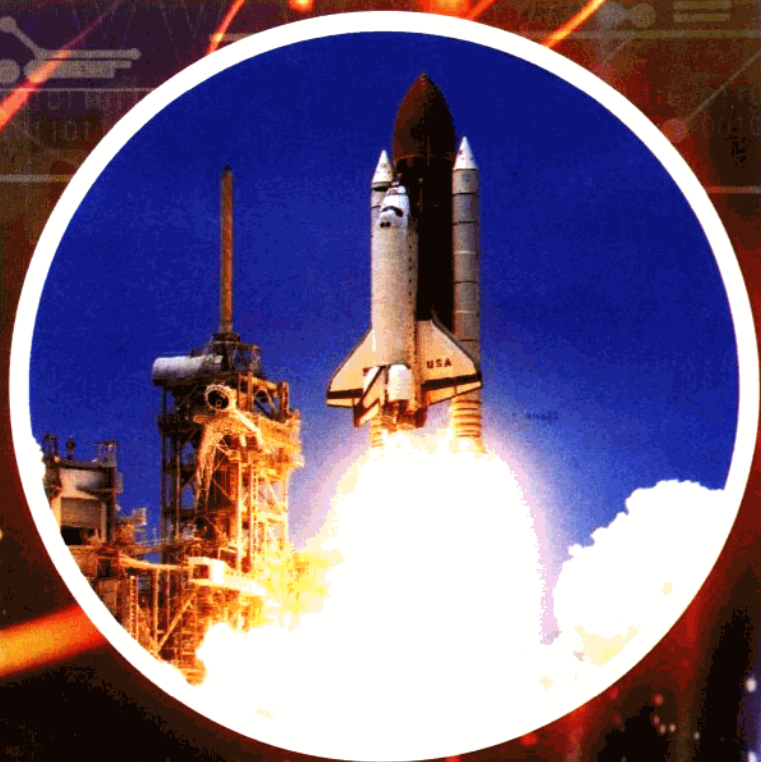


高中学科素质教育丛书

物理

WULI

高中一年级（下）



四川出版集团·四川教育出版社

高中学科素质教育丛书

物 理

高中一年级（下）

主 编 谭克胜
编 者 张建鸣 王 刚
陈国水 甘长青
陈应才 陈周国

四川出版集团
四川教育出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

高中学科素质教育丛书. 物理. 一年级. 下/谭克胜编.
- 成都: 四川教育出版社, 2005 (2006 重印)
ISBN 7-5408-4049-8

I. 高… II. 谭… III. 物理课 - 高中 - 教学参考资料
IV. G634

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 009574 号

责任编辑	韦纪军
版式设计	张 涛
封面设计	金 阳
责任校对	伍登富
责任印制	黄 萍
出版发行	四川出版集团 四川教育出版社 (成都市槐树街2号 邮政编码 610031)
出 版 人	安庆国
印 刷	内江市龙华档案印务有限公司
版 次	2005 年 2 月第 1 版
印 次	2006 年 1 月第 2 次印刷
成品规格	185mm × 260mm
印 张	8.25
字 数	208 千
印 数	13801 - 33000 册
定 价	8.25 元

本书若出现印装质量问题, 请与本社调换。电话: (028) 86259359
编辑部电话: (028) 86259381 邮购电话: (028) 86259694

前 言

为了让广大高中师生更好地理解新教材、用好新教材，四川教育出版社组织众多专家，经过反复研讨、论证，共同编写出一套适合素质教育、配合高中新教材使用的新的助学读物——“高中学科素质教育丛书”。丛书包括高中一年级的诸学科：语文、数学、英语、物理、化学、历史、思想政治、地理、信息技术。高中二年级则为：语文、数学、英语、物理、化学、生物或思想政治、历史、地理。各科均由经验丰富、功力深厚的优秀特级、高级教师和教研员执笔编写，并特约了各学科的权威教师对书稿进行仔细的审查和修改。编者根据各学科的不同特点，集成不同板块，大体由“知识要点重点提示”、“学科素质要求”、“典型例题解析”、“素质能力训练”等板块（各书根据具体情况有所不同）构成，与教学同步。此外，各学科在章节（或单元）教学结束、期中和期末，还为学生设计了“综合素质检测（或单元检测等另外叫法）”，便于师生对照检查教学效果。各种“训练”和“检测”，均附有参考答案。

这套丛书的最大特点是一个“新”字。

一是与新教材配套。能让广大师生从教和学两个方面更准确地把握新教材的特点，从感知和训练两个方面去实现学科素质教育的目标。

二是角度新。以一种新的切入角度，将训练应试能力的现实与提高学科素养的方向有机地结合起来，体现了丛书的实用性和前瞻性。

三是体例新。丛书不同于传统的“单元练习”，既有基础知识的要求，也有学科素质的要求和训练，还有学科知识的适度扩展和延伸。

四是题型新。丛书各科的素质训练，既有基础知识题，又有能力训练题；既有单一题型，又有综合题型，还有开放性题型。新编题型占有较大比重，进一步扩大了学生的发挥空间。

在编写过程中，编者十分注意“3+X”高考改革趋势，强调以学生为本，兼顾差异，实行分层，注重学法，让每一位学生通过使用本丛书都有所收获，都有所发展。更希望它对广大师生的教和学都有所帮助！

