



主干回忆 夯基固源

考点透析 题组冲关

课时标准训练

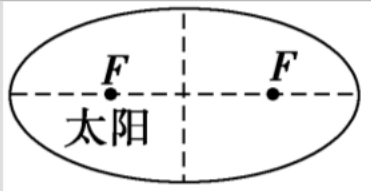
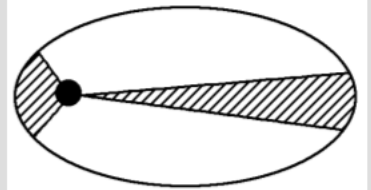
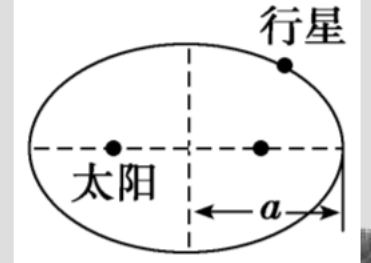




## 第4节 万有引力与航天



## 一、开普勒行星运动定律

定律	内容	图示
开普勒第一定律	所有行星绕太阳运动的轨道都是椭圆，太阳处在椭圆的一个焦点上	 An elliptical orbit is shown with a dashed vertical line representing the minor axis and a dashed horizontal line representing the major axis. Two foci are marked with dots and labeled 'F'. The Sun is labeled '太阳' and is positioned at the left focus.
开普勒第二定律	对任意一个行星来说，它与太阳的连线在相等的时间内扫过相等的面积	 An elliptical orbit is shown with a shaded sector on the left side, representing the area swept by the line connecting the Sun to the planet over a certain time interval.
开普勒第三定律	所有行星的轨道的半长轴的三次方跟它的公转周期的二次方的比值都相等。 $\frac{a^3}{T^2} = k$	 An elliptical orbit is shown with a dashed vertical line representing the minor axis and a dashed horizontal line representing the major axis. The Sun is labeled '太阳' and is positioned at the left focus. A planet is labeled '行星' and is positioned on the orbit. The semi-major axis is labeled 'a' and is shown as a horizontal line segment from the center of the ellipse to the rightmost point of the orbit.



## 二、万有引力定律

1. 内容：自然界中任何两个物体都相互吸引，引力的方向在它们的连线上，引力的大小与物体的质量  $m_1$  和  $m_2$  的乘积成正比，与它们之间距离的平方成反比。

2. 公式： $F = \frac{G m_1 m_2}{r^2}$ ，其中  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$ 。





### 3. 适用条件

公式适用于 质点 间的相互作用。当两物体间的距离远大于物体本身的大小时，物体可视为质点；均匀的球体可视为质点， $r$  是 球心 间的距离；对一个均匀球体与球外一个质点的万有引力的求解也适用，其中  $r$  为球心到 质点 间的距离。





### 三、三种宇宙速度

宇宙速度	数值 (km/s)	意义
第一宇宙速度 (环绕速度)	<u>7.9</u>	是人造地球卫星的最小 <u>发射</u> 速度，也是人造地球卫星绕地球做圆周运动的 <u>最大运行</u> 速度。
第二宇宙速度 (脱离速度)	11.2	使物体挣脱 <u>地球</u> 引力束缚的最小发射速度。
第三宇宙速度 (逃逸速度)	16.7	使物体挣脱 <u>太阳</u> 引力束缚的最小发射速度。





## 四、经典时空观和相对论时空观

### 1. 经典时空观

(1)在经典力学中，物体的质量是不随速度的改变而改变的。

(2)在经典力学中，同一物理过程发生的位移和对应时间的测量结果在不同的参考系中是相同的。





## 2. 相对论时空观

同一过程的位移和时间的测量与参考系有关，在不同的参考系中不同。

## 3. 经典力学有它的适用范围

只适用于低速运动，不适用于高速运动；只适用于宏观世界，不适用于微观世界。







## [自我诊断]

### 1. 判断正误

(1) 只有天体之间才存在万有引力. ( × )

(2) 当两物体间的距离趋近于零时，万有引力趋近于无穷大. ( × )

(3) 人造地球卫星绕地球运动，其轨道平面一定过地心. ( √ )

(4) 地球同步卫星的运行速度大于第一宇宙速度. ( × )

