

2020 年高考物理二轮精准备考复习讲义

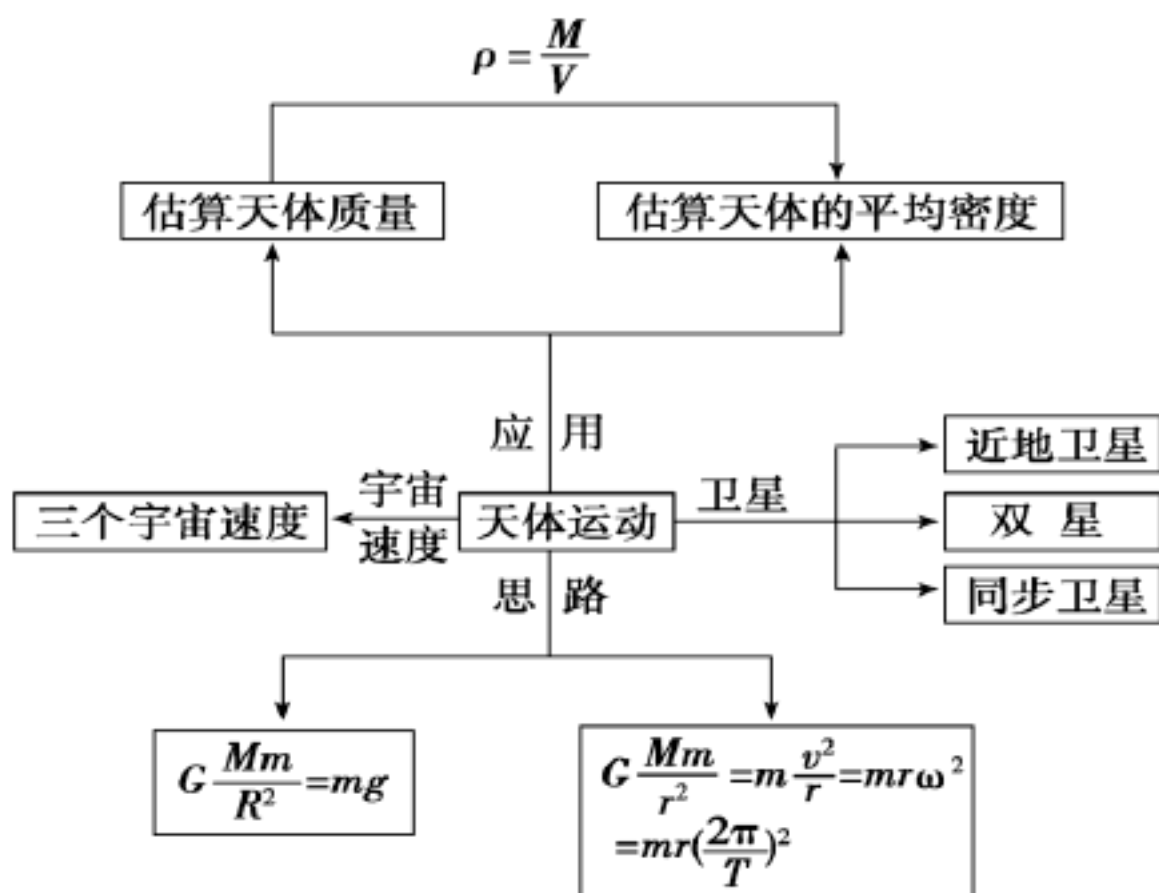
第一部分力与运动

第 4 讲 万有引力定律及其应用

目录

一、理清单，记住干	2
二、研高考，探考情	2
三、考情揭秘	5
四、定考点，定题型	5
超重点突破 1 万有引力定律及天体质量和密度的求解.....	5
命题角度一 利用天体表面的重力加速度 g 和天体半径 R	6
命题角度二 卫星绕天体做匀速圆周运动的周期 T 和轨道半径 r	7
超重点突破 2 卫星运行参量的分析	8
命题角度一 卫星轨道上物理参量的比较与运算.....	8
命题角度二 同步卫星的特点	9
命题角度三 第一宇宙速度的计算与理解.....	10
超重点突破 3 卫星变轨与对接	11
超重点突破 4 双星与多星问题	13
超重点突破 5 天体相遇问题	15
五、固成果，提能力	16

一、理清单，记住干



1. 重力和万有引力的关系

(1) 不考虑自转时，星球表面附近物体的重力等于物体与星球间的万有引力，即有 $G\frac{Mm}{R^2} = mg$ ，其中 g 为星球表面的重力加速度。

(2) 考虑自转时，在两极上才有 $G\frac{Mm}{R^2} = mg$ ，而赤道上则有 $G\frac{Mm}{R^2} - mg = m\frac{4\pi^2}{T^2}R$ 。

2. 一条黄金代换： $GM = gR^2$ 。

3. 两条基本思路。

① 天体附近： $G\frac{Mm}{R^2} = mg$ 。

② 环绕卫星： $G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{v^2}{r} = m r \omega^2 = m r (\frac{2\pi}{T})^2$ 。

