

章末复习

知识网络

万有引力与航天

人类对行星运动规律认识

“地心说”和“日心说”

开普勒行星运动定律

轨道定律

面积定律

周期定律

万有引力定律

推理、发现

内容、公式 $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$

引力常量G的测定

万有引力理论成就

“称量”地球质量 $M = \frac{gR^2}{G}$

计算天体质量 $M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$

发现未知天体

$$\begin{array}{l}
 \text{宇宙航行} \left\{ \begin{array}{l}
 \text{人造卫星: } G = \frac{Mm}{r^2} = mr = \frac{4\pi^2}{T^2} = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r \\
 \text{宇宙速度} \left\{ \begin{array}{l}
 v_1 = \underline{7.9} \text{ km/s} \\
 v_2 = \underline{11.2} \text{ km/s} \\
 v_3 = \underline{16.7} \text{ km/s}
 \end{array} \right. \\
 \text{宇宙航行成就}
 \end{array} \right.
 \end{array}$$

综合探究

专题一 三种常见的匀速圆周运动绕行模型

1. 核星模型

这种天体运动模型中，一般由运行天体绕中心天体(视为静止)做匀速圆周运动，即为常规性运动模型.

典例 1 “神舟六号”载人飞船在绕行地球第 5 圈进行变轨，由原来的椭圆轨道变为距地面高度 $h=342 \text{ km}$ 的圆形轨道. 已知地球半径 $R=6.37 \times 10^3 \text{ km}$ ，地面处的重力加速度 $g=10 \text{ m/s}^2$. 试导出飞船在上述圆形轨道上运行的周期 T 的公式(用 h 、 R 、 g 表示). 然后计算周期 T 的数值(保留两位有效数字).

思维导图 建立匀速圆周运动模型——→利用周期 T 的牛顿第二定律表达式——→利用黄金代换式消 GM .

解析 设地球质量为 M , 飞船质量为 m , 速度为 v , 圆轨道的半径为 r , 由万有引力定律和牛顿第二定律, 有

$$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r} \quad \text{①}$$

$$T = \frac{2\pi r}{v} \quad \text{②}$$

地面附近 $G \cdot \frac{Mm}{R^2} = mg$ ③

由已知条件 $r = R + h$ ④

解以上各式得 $T = 2\pi \sqrt{\frac{(R+h)^3}{R^2 g}}$ ⑤

代入数值, $T = 5.4 \times 10^3 \text{ s}$

答案 $T = 2\pi \sqrt{\frac{(R+h)^3}{R^2 g}} = 5.4 \times 10^3 \text{ s}$

2. 双星模型

在天体模型中,将两颗彼此距离较近的恒星称为双星,它们在相互之间的万有引力作用下,绕两球连线上某点做周期相同的匀速圆周运动.

3. 三星模型

宇宙中存在一些离其他恒星较远的三颗星组成的相对稳定的系统,三颗星可能构成稳定的正三角形,也可能在同一直线上.

典例 2 宇宙中存在一些离其它恒星较远的、由质量相等的三颗星组成的三星系统,通常可忽略其它星体对它们的引力作用.已观测到稳定的三星系统存在两种基本的构成形式:一种是三颗星位于同一直线上,两颗星围绕中央星在同一半径为 R 的圆轨道上运行;另一种形式是三颗星位于等边三角形的三个顶点上,并沿外接于等边三角形的圆形轨道运行.设每个星体的质量均为 m .

(1)试求第一种形式下,星体运动的线速度和周期.

(2)假设两种形式星体的运动周期相同,第二种形式下星体之间的距离应为多少?

解析 (1)对于第一种运动情况,以某个运动星体为研究对象,如图甲所示根据牛顿第二定律和万有引力定律有

$$F_1 = \frac{Gm^2}{R^2}, F_2 = \frac{Gm^2}{(2R)^2}$$

$$F_1 + F_2 = mv^2/R$$

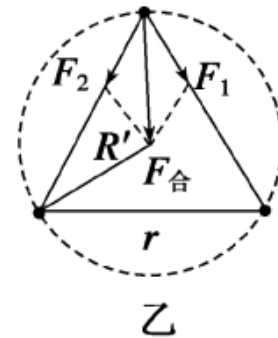
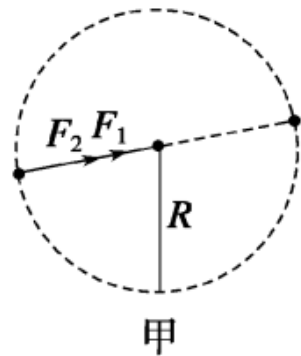
$$\text{运动星体的线速度: } v = \frac{\sqrt{5GmR}}{2R}$$

$$\text{周期为 } T, \text{ 则有 } T = \frac{2\pi R}{v}$$

$$T = 4\pi \sqrt{\frac{R^3}{5Gm}}$$

(2)设第二种形式星体之间的距离为 r ,则三个星体做圆周

运动的半径为 $R' = \frac{r/2}{\cos 30^\circ} = \frac{\sqrt{3}}{3}r$,如图乙所示



由于任一星体做圆周运动所需要的向心力靠其它两个星体的万有引力的合力提供，由力的合成和牛顿运动定律有：

$$F_{\text{合}} = 2 \frac{Gm^2}{r^2} \cos 30^\circ$$

$$F_{\text{合}} = m \frac{4\pi^2}{T^2} R'$$

$$\text{所以 } r = \left(\frac{12}{5}\right)^{\frac{1}{3}} R$$

答案 (1) $\sqrt{\frac{5GmR}{2R}}$ $4\pi \sqrt{\frac{R^3}{5Gm}}$ (2) $\left(\frac{12}{5}\right)^{\frac{1}{3}} R$