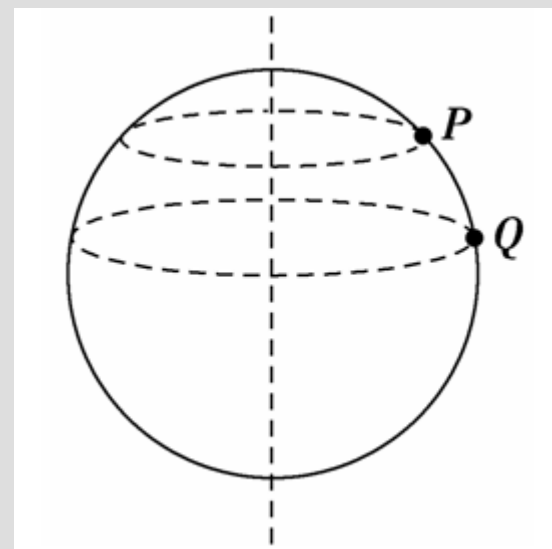
(5) 地球同步卫星可以定点于北京正上方. ( × )





2. (多选) 如图所示,  $P$ 、 $Q$  是质量均为  $m$  的两个质点, 分别置于地球表面的不同纬度上, 如果把地球看成一个均匀球体,  $P$ 、 $Q$  两质点随地球自转做匀速圆周运动, 则下列说法正确的是( )

- A.  $P$ 、 $Q$  受地球引力大小相等
- B.  $P$ 、 $Q$  做圆周运动的向心力大小相等
- C.  $P$ 、 $Q$  做圆周运动的角速度大小相等
- D.  $P$  受地球引力大于  $Q$  所受地球引力



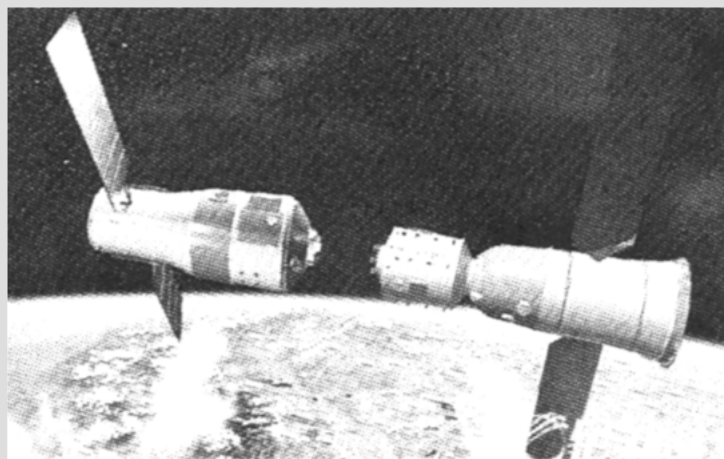


**解析：**选 AC. 计算均匀球体与质点间的万有引力时， $r$  为球心到质点的距离，因为  $P$ 、 $Q$  到地球球心的距离相同，根据  $F = \frac{GMm}{r^2}$  知， $P$ 、 $Q$  受地球引力大小相等， $P$ 、 $Q$  随地球自转，角速度相同，但轨道半径不同，根据  $F_n = mR\omega^2$ ， $P$ 、 $Q$  做圆周运动的向心力大小不同，A、C 正确，B、D 错误.





3. (多选)我国已先后成功发射了“天宫一号”飞行器和“神舟八号”飞船，并成功地进行了对接试验，若“天宫一号”能在离地面约 **300 km** 高的圆轨道上正常运行，则下列说法中正确的是 ( )





- A. “天宫一号”的发射速度应大于第二宇宙速度
- B. 对接前，“神舟八号”欲追上“天宫一号”，必须在同一轨道上点火加速
- C. 对接时，“神舟八号”与“天宫一号”的加速度大小相等
- D. 对接后，“天宫一号”的速度小于第一宇宙速度





**解析：**选 **CD**.地球卫星的发射速度都大于第一宇宙速度，且小于第二宇宙速度，**A** 错误；若“神舟八号”在与“天宫一号”同一轨道上点火加速，那么“神舟八号”的万有引力小于向心力，其将做离心运动，不可能实现对接，**B** 错误；对接时，“神舟八号”与“天宫一号”必须在同一轨道上，根据  $a = G\frac{M}{r^2}$  可知，它们的加速度大小相等，**C** 正确；第一宇宙速度是地球卫星的最大运行速度，所以对接后，“天宫一号”的速度仍然要小于第一宇宙速度，**D** 正确.