4. 两类卫星。

① 近地卫星： $G\frac{Mm}{R^2} = mg = m\frac{v^2}{R}$ 。

② 同步卫星： $G\frac{Mm}{(R+h)^2} = m(R+h)(\frac{2\pi}{T})^2$ ($T = 24\text{ h}$)。

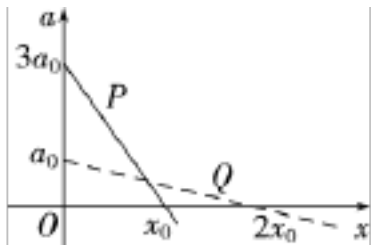
5. 卫星变轨问题：当卫星速度减小时， $F_{\text{向}}$ 小于 $F_{\text{万}}$ ，卫星做近心运动而轨道下降，此时 $F_{\text{万}}$ 做正功，使卫星速度增大，变轨成功后可在低轨道上稳定运动；当卫星速度增大时，与此过程相反。

6. 双星： $\frac{Gm_1m_2}{L^2} = m_1\omega^2r_1 = m_2\omega^2r_2$ ， $r_1 + r_2 = L$

二、研高考，探考情

【2019·高考全国卷 I】 在星球 M 上将一轻弹簧竖直固定在水平桌面上，把物体 P 轻放在弹簧上端， P 由静

止向下运动，物体的加速度 a 与弹簧的压缩量 x 间的关系如图中实线所示。在另一星球 N 上用完全相同的弹簧，改用物体 Q 完成同样的过程，其 $a-x$ 关系如图中虚线所示，假设两星球均为质量均匀分布的球体。已知星球 M 的半径是星球 N 的 3 倍，则()



- A. M 与 N 的密度相等
 B. Q 的质量是 P 的 3 倍
 C. Q 下落过程中的最大动能是 P 的 4 倍
 D. Q 下落过程中弹簧的最大压缩量是 P 的 4 倍

【答案】AC.

【解析】： 设 P 、 Q 的质量分别为 m_P 、 m_Q ； M 、 N 的质量分别为 M_1 、 M_2 ，半径分别为 R_1 、 R_2 ，密度分别为 ρ_1 、 ρ_2 ； M 、 N 表面的重力加速度分别为 g_1 、 g_2 。在星球 M 上，弹簧压缩量为 0 时有 $m_P g_1 = 3m_P a_0$ ，所以 $g_1 = 3a_0 = G \frac{M_1}{R_1^2}$ 等，密度 $\rho_1 = \frac{M_1}{\frac{4}{3}\pi R_1^3} = \frac{9a_0}{4\pi G R_1}$ ；在星球 N 上，弹簧压缩量为 0 时有 $m_Q g_2 = m_Q a_0$ ，所以 $g_2 = a_0 = G \frac{M_2}{R_2^2}$ ，

密度 $\rho_2 = \frac{M_2}{\frac{4}{3}\pi R_2^3} = \frac{3a_0}{4\pi G R_2}$ ；因为 $R_1 = 3R_2$ ，所以有 $\rho_1 = \rho_2$ ，选项 A 正确。当物体的加速度为 0 时有 $m_P g_1 = 3m_P a_0 = kx_0$ ， $m_Q g_2 = m_Q a_0 = 2kx_0$ ，解得 $m_Q = 6m_P$ ，选项 B 错误。根据 $a-x$ 图线与坐标轴围成图形的面积和质量的乘积表示合外力做的功可知， $E_{kmP} = \frac{3}{2} m_P a_0 x_0$ ， $E_{kmQ} = m_Q a_0 x_0$ ，所以 $E_{kmQ} = 4E_{kmP}$ ，选项 C 正确。根据运动的

对称性可知， Q 下落时弹簧的最大压缩量为 $4x_0$ ， P 下落时弹簧的最大压缩量为 $2x_0$ ，选项 D 错误。

【2019 浙江选考】 20 世纪人类最伟大的创举之一是开拓了太空的全新领域。现有一艘远离星球在太空中直线飞行的宇宙飞船，为了测量自身质量，启动推进器，测出飞船在短时间 Δt 内速度的改变为 Δv ，和飞船受到的推力 F （其它星球对它的引力可忽略）。飞船在某次航行中，当它飞近一个孤立的星球时，飞船能以速度 v ，在离星球的较高轨道上绕星球做周期为 T 的匀速圆周运动。已知星球的半径为 R ，引力常量用 G 表示。

则宇宙飞船和星球的质量分别是 ()



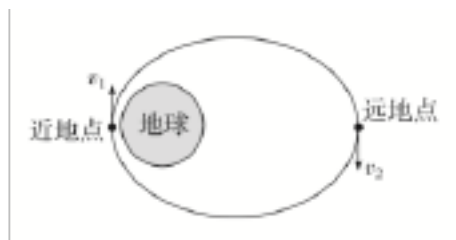
- A. $\frac{F\Delta v}{\Delta t}$, $\frac{v^2 R}{G}$
 B. $\frac{F\Delta v}{\Delta t}$, $\frac{v^3 T}{2\pi G}$
 C. $\frac{F\Delta t}{\Delta v}$, $\frac{v^2 R}{G}$
 D. $\frac{F\Delta t}{\Delta v}$, $\frac{v^3 T}{2\pi G}$

【答案】D

【解析】 直线推进时，根据动量定理可得 $F\Delta t = m\Delta v$ ，解得飞船的质量为 $m = \frac{F\Delta t}{\Delta v}$ ，绕孤立星球运动时，

根据公式 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$ ，又 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ ，解得 $M = \frac{v^3 T}{2\pi G}$ ，D 正确。

