道绕地角速度 ω 和绕地周期

T (绕地半径 r 未知)，无法计算出地球质量，C 错误；若仅知道绕地线速度 v 和

绕地半径 r ，可得地球质量 $M = \frac{v^2 r}{G}$ ，D 正确。

变式练习

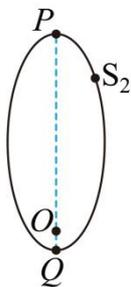
【变式 1-1】 [2018 全国 II] 2018 年 2 月，我国 500m 口径射电望远镜（天眼）发现毫秒脉冲星“J0318 + 0253”，其自转周期 $T = 5.19\text{ms}$ 。假设星体为质量均匀分布的球体，已知引力常量为 $6.67 \times 10^{-11}\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ 。以周期 T 稳定自转的星体的密度最小值约为(C)

- A. $5 \times 10^9\text{kg}/\text{m}^3$ B. $5 \times 10^{12}\text{kg}/\text{m}^3$ C. $5 \times 10^{15}\text{kg}/\text{m}^3$ D. $5 \times 10^{18}\text{kg}/\text{m}^3$

【答案】 C

【详解】 毫秒脉冲星稳定自转时由万有引力提供其表面物体做圆周运动的向心力，根据 $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{4\pi^2 R}{T^2}$ ，， $M = \rho \cdot \frac{4}{3} \pi R^3$ ，得 $\rho = \frac{3\pi}{GT^2}$ ，代入数据解得 $\rho \approx 5 \times 10^{15}\text{kg}/\text{m}^3$ ，C 正确。

【变式 1-2】 (2021·福建·高考真题) 两位科学家因为在银河系中心发现了一个超大质量的致密天体而获得了 2020 年诺贝尔物理学奖。他们对一颗靠近银河系中心的恒星 S_2 的位置变化进行了持续观测，记录到的 S_2 的椭圆轨道如图所示。图中 O 为椭圆的一个焦点，椭圆偏心率（离心率）约为 0.87。 P 、 Q 分别为轨道的远银心点和近银心点， Q 与 O 的距离约为 120AU（太阳到地球的距离为 1AU）， S_2 的运行周期约为 16 年。假设 S_2 的运动轨迹主要受银河系中心致密天体的万有引力影响，根据上述数据及日常的天文知识，可以推出（ ）



- A. S_2 与银河系中心致密天体的质量之比
 B. 银河系中心致密天体与太阳的质量之比
 C. S_2 在 P 点与 Q 点的速度大小之比
 D. S_2 在 P 点与 Q 点的加速度大小之比

【答案】 BCD

【解析】 A. 设椭圆的长轴为 $2a$ ，两焦点的距离为 $2c$ ，则偏心率

$$0.87 = \frac{2c}{2a} = \frac{c}{a}$$

且由题知， Q 与 O 的距离约为 120AU，即

$$a - c = 120\text{AU}$$

由此可得出 a 与 c ，由于 S_2 是围绕致密天体运动，根据万有定律，可知无法求出两者的质量之比，故 A 错误；

B. 根据开普勒第三定律有

$$\frac{a^3}{T^2} = k$$

式中 k 是与中心天体的质量 M 有关，且与 M 成正比；所以，对 S_2 是围绕致密天体运动有

$$\frac{a^3}{T_{s_2}^2} = k_{\text{致}} \propto M_{\text{致}}$$

对地球围绕太阳运动有

$$\frac{r_{\text{地}}^3}{T_{\text{地}}^2} = k_{\text{太}} \propto M_{\text{太}}$$

两式相比，可得

$$\frac{M_{\text{致}}}{M_{\text{太}}} = \frac{a^3 T_{\text{地}}^2}{r_{\text{地}}^3 T_{s_2}^2}$$

因 S_2 的半长轴 a 、周期 T_{s_2} ，日地之间的距离 $r_{\text{地}}$ ，地球围绕太阳运动的周期 $T_{\text{地}}$ 都已知，故由上式，可以求出银河系中心致密天体与太阳的质量之比，故 B 正确；