编 者

目 录

第六章 万有引力定律	(1)
一、行星的运动	(1)
二、万有引力定律	(3)
三、引力常量的测定	(5)
四、万有引力定律在天文学上的应用	(7)
五、人造卫星 宇宙速度	(11)
第七章 机械能	(16)
一、功	(16)
功 习题课	(18)
二、功 率	(21)
三、功和能	(23)
四、动能 动能定理	(25)
五、重力势能	(31)
六、机械能守恒定律	(33)
七、机械能守恒定律的应用一	(35)
机械能守恒定律的应用二	(38)
第八章 动 量	(45)
一、冲量和动量	(45)
二、动量定理	(47)
三、动量守恒定律	(51)
四、动量守恒定律的应用	(54)
五、反冲运动 火箭	(56)
实验一 验证动量守恒定律	(59)
第九章 机械振动	(63)
一、简谐运动	(63)
二、振幅、周期和频率	(66)
三、简谐运动的图象	(69)
四、单摆	(72)
五、相位(略)	(75)
六、简谐运动的能量 阻尼振动	(75)
七、受迫振动 共振	(77)
实验三 用单摆测定重力加速度	(79)
第十章 机械波	(82)
一、波的形成和传播	(82)
二、波的图象	(84)

三、波长、频率和波速	(88)
四、波的衍射	(92)
五、波的干涉	(94)
六、驻波(略)	(96)
七、多普勒效应	(96)
八、次声波和超声波	(97)
第六章单元检测题	(99)
第七章单元检测题	(103)
第八章单元检测题	(107)
第九章单元检测题	(111)
第十章单元检测题	(115)
部分参考答案	(119)

第六章 万有引力定律

一、行星的运动

知识要点

1. 行星运动的两种学说

- (1) 地心说：地球是宇宙的中心，并且静止不动，所有行星围绕地球做圆周运动。
- (2) 日心说：太阳是静止不动的，地球和其他行星围绕太阳运动。

2. 开普勒定律

- (1) 开普勒第一定律：所有行星分别在大小不同的椭圆轨道上围绕太阳运动，太阳是在这些椭圆的焦点上。
- (2) 开普勒第二定律：太阳和行星的连线在相等的时间内扫过的面积相等。
- (3) 开普勒第三定律：所有行星的椭圆轨迹的半长轴的三次方与公转周期的平方的比值都相等。即 $\frac{R^3}{T^2} = k$, k 是与太阳质量有关与行星质量无关的恒量。

典型例题

【例1】海王星的公转周期约为 5.19×10^9 s，地球的公转周期为 3.16×10^7 s，则海王星与太阳的平均距离约为地球与太阳的平均距离的多少倍？

【分析与解答】由开普勒第三定律 $\frac{R^3}{T^2} = k$ 可得： $\frac{R_1^3}{T_1^2} = \frac{R_2^3}{T_2^2}$,

$$\frac{R_1}{R_2} = \sqrt[3]{\frac{T_1^2}{T_2^2}} = \sqrt[3]{\frac{(5.19 \times 10^9)^2}{(3.16 \times 10^7)^2}} = 30。$$

【点评】行星的椭圆轨道都很接近圆，所以在中学阶段分析和处理天体运动时，常把椭圆轨道作为圆轨道来处理，这是突出主要问题，忽略次要因素的理想化方法，是研究物理最常用的方法。

【例2】某一人造卫星绕地球做匀速圆周运动，其轨道半径为月球绕地球轨道半径的 $\frac{1}{3}$ ，则此卫星运行的周期大约是： ()

- A. 1~4 天之间
- B. 4~8 天之间
- C. 8~16 天之间
- D. 16~20 天之间

【分析与解答】月球公转周期 $T_2 = 27$ 天，由开普勒第三定律 $\frac{R^3}{T^2} = k$ ，可得：

$$\frac{T_1}{T_2} = \sqrt[3]{\frac{R_1^3}{R_2^3}} = \sqrt[3]{\frac{1}{27}} = \frac{1}{3\sqrt{3}}, \text{ 得卫星周期 } T_1 = 5.2 \text{ 天, 正确答案选 B.}$$

【点评】开普勒定律不仅适用于行星，也适用于卫星，但这时 k 应与行星的质量有关与卫星的质量无关。

【例3】飞船沿半径为 R 的圆周绕地球运转，其周期为 T ，如图 6-1 所示。如果飞船要返回地面，可在轨道上某一点 A 处将速率降低到适当数值，从而使飞船沿着以地心为焦点的椭圆轨道运动，椭圆轨道和地球表面在 B 点相切，如果地球半径为 R_0 ，求飞船由 A 点到 B 点所用的时间。

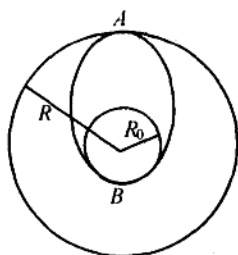


图 6-1

【分析与解答】设飞船做椭圆运动时周期为 T'