【2019·江苏高考】 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. $v_1 < v_2$, $v_1 > \sqrt{\frac{GM}{r}}$

【答案】 B

【解析】 卫星绕地球运动，由开普勒第二定律知，近地点的速度大于远地点的速度，即 $v_1 > v_2$ 。若卫星以近地点时距地心的距离为半径做圆周运动，则有 $\frac{GMm}{r^2} = m \frac{v_{\text{近}}^2}{r}$ ，得运行速度 $v_{\text{近}} = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ，由于卫星沿椭圆轨道运动，在近地点所需向心力大于万有引力，故 $m \frac{v_1^2}{r} > m \frac{v_{\text{近}}^2}{r}$ ，则 $v_1 > v_{\text{近}}$ ，即 $v_1 > \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ，B 正确。

【2019·全国卷Ⅲ】 金星、地球和火星绕太阳的公转均可视为匀速圆周运动，它们的向心加速度大小分别为 $a_{\text{金}}$ 、 $a_{\text{地}}$ 、 $a_{\text{火}}$ ，它们沿轨道运行的速率分别为 $v_{\text{金}}$ 、 $v_{\text{地}}$ 、 $v_{\text{火}}$ 。已知它们的轨道半径 $R_{\text{金}} < R_{\text{地}} < R_{\text{火}}$ ，由此可以判定()

- A. $a_{\text{金}} > a_{\text{地}} > a_{\text{火}}$ B. $a_{\text{火}} > a_{\text{地}} > a_{\text{金}}$
 C. $v_{\text{地}} > v_{\text{火}} > v_{\text{金}}$ D. $v_{\text{火}} > v_{\text{地}} > v_{\text{金}}$

【答案】 A

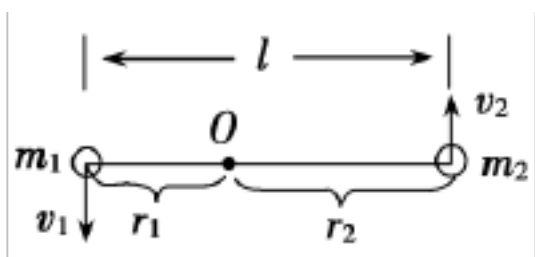
【解析】 行星绕太阳做圆周运动时，由牛顿第二定律和圆周运动知识有： $G \frac{mM}{R^2} = ma$ ，得向心加速度 $a = \frac{GM}{R^2}$ ， $G \frac{mM}{R^2} = m \frac{v^2}{R}$ ，得速度 $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ ，由于 $R_{\text{金}} < R_{\text{地}} < R_{\text{火}}$ ，所以 $a_{\text{金}} > a_{\text{地}} > a_{\text{火}}$ ， $v_{\text{金}} > v_{\text{地}} > v_{\text{火}}$ ，A 正确，B、C、D 错误。

【2018·高考全国卷 I】 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、万有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 ()

- A. 质量之积 B. 质量之和 C. 速率之和 D. 各自的自转角速度

【答案】 BC

【解析】 两颗中子星运动到某位置的示意图如图所示。



每秒转动 12 圈，角速度已知，

中子星运动时，由万有引力提供向心力得

$$\frac{Gm_1m_2}{l^2} = m_1\omega^2r_1 \quad ①$$

$$\frac{Gm_1m_2}{l^2} = m_2\omega^2r_2 \quad ②$$

$$l = r_1 + r_2 \quad ③$$

由①②③式得 $\frac{G(m_1+m_2)}{l^2} = \omega^2l$ ，所以 $m_1+m_2 = \frac{\omega^2l^3}{G}$ ，

质量之和可以估算。

由线速度与角速度的关系 $v = \omega r$ 得

$$v_1 = \omega r_1 \quad ④$$

$$v_2 = \omega r_2 \quad ⑤$$

由③④⑤式得 $v_1 + v_2 = \omega(r_1 + r_2) = \omega l$ ，速率之和可以估算。

质量之积和各自自转的角速度无法求解。

三、考情揭秘

万有引力定律与天体运动问题是历年高考必考内容，常以天体问题（如双星、黑洞、恒星的演化等）或人类航天（如卫星发射、空间站、探测器登陆等）为背景，考查向心力、万有引力、圆周运动等知识，多以选择题型出现。

应考策略： 熟悉解决天体运动问题的两条思路，正确理解万有引力及万有引力定律，掌握天体质量和密度的估算方法，熟悉一些天体的运行常识。结合牛顿第二定律、向心力公式和万有引力定律及功能关系分析计算卫星运行及卫星变轨问题。关注中国及世界空间技术和宇宙探索为背景的题目。

四、定考点，定题型

超重点突破 1 万有引力定律及天体质量和密度的求解

1. 利用天体表面的重力加速度 g 和天体半径 R 。

由于 $G\frac{Mm}{R^2} = mg$ ，故天体质量 $M = \frac{gR^2}{G}$ ，天体密度 $\rho = \frac{M}{V} = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3g}{4\pi GR}$ 。

2. 通过观察卫星绕天体做匀速圆周运动的周期 T 和轨道半径 r 。

(1)由万有引力等于向心力，即 $G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{4\pi^2}{T^2}r$ ，得出中心天体质量 $M = \frac{4\pi^2r^3}{GT^2}$ ；

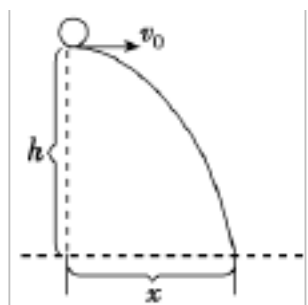
(2)若已知天体半径 R ，则天体的平均密度 $\rho = \frac{M}{V} = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3\pi r^3}{GT^2 R^3}$;

(3)若天体的卫星在天体表面附近环绕天体运动，可认为其轨道半径 r 等于天体半径 R ，则天体密度 $\rho = \frac{3\pi}{GT^2}$.