C. 根据开普勒第二定律有

$$\frac{1}{2} v_P (a + c) = \frac{1}{2} v_Q (a - c)$$

解得

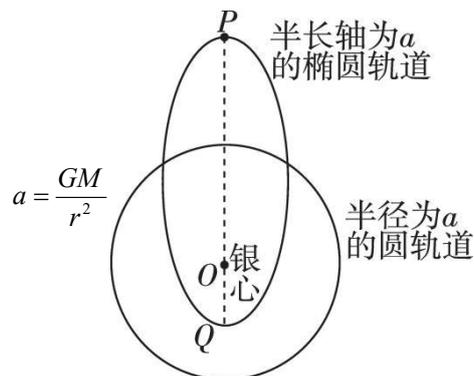
$$\frac{v_P}{v_Q} = \frac{a - c}{a + c}$$

因 a 、 c 已求出，故可以求出 S_2 在 P 点与 Q 点的速度大小之比，故 C 正确；

D. S_2 不管是在 P 点，还是在 Q 点，都只受致密天体的万有引力作用，根据牛顿第二定律有

$$G \frac{Mm}{r^2} = ma$$

解得



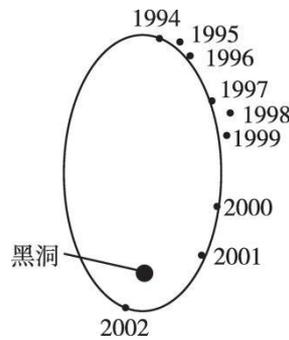
因 P 点到 O 点的距离为 $a+c$, Q 点到 O 点的距离为 $a-c$, 解得

$$\frac{a_P}{a_Q} = \frac{(a-c)^2}{(a+c)^2}$$

因 a 、 c 已求出, 故 S_2 在 P 点与 Q 点的加速度大小之比, 故 D 正确。

故选 BCD 。

【变式 1-3】 [2021 全国乙] 科学家对银河系中心附近的恒星 S_2 进行了多年的持续观测, 给出 1994 年到 2002 年间 S_2 的位置如图所示. 科学家认为 S_2 的运动轨迹是半长轴约为 1000AU (太阳到地球的距离为 1AU) 的椭圆, 银河系中心可能存在超大质量黑洞. 这项研究工作获得了 2020 年诺贝尔物理学奖. 若认为 S_2 所受的作用力主要为该大质量黑洞的引力, 设太阳的质量为 M , 可以推测出该黑洞质量约为 (**B**)



A. $4 \times 10^4 M$

B. $4 \times 10^6 M$

C. $4 \times 10^8 M$

D. $4 \times 10^{10} M$

【答案】 B

【详解】 由 1994 年到 2002 年间恒星 S_2 的观测位置图可知, 恒星 S_2 绕黑洞运动的周期大约为 $T_2 = 16$ 年, 半长轴为 $a = 1000\text{AU}$, 设黑洞的质量为 $M_{\text{黑}}$, 恒星 S_2 的质量为 m_2 , 由万有引力提供向心力可得 $G \frac{M_{\text{黑}} m_2}{a^2} = m_2 a \left(\frac{2\pi}{T_2} \right)^2$; 设地球的质量为 m_1 , 地球绕太阳运动的轨道半径为 $r = 1\text{AU}$, 周期 $T_1 = 1$ 年, 由万有引力提供向心力可得 $G \frac{M m_1}{r^2} = m_1 r \left(\frac{2\pi}{T_1} \right)^2$, 联立解得黑洞质量 $M_{\text{黑}} = 4 \times 10^6 M$, B 正确。

【易错点提醒三】混淆卫星不同的速度含意

【例 3】 关于第一宇宙速度, 下列说法正确的是 ()