4. (多选)在圆轨道上运动的质量为  $m$  的人造地球卫星，它到地面的距离等于地球半径  $R$ ，地面上的重力加速度为  $g$ ，忽略地球自转影响，则( )

A. 卫星运动的速度大小为  $\sqrt{2gR}$

B. 卫星运动的周期为  $4\pi\sqrt{\frac{2R}{g}}$

C. 卫星运动的向心加速度大小为  $\frac{1}{2}g$

D. 卫星轨道处的重力加速度为  $\frac{1}{4}g$





**解析：**选 **BD**.地面上万有引力等于重力，即  $G\frac{Mm}{R^2}=mg$ ，该卫星到地面的距离等于地球半径  $R$ ，则其轨道半径  $r=2R$ ，其做匀速圆周运动的向心力由万有引力提供，根据牛顿第二定律  $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r=ma=mg'$ ，可求得卫星运动的速度大小  $v=\sqrt{\frac{gR}{2}}$ ，周期  $T=4\pi\sqrt{\frac{2R}{g}}$ ，向心加速度大小  $a=g'=\frac{1}{4}g$ ，选项 **A**、**C** 错误，**B**、**D** 正确.





## 考点一 天体质量和密度的估算

### 1. 解决天体(卫星)运动问题的基本思路

(1) 天体运动的向心力来源于天体之间的万有引力, 即

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

(2) 在中心天体表面或附近运动时, 万有引力近似等于重力,

即  $G \frac{Mm}{R^2} = mg$  ( $g$  表示天体表面的重力加速度).





## 2. 天体质量和密度的计算

(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

$$\text{质量 } M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2};$$

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。



1. (2016·高考海南卷)(多选)通过观测冥王星的卫星,可以推算出冥王星的质量.假设卫星绕冥王星做匀速圆周运动,除了引力常量外,至少还需要两个物理量才能计算出冥王星的质量.这两个物理量可以是( )

- A. 卫星的速度和角速度
- B. 卫星的质量和轨道半径
- C. 卫星的质量和角速度
- D. 卫星的运行周期和轨道半径





**解析：**选 AD. 由  $v = \omega r$  可求出  $r$ ，根据  $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$  或  $G \frac{Mm}{r^2} =$

$m\omega^2 r$  可求出冥王星的质量，A 正确. 根据  $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$  可求出

冥王星的质量，D 正确. B 和 C 中都由于已知量不足，无法求出

冥王星的质量.





2. 假设地球可视为质量均匀分布的球体. 已知地球表面重力加速度在两极的大小为  $g_0$ , 在赤道的大小为  $g$ ; 地球自转的周期为  $T$ , 引力常量为  $G$ . 地球的密度为( )

A.  $\frac{3\pi}{GT^2} \cdot \frac{g_0 - g}{g_0}$

B.  $\frac{3\pi}{GT^2} \cdot \frac{g_0}{g_0 - g}$

C.  $\frac{3\pi}{GT^2}$

D.  $\frac{3\pi}{GT^2} \cdot \frac{g_0}{g}$





**解析：**选 B. 设地球半径为  $R$ . 质量为  $m$  的物体在两极点时，有

$mg_0 = G\frac{Mm}{R^2}$ ，在赤道时，有  $G\frac{Mm}{R^2} - mg = mR\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$ ，又地球的密度

$\rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$ ，由各式联立得  $\rho = \frac{3g_0\pi}{G(g_0 - g)T^2}$ ，选项 B 正确.







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的 $\frac{1}{20}$ .该中心恒星与太阳的质量比约为( )

A.  $\frac{1}{10}$

B. 1

C. 5

D. 10





**解析：**选 **B**.行星绕中心恒星做匀速圆周运动，万有引力提供

向心力，由牛顿第二定律得  $G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{4\pi^2}{T^2}r$ ，则  $\frac{M_1}{M_2} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^3 \cdot \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2 = \left(\frac{1}{20}\right)$

$^3 \times \left(\frac{365}{4}\right)^2 \approx 1$ .选项 **B** 正确.





## 「易错警示」

### 解决天体质量和密度的估算问题的两点注意

(1) 卫星的轨道半径与中心天体的半径不要混淆，只有近地卫星的轨道半径才近似等于天体半径。

(2) 搞清“以谁为研究对象，谁是中心天体”、“受力特点”、“谁做圆周运动”等，明确一般只能求解中心天体的质量和密度，不能求解环绕天体的质量和密度。





## 30' 14" 万有引力定律和天体运动（上）





## 考点二 卫星的运行规律

### 1. 卫星的运行规律

(1) 卫星做匀速圆周运动.

(2) 万有引力提供向心力: 即由  $G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{v^2}{r} = mr\omega^2 = m\frac{4\pi^2}{T^2}r =$

$ma_n$  可推导出:





$$\left. \begin{aligned} v &= \sqrt{\frac{GM}{r}} \\ \omega &= \sqrt{\frac{GM}{r^3}} \\ T &= \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}} \\ a_n &= G \frac{M}{r^2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \text{当 } r \text{ 增大时} \left\{ \begin{array}{l} v \text{ 减小} \\ \omega \text{ 减小} \\ T \text{ 增大} \\ a_n \text{ 减小} \end{array} \right.$$



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/888143011055006073>