可见，只要测出卫星环绕天体表面运动的周期 T ，就可估算出中心天体的密度。

命题角度一 利用天体表面的重力加速度 g 和天体半径 R 。

例 1.(2019·宁夏师大附中高三理综)一宇航员在地球表面和某未知星球的表面上分别做高度和初速度相同的平抛运动实验：在离地面 h 高处让小球以 v_0 的初速度水平抛出，他测出在地球上小球落地点与抛出点的水平距离为 $2x$ ，在未知星球上小球落地点与抛出点的水平距离为 x ，已知地球的半径为 R ，未知星球的半径为 $2R$ ，万有引力常量为 G ，则()



- A. 地球表面的重力加速度是未知星球表面重力加速度 4 倍
- B. 未知星球的第一宇宙速度是地球的第一宇宙速度的 $2\sqrt{2}$ 倍
- C. 未知星球的质量约为 $\frac{8hR^2v_0^2}{Gx^2}$
- D. 未知星球的密度约为 $\frac{4hv_0^2}{GR\pi x^2}$

【答案】：BC

【解析】：小球在地球上做平抛运动，在水平方向上有 $2x = v_0 t$ ，解得从抛出到落地时间为 $t = \frac{2x}{v_0}$ ，小球做平抛运动时在竖直方向上有 $h = \frac{1}{2}gt^2$ ，解得地球表面的重力加速度为 $g = \frac{hv_0^2}{2x^2}$ ，同理可得未知星球表面的重力加速度为 $g_{星} = \frac{2hv_0^2}{x^2} = 4g$ ，故 A 错误；根据 $\frac{GMm}{R^2} = \frac{mv^2}{R} = mg$ 可得 $v = \sqrt{gR}$ ，未知星球的第一宇宙速度 $v_{星} = \sqrt{g_{星} \cdot 2R} = \sqrt{\frac{4hRv_0^2}{x^2}}$ ，地球的第一宇宙速度 $v = \sqrt{gR} = \sqrt{\frac{hRv_0^2}{2x^2}}$ ，则未知星球的第一宇宙速度是地球的第一宇宙速度的 $2\sqrt{2}$ 倍，故 B 正确；设未知星球的质量为 $M_{星}$ ，静止在未知星球上的物体质量为 m ，由万有引力等于物体的重力得 $mg_{星} = \frac{GM_{星}m}{(2R)^2}$ ，所以可得未知星球的质量约为 $M_{星} = \frac{8hR^2v_0^2}{Gx^2}$ ，故 C 正确；根据 $\rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$ 可得未知星球的密度 $\rho = \frac{\frac{8hR^2v_0^2}{Gx^2}}{\frac{4}{3}\pi(2R)^3} = \frac{3hv_0^2}{4\pi RGx^2}$ ，故 D 错误。

针对训练 1.(2019·山东济南模拟)热爱天文科学的某同学从网上得到一些关于月球和地球的信息，如下表所

示. 根据表格中数据, 可以计算出地球和月球的密度之比为()

月球半径	R_0
月球表面处的重力加速度	g_0
地球和月球的半径之比	$\frac{R}{R_0}=4$
地球表面和月球表面的重力加速度之比	$\frac{g}{g_0}=6$

A. 3 : 2

B. 2 : 3

C. 4 : 1

D. 6 : 1

【答案】：A

【解析】：在星球表面附近, 万有引力等于重力, 即 $G\frac{Mm}{R^2}=mg$, 解得星球质量 $M=\frac{gR^2}{G}$. 地球和月球的质量

之比 $\frac{M_{地}}{M_{月}}=\frac{g \cdot R^2}{g_0 \cdot R_0^2}=\frac{96}{1}$, 由密度公式 $\rho=\frac{M}{V}$, 体积公式 $V=\frac{4}{3}\pi R^3$, 联立解得地球和月球的密度之比 $\frac{\rho_{地}}{\rho_{月}}=\frac{M_{地} \cdot R_0^3}{M_{月} \cdot R^3}=\frac{3}{2}$, 选项 A 正确.

$\frac{3}{2}$, 选项 A 正确.

命题角度二 卫星绕天体做匀速圆周运动的周期 T 和轨道半径 r .