A. 它是人造地球卫星绕地球飞行的最小速度

- B. 它是近地圆形轨道上人造地球卫星的运行速度
- C. 它是能使卫星进入近地圆形轨道的最小发射速度
- D. 它是卫星在椭圆轨道上运行时近地点的速度

易错分析：学生在解答上述关于宇宙速度、发射速度和运行速度的问题时，经常会产生一些错误，诸如将发射速度与运行速度理解为同一种速度；不能判断运行轨道半径增大时，运行速度与发射速度的大小变化情况。运行速度是卫星在圆形轨道上运行的线速度，由万有

引力提供向心力 $F = G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ 得运行速度，由此可知卫星运行的轨道越高（即卫星的

轨道半径 r 越大），其运行速度越小。发射速度是指在地面上将卫星发射出去时的速度，虽然轨道越高时运行速度越小，但由于人造地球卫星在发射过程中要克服地球引力做功，势能增大，所以要想将卫星发射到离地面越远的轨道上，所需要的发射速度就越大，例如，要使物体摆脱地球引力，需要的发射速度 $v \geq 11.2 \text{ km/s}$ 。所以人造地球卫星发射速度越大，其运行轨道离地面高度越大，其运行速度反而越小。

【答案】BC

【详解】只有当卫星贴近地面运行时，其发射速度与运行速度才相等，此时发射速度最小，而运行速度却最大，即第一宇宙速度 $v = 7.9 \text{ km/s}$ ，它是人造地球卫星绕地球飞行的最大速度，也是能使卫星进入近地圆形轨道的最小发射速度。由以上分析知，正确答案为 BC。

变式练习

【变式 1-1】（2021·江苏卷）我国航天人发扬“两弹一星”精神砥砺前行，从“东方红一号”到“北斗”不断创造奇迹。“北斗”第 49 颗卫星的发射迈出组网的关键一步。该卫星绕地球做圆周运动，运动周期与地球自转周期相同，轨道平面与地球赤道平面成一定夹角。该卫星（ ）

- A. 运动速度大于第一宇宙速度
- B. 运动速度小于第一宇宙速度
- C. 轨道半径大于“静止”在赤道上空的同步卫星
- D. 轨道半径小于“静止”在赤道上空的同步卫星

【答案】B

【详解】根据第一宇宙速度的意义可知，任何围绕地球且距离地球表面一定高度轨道上运动的卫星，其运动速度都小于第一宇宙速度，选项 B 正确 A 错误；凡是运动周期与地球自转周期相同的卫星，其轨道半径等于静止在赤道上空的同步卫星，选项 CD 错误。

【变式 1-2】（2021·浙江卷）嫦娥五号探测器是我国首个实施月面采样返回的航天器，由轨道器、返回器、着陆器和上升器等多个部分组成。为等待月面采集的样品，轨道器与返回器的组合体环月做圆周运动。已知引力常量 $G=6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ 地球质量 $m=6.0 \times 10^{24} \text{ kg}$ ，月球质量 $m_2=7.3 \times 10^{22} \text{ kg}$ ，月地距离 $r_1=3.8 \times 10^5 \text{ km}$ ，月球半径 $r_2=1.7 \times 10^3 \text{ km}$ 。当轨道器与返回

器的组合体在月球表面上方约 200km 处做环月匀速圆周运动时，其环绕速度约为 ()

- A. 16m/s B. 1.1×10^2 m/s C. 1.6×10^3 m/s D. 1.4×10^4 m/s

【答案】 B

【详解】 设微波有效攻击范围为 r 时单位面积接收微波功率为 $P' = \frac{P}{S} = \frac{P}{4\pi r^2}$ 解得

$$r = \sqrt{\frac{P}{4\pi P'}}。则引起神经混乱时有 \quad r_1 = \sqrt{\frac{P}{4\pi P'_1}} = \sqrt{\frac{3 \times 10^7}{4 \times 3.14 \times 250}} \approx 100\text{m}，引起心肺功$$

$$能衰竭时有 \quad r_2 = \sqrt{\frac{P}{4\pi P'_2}} = \sqrt{\frac{3 \times 10^7}{4 \times 3.14 \times 1000}} \approx 50\text{m}，所以 B 正确；ACD 错误。$$