专题二 应用万有引力定律求解有关物理量

典例 3 土星周围有许多大小不等的岩石颗粒，其绕土星的运动可视为圆周运动。其中有两个岩石颗粒 A 和 B 与土星中心的距离分别为 $r_A = 8.0 \times 10^4 \text{ km}$ 和 $r_B = 1.2 \times 10^5 \text{ km}$ ，忽略所有岩石颗粒间的相互作用。（结果可用根式表示）

(1) 求岩石颗粒 A 和 B 的线速度之比。

(2) 求岩石颗粒 A 和 B 的周期之比。

(3) 土星探测器上有一物体，在地球上重为 10 N ，推算出它在距土星中心 $3.2 \times 10^5 \text{ km}$ 处受到土星的引力为 0.38 N 。已知地球的半径为 $6.4 \times 10^3 \text{ km}$ ，请估算土星质量是地球质量的多少倍？

解析 (1) 设土星质量为 M_0 ，颗粒质量为 m ，颗粒距土星中心距离为 r ，线速度为 v ，根据牛顿第二定律和万有引力定律得

$$\frac{GM_0m}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

$$\text{解得 } v = \sqrt{\frac{GM_0}{r}}$$

对于 A 、 B 两颗粒分别有 $v_A = \sqrt{\frac{GM_0}{r_A}}$ 和 $v_B = \sqrt{\frac{GM_0}{r_B}}$

$$\text{得 } \frac{v_A}{v_B} = \frac{\sqrt{6}}{2}$$

(2) 设颗粒绕土星做圆周运动的周期为 T ，则 $T = \frac{2\pi r}{v}$

对于 A 、 B 两颗粒分别有

$$T_A = \frac{2\pi r_A}{v_A} \text{ 和 } T_B = \frac{2\pi r_B}{v_B}$$

$$\text{得 } \frac{T_A}{T_B} = \frac{2}{9} \sqrt{6}$$

(3) 设地球质量为 M ，地球半径为 r_0 ，地球上物体的重力可视为万有引力，探测器上物体质量为 m_0 ，在地球表面重力为 G_0 ，距土星中心 $r_0' = 3.2 \times 10^5 \text{ km}$ 处的引力为 G_0' ，根据万有引力定律

$$G_0 = \frac{GMm_0}{r_0^2}$$

$$G_0' = \frac{Gm_0M_0}{r_0'^2}$$

由上两式得： $\frac{M_0}{M} = 95$

答案 (1) $\frac{\sqrt{6}}{2}$ (2) $\frac{2\sqrt{6}}{9}$ (3) 95

专题三 近地卫星、同步卫星和赤道上随地球自转的物体

典例4 一组太空人乘坐太空穿梭机去修理位

于离地球表面 $6.0 \times 10^5 \text{ m}$ 的圆形轨道上的

哈勃太空望远镜 H .机组人员使穿梭机 S 进

入与 H 相同的轨道并关闭助推火箭，而望

远镜则在穿梭机前方数公里处，如图1所示

(已知：地球半径为 $6.4 \times 10^6 \text{ m}$ ，地球表面 g 取 9.8 m/s^2).

(1)在穿梭机内，一质量为 70 kg 的太空人的视重是多少？

(2)①计算轨道上的重力加速度的值.

②计算穿梭机在轨道上的速率和周期.

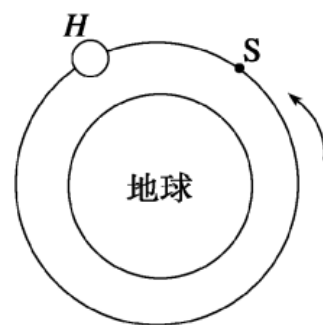


图1

(3)穿梭机须首先螺旋进入半径较小的轨道，才有较大的角速度以超前望远镜.用上题的结果判断穿梭机要进入较低轨道时应增加还是减少其原有速率，解释你的答案.

思路点拨 卫星在做圆周运动时处于完全失重状态，与重力有关的现象全部消失.当卫星要改变轨道时，万有引力不再等于向心力，当 $G\frac{Mm}{r^2} > m\frac{v^2}{r}$ 时，物体做向心运动， r 减小；当 $G\frac{Mm}{r^2} < m\frac{v^2}{r}$ 时，物体做离心运动， r 增大.

解析 (1)由于穿梭机处于完全失重状态，所以此人的视重为 0.

(2)①设轨道处的重力加速度为 g' ，地球质量为 $M_{地}$ ，由万有引力定律得

$$mg' = G \frac{M_{地}m}{(R+h)^2}$$

$$mg = G \frac{M_{地}m}{R^2}$$

解以上两式得 $g' = \frac{gR^2}{(R+h)^2} = 8.2 \text{ m/s}^2$

②由牛顿第二定律得

$$G \frac{M_{地}m}{(R+h)^2} = m \frac{v^2}{R+h} = m \frac{4\pi^2}{T^2}(R+h)$$

所以 $v = \sqrt{\frac{gR^2}{R+h}} = 7.6 \times 10^3 \text{ m/s}$

$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2(R+h)^3}{gR^2}} = 5.8 \times 10^3 \text{ s.}$$

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/467026050034006154>