例 2.2018 年 12 月 8 日凌晨, 我国在西昌卫星发射中心利用长征三号乙改进型运载火箭成功发射嫦娥四号探测器, 对月球背面南极艾特肯盆地开展着陆巡视探测, 实现了人类首次月球背面软着陆和巡视勘察. 假设探测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 , 探测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. 探测器的轨道半径为 $\frac{\theta}{t}$

B. 探测器的环绕周期为 $\frac{\pi t}{\theta}$

C. 月球的质量为 $\frac{s^3}{Gt^2\theta}$

D. 月球的密度为 $\frac{3\theta^2}{4Gt}$

【答案】：C

【解析】：利用 $s=\theta r$, 可得轨道半径 $r=\frac{s}{\theta}$, 选项 A 错误; 由题意可知, 角速度 $\omega=\frac{\theta}{t}$, 故探测器的环绕周

期 $T=\frac{2\pi}{\omega}=\frac{2\pi}{\frac{\theta}{t}}=\frac{2\pi t}{\theta}$, 选项 B 错误; 根据万有引力提供向心力可知, $G\frac{mM}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$, 再结合 $v=\frac{s}{t}$ 可以求出 $M=\frac{v^2 r}{G}$

$=\frac{(\frac{s}{t})^2 \cdot \frac{s}{\theta}}{G}=\frac{s^3}{Gt^2\theta}$, 选项 C 正确; 由于不知月球的半径, 所以无法求出月球的密度, 选项 D 错误.

针对训练 2.公元 2100 年, 航天员准备登陆木星, 为了更准确了解木星的一些信息, 到木星之前做一些科学实验, 当到达与木星表面相对静止时, 航天员对木星表面发射一束激光, 经过时间 t , 收到激光传回的信号, 测得相邻两次看到日出的时间间隔是 T , 测得航天员所在航天器的速度为 v , 已知引力常量 G , 激光的速度为 c , 则()

A. 木星的质量 $M = \frac{v^3 T}{2\pi G}$

B. 木星的质量 $M = \frac{\pi^2 c^3 t^3}{2GT^2}$

C. 木星的质量 $M = \frac{4\pi^2 c^3 t^3}{GT^2}$

D. 根据题目所给条件，可以求出木星的密度

【答案】：AD

【解析】： 航天器的轨道半径 $r = \frac{vT}{2\pi}$ ，木星的半径 $R = \frac{vT}{2\pi} - \frac{ct}{2}$ ，木星的质量 $M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2} = \frac{v^3 T}{2\pi G}$ ；知道木星的质量和半径，可以求出木星的密度。故 A、D 正确，B、C 错误。

超重点突破 2 卫星运行参量的分析

1. 卫星的各物理量随轨道半径变化的规律

规律	{	$G \frac{Mm}{r^2} =$	$(r = R_{\text{地}} + h)$	$m \frac{v^2}{r} \rightarrow v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \rightarrow v \propto \frac{1}{\sqrt{r}}$	} 越高越慢
				$m\omega^2 r \rightarrow \omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}} \rightarrow \omega \propto \frac{1}{\sqrt{r^3}}$	
				$m \frac{4\pi^2}{T^2} r \rightarrow T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}} \rightarrow T \propto \sqrt{r^3}$	
				$ma \rightarrow a = \frac{GM}{r^2} \rightarrow a \propto \frac{1}{r^2}$	
$mg = \frac{GMm}{R_{\text{地}}^2}$ (在地球表面时) $\rightarrow GM = gR_{\text{地}}^2$					

2. 必须牢记同步卫星的两个特点

(1) 同步卫星绕地心做匀速圆周运动的周期等于地球的自转周期。

(2) 所有同步卫星都在赤道上空相同的高度上。

3. 必须牢记近地卫星的三个特点

① 轨道半径 = 地球半径。

② 卫星所受万有引力 = mg 。

③ 卫星向心加速度 = g 。

4. 宇宙速度的理解与计算

第一宇宙速度的推导

方法一：由 $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{v_1^2}{R}$ 得 $v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}} = 7.9 \times 10^3 \text{ m/s}$ 。

方法二：由 $mg = m \frac{v_1^2}{R}$ 得 $v_1 = \sqrt{gR} = 7.9 \times 10^3 \text{ m/s}$ 。

第一宇宙速度是发射地球人造卫星的最小速度，也是地球人造卫星的最大环绕速度，此时它的运行周期最

短， $T_{\min} = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} \approx 85 \text{ min}$ 。

命题角度一 卫星轨道上物理参量的比较与运算

例 3. (2019·江苏省四星级中学高三上学期一调联考) 2017 年 9 月，我国控制“天舟一号”飞船离轨，使它进入

大气层烧毁，残骸坠入南太平洋一处号称“航天器坟场”的远离大陆的深海区。在受控坠落前，“天舟一号”在距离地面 380 km 的圆轨道上飞行，则下列说法中正确的是()

- A. 在轨运行时，“天舟一号”的线速度大于第一宇宙速度
- B. 在轨运行时，“天舟一号”的角速度小于同步卫星的角速度
- C. 受控坠落时，应通过“反推”实现制动离轨
- D. “天舟一号”离轨后，在进入大气层前，运行速度不断增大

【答案】 CD

【解析】 依据万有引力提供向心力，则有： $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$ ，因“天舟一号”的轨道半径大于地球半径，则在轨运行时，“天舟一号”的线速度小于第一宇宙速度，A 错误；同理， $G\frac{Mm}{r^2}=m\omega^2r$ ，因“天舟一号”的轨道半径小于同步卫星的半径，则在轨运行时，“天舟一号”的角速度大于同步卫星的角速度，B 错误；在受控坠落时，应通过“反推”使其速率减小，则所需要的向心力减小，万有引力大于所需向心力，则做近心运动，从而实现制动离轨，C 正确；“天舟一号”离轨后，在进入大气层前，因只有引力做功，机械能守恒，故减小的势能转化为增加的动能，其运行速度不断增大，D 正确。