【易错点提醒四】 混淆同步卫星、近地卫星、赤道上物体运动的特点

【例 4】 同步卫星离地心距离为 r ，运行速率 v_1 ，加速度为 a_1 ，地球赤道上的物体随地球自转的向心加速度为 a_2 ，第一宇宙速度为 v_2 ，地球的半径为 R ，则下列比值正确的是 ()

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

易错分析：错解：设地球质量为 M ，同步卫星的质量为 m_1 ，地球赤道上的物体的质量为 m_2 ，

$$根据万有引力定律 \quad G \frac{Mm_1}{r^2} = m_1 a_1 \quad G \frac{Mm_2}{R} = m_2 a_2 \quad 所以 \quad \frac{a_1}{a_2} = \left(\frac{R}{r}\right)^2$$

再由 $v_1 = \omega_1 r$ $v_2 = \omega_2 R$ 得 $\frac{v_1}{v_2} = \frac{R}{r}$ 所以选项 BC 正确，解决本题的关键是要明确研

究对象，这样错解的原因研究对象混淆，乱乱套公式。

【答案】 AD

【解析】 设地球质量为 M ，同步卫星的质量为 m_1 ，地球赤道上的物体的质量为 m_2 ，在地球表面附近的物体质量为 m_3 。根据向心加速度和角速度的关系有

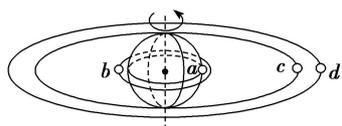
$$a_1 = \omega_1^2 r \quad a_2 = \omega_2^2 R \quad \omega_1 = \omega_2 \quad 故 \quad \frac{a_1}{a_2} = \frac{r}{R}，得正确选项 A。$$

$$由万有引力定律有 \quad G \frac{Mm_1}{r^2} = \frac{m_1 v_1^2}{r} \quad G \frac{Mm_3}{R} = \frac{m_3 v_2^2}{R}$$

$$由以上两式解得 \quad \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{R}{r}}，得正确选项为 D。$$

变式练习

【变式 1-1】 [多选] 有 a 、 b 、 c 、 d 四颗地球卫星， a 还未发射，在赤道表面随地球一起转动， b 是近地轨道卫星， c 是地球同步卫星， d 是高空探测卫星，它们均做匀速圆周运动，方向均与地球自转方向一致，各卫星的排列位置如图所示，则 ()



- A. 卫星 a 的向心加速度近似等于重力加速度 g
 B. 在相同时间内卫星 b 转过的弧长最长
 C. 卫星 c 的速度一定比卫星 d 的速度大
 D. 卫星 d 的角速度比卫星 c 的角速度大

【答案】 BC

【解析】 卫星 a 在赤道上，万有引力远大于向心力，即重力远大于向心力，所以卫星 a 的向心加速度 a_n 远小于重力加速度 g ，A 错误； a 、 c 两颗卫星的角速度相等，由 $v = \omega r$ 知，卫星 c 的速度比卫星 a 的速度大，对于 b 、 c 、 d 三颗卫星，由 $G\frac{Mm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$ 得 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ，卫星的轨道半径越大，速度越小，所以卫星 b 的速度比卫星 c 的速度大，卫星 c 的速度比卫星 d 的速度大，C 正确；四颗卫星中卫星 b 的速度最大，由弧长与速度的关系 $s = vt$ 可知，在相同的时间内卫星 b 转过的弧长最长，B 正确；由 $G\frac{Mm}{r^2} = m\omega^2 r$ 得 $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$ ，卫星的轨道半径越大，角速度越小，所以卫星 d 的角速度比卫星 c 的角速度小，D 错误。