针对训练 3.(2019·江苏淮安质检)科学家预测银河系中所有行星的数量大概在 2~3 万亿之间。目前在银河系发现一颗类地行星，半径是地球半径的两倍，质量是地球质量的三倍。卫星 a、b 分别绕地球、类地行星做匀速圆周运动，它们距中心天体表面的高度均等于地球的半径。则卫星 a、b 的()

- A. 线速度之比为 1 : $\sqrt{3}$
- B. 角速度之比为 3 : $2\sqrt{2}$
- C. 周期之比为 $2\sqrt{2} : \sqrt{3}$
- D. 加速度之比为 4 : 3

【答案】 B

【解析】：设地球的半径为 R ，质量为 M ，则类地行星的半径为 $2R$ ，质量为 $3M$ ，卫星 a 的运动半径为 $R_a = 2R$ ，卫星 b 的运动半径为 $R_b = 3R$ ，万有引力充当向心力，根据公式 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$ ，可得 $v_a = \sqrt{\frac{GM}{2R}}$ ， $v_b = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ ，故线速度之比为 1 : $\sqrt{2}$ ，A 错误；根据公式 $G\frac{Mm}{r^2}=m\omega^2r$ ，可得 $\omega_a = \sqrt{\frac{GM}{2R^3}}$ ， $\omega_b = \sqrt{\frac{3GM}{3R^3}}$ ，故角速度之比为 3 : $2\sqrt{2}$ ，根据 $T = \frac{2\pi}{\omega}$ ，可得周期之比为 $2\sqrt{2} : 3$ ，B 正确，C 错误；根据公式 $G\frac{Mm}{r^2}=ma$ ，可得 $a_a = \frac{GM}{2R^2}$ ， $a_b = \frac{3GM}{3R^2}$ ，故加速度之比为 3 : 4，D 错误。

命题角度二 同步卫星的特点

例 4. (2019·陕西榆林市第三次测试)2019 年 3 月 10 日我国在西昌卫星发射中心用长征三号乙运载火箭成功将“中星 6C”卫星发射升空，卫星进入预定轨道，它是一颗用于广播和通信的地球静止轨道通信卫星，假设该卫星在距地面高度为 h 的同步轨道做圆周运动。已知地球的半径为 R ，地球表面的重力加速度为 g ，万有引力常量为 G 。下列说法正确的是()

- A. 同步卫星运动的周期为 $2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$
- B. 同步卫星运行的线速度为 $\sqrt{g(R+h)}$

C. 同步轨道处的重力加速度为 $(\frac{R}{R+h})^2g$ D. 地球的平均密度为 $\frac{3g}{4\pi GR^2}$

【答案】 C

【解析】 地球同步卫星在距地面高度为 h 的同步轨道做圆周运动，万有引力提供向心力，有： $\frac{GMm}{(R+h)^2} = m\frac{4\pi^2(R+h)}{T^2}$ ，在地球表面附近，重力等于万有引力，有： $mg = \frac{GMm}{R^2}$ ，故同步卫星运动的周期为： $T = 2\pi\sqrt{\frac{(R+h)^3}{gR^2}}$ ，故 A 错误；根据万有引力提供向心力，有： $\frac{GMm}{(R+h)^2} = m\frac{v^2}{R+h}$ ，解得同步卫星运行的线速度为： $v = \sqrt{\frac{gR^2}{R+h}}$ ，故 B 错误；根据万有引力提供向心力，有： $G\frac{Mm}{(R+h)^2} = mg'$ ，解得 $g' = (\frac{R}{R+h})^2g$ ，故 C 正确；由 $mg = \frac{GMm}{R^2}$ 得： $M = \frac{gR^2}{G}$ ，故地球的平均密度为： $\rho = \frac{M}{\frac{4\pi R^3}{3}} = \frac{3g}{4\pi GR}$ ，故 D 错误。

针对训练 4.(2019·高考北京卷)2019 年 5 月 17 日，我国成功发射第 45 颗北斗导航卫星，该卫星属于地球静止轨道卫星(同步卫星)。该卫星()

- A. 入轨后可以位于北京正上方 B. 入轨后的速度大于第一宇宙速度
C. 发射速度大于第二宇宙速度 D. 若发射到近地圆轨道所需能量较少

【答案】 D.

【解析】：同步卫星只能位于赤道正上方，A 项错误；由 $\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$ 知，卫星的轨道半径越大，卫星做匀速圆周运动的线速度越小，因此入轨后的速度小于第一宇宙速度(近地卫星的速度)，B 项错误；同步卫星的发射速度大于第一宇宙速度，小于第二宇宙速度，C 项错误；若发射到近地圆轨道，所需发射速度较小，所需能量较小，D 项正确。

命题角度三 第一宇宙速度的计算与理解

例 5.(2019·广西省高三上学期跨市联合调研)天文兴趣小组查找资料得知：某天体的质量为地球质量的 a 倍，其半径为地球半径的 b 倍，表面无大气层，地球的第一宇宙速度为 v 。则该天体的第一宇宙速度为()

- A. $v\sqrt{\frac{a}{b}}$ B. $v\sqrt{\frac{b}{a}}$ C. $\frac{a}{b}v$ D. $\frac{b}{a}v$

【答案】 A

【解析】 设地球质量为 M ，半径为 r ，某天体的质量是地球质量的 a 倍，其半径是地球半径的 b 倍，卫星沿地球表面做匀速圆周运动的速度为 v ，则由万有引力提供向心力得： $G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$ ，解得地球的第一宇宙速度 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ，同理得该天体的第一宇宙速度 $v_{\text{天体}} = \sqrt{\frac{G \cdot aM}{br}} = v\sqrt{\frac{a}{b}}$ ，A 正确。

针对训练 5.(2019·安徽师大附中期中)登上火星是人类的梦想，“嫦娥之父”欧阳自远透露：中国计划于 202 年登陆火星。地球和火星的公转视为匀速圆周运动。忽略行星自转影响，火星和地球相比 ()

行星	半径/m	质量/kg	公转轨道半径/m
地球	6.4×10^6	6.0×10^{24}	1.5×10^{11}
火星	3.4×10^6	6.4×10^{23}	2.3×10^{11}

- A. 火星的“第一宇宙速度”约为地球的第一宇宙速度的 0.45 倍
 B. 火星的“第一宇宙速度”约为地球的第一宇宙速度的 1.4 倍
 C. 火星公转的向心加速度约为地球公转的向心加速度的 0.43 倍
 D. 火星公转的向心加速度约为地球公转的向心加速度的 0.28 倍

【答案】：AC

【解析】：根据第一宇宙速度公式 $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ (M 指中心天体火星或地球的质量) 得 $\frac{v_{火}}{v_{地}} = \sqrt{\frac{M_{火} R_{地}}{M_{地} R_{火}}} = 0.45$, 故

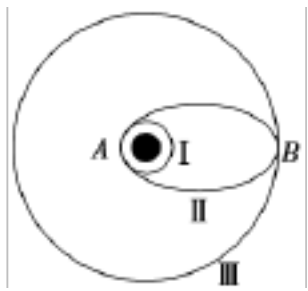
A 正确, B 错误; 根据向心加速度公式 $a = \frac{GM}{r^2}$ (M 指中心天体太阳的质量) 得 $\frac{a_{火}}{a_{地}} = \frac{r_{地}^2}{r_{火}^2} = \frac{1.5^2}{2.3^2} = 0.43$, 故 C 正确,

D 错误.

超重点突破 3 卫星变轨与对接

卫星速度改变时, 卫星将变轨运行.

1. 速度增大时, 卫星将做离心运动, 周期变长, 机械能增加, 稳定在高轨道上时速度比在低轨道上小.
2. 速度减小时, 卫星将做向心运动, 周期变短, 机械能减少, 稳定在低轨道上时速度比在高轨道上大.
3. 物理量的定性分析



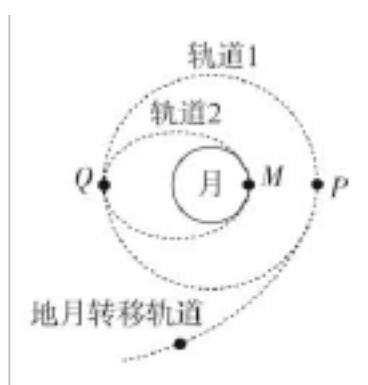
(1)速度: 设卫星在圆轨道 I 和 III 上运行时的速率分别为 v_1 、 v_3 , 在轨道 II 上过 A 点和 B 点时速率分别为 v_A 、 v_B . 因在 A 点加速, 则 $v_A > v_1$, 因在 B 点加速, 则 $v_3 > v_B$, 又因 $v_1 > v_3$, 故有 $v_A > v_1 > v_3 > v_B$.

(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, 从轨道 II 和轨道 III 上经过 B 点时加速度也相同.

(3)周期: 设卫星在 I、II、III 轨道上运行周期分别为 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 $\frac{a^3}{T^2} = k$ 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 , 则 $E_1 < E_2 < E_3$.

例 6.(2019·河北衡水中学高三二调)探月工程中, “嫦娥三号”探测器的发射过程可以简化如下: 卫星由地面发射后, 进入地月转移轨道, 经过 P 点时变轨进入距离月球表面 100 公里的圆形轨道 1, 在轨道 1 上经过 Q 点时变轨进入椭圆轨道 2, 轨道 2 与月球相切于 M 点, 月球车将在 M 点着陆月球表面. 下列说法正确的是 ()

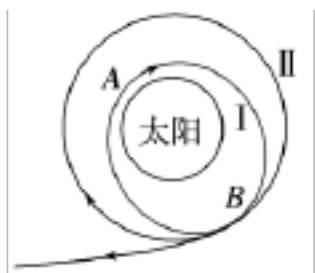


- A. “嫦娥三号”在轨道 1 上的速度比月球的第一宇宙速度小
- B. “嫦娥三号”在地月转移轨道上经过 P 点的速度比在轨道 1 上经过 P 点时大
- C. “嫦娥三号”在轨道 1 上的运动周期比在轨道 2 上小
- D. “嫦娥三号”在轨道 1 上经过 Q 点时的加速度小于在轨道 2 上经过 Q 点时的加速度