【变式 1-2】 地球赤道上有一物体随地球一起自转做圆周运动，所受向心力为 F_1 ，向心加速度为 a_1 ，线速度为 v_1 ，角速度为 ω_1 ；绕地球表面附近做圆周运动的人造卫星（高度可忽略）所受的向心力为 F_2 ，向心加速度为 a_2 ，线速度为 v_2 ，角速度为 ω_2 ；地球同步卫星所受的向心力为 F_3 ，向心加速度为 a_3 ，线速度为 v_3 ，角速度为 ω_3 ；地球表面重力加速度为 g ，第一宇宙速度为 v ，假设三者质量相等，则（ ）

- A. $F_1 = F_2 > F_3$ B. $a_1 = a_2 = g > a_3$ C. $v_1 = v_2 = v > v_3$ D. $\omega_1 = \omega_3 < \omega_2$

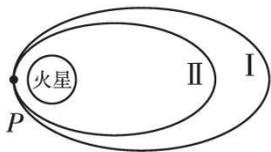
【答案】 D

【解析】 因赤道上的物体是万有引力与弹力的合力提供向心力，而近地卫星是万有引力提供向心力，所以选项 A 错，选项 B 也错；又因赤道上的物体的向心力小于近地卫星的向心力，其向心加速度也小，所以速度也小，半径相同，角速度也小，即选项 C 错；赤道上的物体与同步卫星只是角速度相同，均小于近地卫星的角速度，即 $\omega_1 = \omega_3 < \omega_2$ ，故选项 D 正确。

【易错点提醒五】 卫星变轨时不知是加速还是减速且卫星变轨时物理量的变化比较错误

【例 5】 (2021 天津) 2021 年 5 月 15 日，天问一号探测器着陆火星取得成功，迈出了我国星际探测征程的重要一步，在火星上首次留下中国人的印迹。天问一号探测器成功发射后，顺利被火星捕获，成为我国第一颗人造火星卫星。经过轨道

调整，探测器先沿椭圆轨道 I 运行，之后进入称为火星停泊轨道的椭圆轨道 II 运行，如图所示，两轨道相切于近火点 P ，则天问一号探测器(D)



- A. 在轨道 II 上处于受力平衡状态
- B. 在轨道 I 运行周期比在 II 时短
- C. 从轨道 I 进入 II 在 P 处要加速
- D. 沿轨道 I 向 P 飞近时速度增大

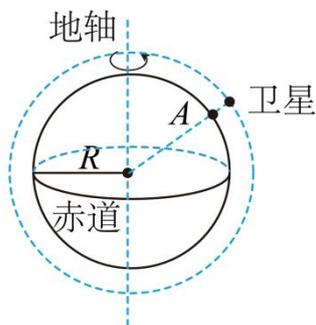
易错分析：许多同学认为选项 C 正确，误认为从轨道 I 进入 II 在 P 处要加速，其实这是错误的。由低轨道向高轨道对接要加速，但从高轨道向低轨道在减小；而且变轨时在同一点的加速相等，

【答案】 D

【解析】天问一号探测器在轨道 II 上做变速运动，受力不平衡，故 A 错误。轨道 I 的半长轴大于轨道 II 的半长轴，根据开普勒第三定律可知，天问一号探测器在轨道 I 的运行周期比在 II 时长，故 B 错误。天问一号探测器从较高轨道 I 向较低轨道 II 变轨时，需要在 P 点点火减速，故 C 错误。天问一号探测器沿轨道 I 向 P 飞近时，万有引力做正功，动能增大，速度增大，故 D 正确。

易错题通关

1. (2022·山东卷·T6) “羲和号”是我国首颗太阳探测科学技术试验卫星。如图所示，该卫星围绕地球的运动视为匀速圆周运动，轨道平面与赤道平面接近垂直。卫星每天在相同时刻，沿相同方向经过地球表面 A 点正上方，恰好绕地球运行 n 圈。已知地球半径为 R ，自转周期为 T ，地球表面重力加速度为 g ，则“羲和号”卫星轨道距地面高度为 ()



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/577101003031010002>