【答案】 AB

【解析】 月球的第一宇宙速度是卫星在月球表面绕月球做匀速圆周运动时的速度，“嫦娥三号”在轨道 1 上做匀速圆周运动的半径大于月球半径，根据 $\frac{GMm}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$ ，得线速度 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ，可知“嫦娥三号”在轨道 1 上的运动速度比月球的第一宇宙速度小，A 正确；“嫦娥三号”在地月转移轨道上经过 P 点进入轨道 1，需减速，所以在地月转移轨道上经过 P 点的速度比在轨道 1 上经过 P 点时大，B 正确；由于卫星在轨道 2 上运动时轨道的半长轴比在轨道 1 上运动时的轨道半径小，根据开普勒第三定律可知卫星在轨道 1 上的运动周期比在轨道 2 上大，C 错误；“嫦娥三号”经过 Q 点时的加速度取决于在该点时所受的万有引力，由万有引力公式可知它在轨道 1 和轨道 2 上经过 Q 点时所受万有引力相等，则加速度相等，D 错误。

针对训练 6.(2019·山东临沂市 2 月质检)2019 年春节期间，中国科幻电影里程碑作品《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，其逃离过程可设想成如图所示，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()



- 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

【答案】 B

【解析】 沿轨道 I 运动至 B 点时，需向后喷气加速才能进入轨道 II，选项 A 错误；因轨道 I 的半长轴小于轨道 II 的半径，根据开普勒第三定律可知，沿轨道 I 运行的周期小于沿轨道 II 运行的周期，选项 B 正确；根据 $a = \frac{GM}{r^2}$ 可知，沿轨道 I 运行时，在 A 点的加速度大于在 B 点的加速度，选项 C 错误；根据开普勒第二定律可知，选项 D 错误。

超重点突破 4 双星与多星问题

解决双星、多星问题，要抓住四点：一抓双星或多星的特点、规律，确定系统的中心以及运动的轨道半径；二抓星体的向心力由其他天体的万有引力的合力提供；三抓星体的角速度相等；四抓星体的轨道半径不是天体间的距离.要利用几何知识，寻找它们之间的关系，正确计算万有引力和向心力.

1. 双星模型

(1)模型条件：两颗恒星彼此相距较近；两颗恒星靠相互之间的万有引力做匀速圆周运动；两颗恒星绕同一圆心做匀速圆周运动.

(2)模型特点

①两颗恒星做匀速圆周运动的向心力由它们之间的万有引力提供，故 $F_1=F_2$ ，且方向相反，各自需要的向心力由彼此间的万有引力相互提供，即 $\frac{Gm_1m_2}{L^2}=m_1\omega_1^2r_1$ ， $\frac{Gm_1m_2}{L^2}=m_2\omega_2^2r_2$.

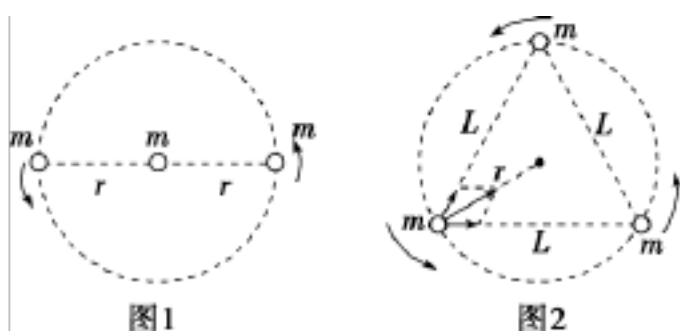
②两颗星的周期及角速度都相同，即 $T_1=T_2$ ， $\omega_1=\omega_2$.

③半径、线速度与质量成反比：圆心在两颗恒星的连线上，且 $r_1+r_2=L$ ，两颗恒星做匀速圆周运动的半径与恒星的质量成反比.两颗恒星做匀速圆周运动的线速度与恒星的质量成反比.

2. 三星模型

(1)如图 1 所示，三颗质量相等的行星，一颗行星位于中心位置不动，另外两颗行星围绕它做圆周运动.这三颗行星始终位于同一直线上，中心行星受力平衡，运转的行星由其余两颗行星的引力提供向心力： $\frac{Gm_2}{r^2}+$

$\frac{Gm_2}{(2r)^2}=ma_{\text{向}}$. 两行星运行的方向相同，周期、角速度、线速度的大小相等.



(2)如图 2 所示，三颗质量相等的行星位于一正三角形的顶点处，都绕三角形的中心做圆周运动.每颗行星运行所需向心力都由其余两颗行星对其万有引力的合力来提供，即 $\frac{Gm^2}{L^2} \times 2 \times \cos 30^\circ = ma_{\text{向}}$ ，其中 $L = 2r \cos 30^\circ$. 三颗行星运行的方向相同，周期、角速度、线速度的大小相等.

例 7.(2019·河南驻马店市上学期期终)天文学家经过长期观测，在宇宙中发现了许多“双星”系统，这些“双星”系统一般与其他星体距离很远，受到其他天体引力的影响可以忽略不计.根据一对“双星”系统的光学测量确定，此双星系统中两个星体的质量均为 m ，而绕系统中心转动的实际周期是理论计算的周期的 k 倍($k < 1$)，究其原因，科学家推测，在以两星球球心连线为直径的球体空间中可能均匀分布着暗物质.若此暗物质确定存在，其质量应为()

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/88531331400011124>