飞船的椭圆轨道的半长轴为 $\frac{R+R_0}{2}$ ，由开普勒第三定律

$\frac{R^3}{T^2} = k$ ，可得： $\frac{R^3}{T^2} = \frac{(R+R_0)^3}{8T'^2}$ 。所以飞船由 A 到 B 的运动时间为

$$t = \frac{T'}{2} = \frac{(R+R_0)}{4R} T \sqrt{\frac{(R+R_0)}{2R}}$$

【点评】开普勒第三定律中的半长轴的取法是解题时易错的地方。要理解半长轴的意义。

基础训练

1. 下列说法正确的是：()

- A. 地心说的代表人物是亚里士多德和托勒玫。
- B. 日心说的代表人物是亚里士多德和托勒玫。
- C. 地心说比较符合宗教神学的思想。
- D. 日心说比较符合宗教神学的思想

2. 关于行星绕太阳运动的下列说法中正确的是：()

- A. 所有行星都在同一椭圆轨道上绕太阳运动。
- B. 行星绕太阳运动时，太阳位于行星轨道的中心处。
- C. 离太阳越近的行星运动周期越长。
- D. 离太阳越近的行星运动周期越短。

3. 关于开普勒行星运动的公式 $\frac{R^3}{T^2} = k$ ，以下理解正确的是：()

- A. k 是一个与行星无关的量。
- B. 若是地球绕太阳运转轨道的半长轴为 $R_{地}$ ，周期为 $T_{地}$ ；月球绕地球运转轨道的

半长轴为 $R_{月}$ ，周期为 $T_{月}$ ，则 $\frac{R_{地}^3}{T_{地}^2} = \frac{R_{月}^3}{T_{月}^2}$ 。

- C. T 表示行星运行的自转周期。
- D. T 表示行星运行的公转周期。

4. 关于开普勒第三定律的公式 $\frac{R^3}{T^2} = k$ ，下列说法中正确的是：()

- A. 公式只适用于绕太阳做椭圆轨道运行的行星
- B. 公式适用于所有围绕天体运行的行星（或卫星）

C. 式中的 k 值, 对所有行星 (或卫星) 都相等

D. 式中的 k 值, 对围绕不同天体运行的行星 (或卫星) 都相同

5. 地球绕太阳运行的半长轴为 $1.5 \times 10^{11} \text{ m}$, 周期为 365 d; 月球绕地球运行的轨道半长轴为 $3.82 \times 10^8 \text{ m}$, 周期为 27.3 d。则对于绕太阳运行的行星, $\frac{R^3}{T^2}$ 的值为 m^3/s^2 ;

对于绕地球运行的物体, 则 $\frac{R^3}{T^2} = \text{m}^3/\text{s}^2$ 。

提高训练

6. 两颗行星的质量分别为 m_1 、 m_2 , 它们绕太阳运转轨道的半长轴分别为 R_1 、 R_2 , 如果 $m_1 = 2m_2$, $R_1 = 4R_2$, 那么, 它们的运行周期之比 $T_1:T_2 =$ 。

7. 从天文望远镜中观察到银河系中有两颗行星绕某恒星运行, 两行星的轨道均为椭圆, 观察测量到它们的运行周期之比为 8:1, 则它们椭圆轨道的半长轴之比为 ()。

A. 2:1

B. 4:1

C. 8:1

D. 1:4

8. 已知太阳系有九大行星, 从距离太阳较近处依次向外排列为: 水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星、冥王星。根据开普勒定律, 试判断水星的运转周期比地球的运转周期长还是短?

二、万有引力定律

知识要点

1. 万有引力定律的表述

自然界中任何两个物体都是相互吸引的, 引力的大小跟这两个物体质量的乘积成正比, 跟它们的距离的平方成反比。

2. 万有引力定律的公式: $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ 。

【注意】(1) 宇宙间的一切物体之间都存在万有引力 (普遍性)。万有引力还具有相互性、宏观性。

(2) 其中: r 是两质点间的距离。 m_1 、 m_2 是两质点的质量。万有引力恒量 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$, 其物理意义是, 在数值上等于两个质量都是 1kg 的物体相距 1m 时的相互作用力。

(3) 公式的适用条件: a. 万有引力只适用于质点间引力大小的计算, 当两物体间的距离远远大于每个物体的尺寸时, 物体可看成质点, 直接使用万有引力公式计算。b. 当两个质量分布均匀的球体或者一个质量分布均匀的球体与另一个质点, 它们之间的引力也可由公式直接计算, 但式中的 r 是两球心 (或球心到质点) 间的距离。c. 当物体不能看成质点时, 可把物体假想分割成无数个质点, 求出一个物体上每个质点与另一物体上每一个质点的万有引力然后求合力。

典型例题

【例题 1】地球质量大约是月球质量的 81 倍, 一个飞行器在地球与月球之间的某一位

置时，地球对它的引力和月球对它的引力大小相等时，这个飞行器距地心的距离与距月心的距离之比为多少？

【分析与解答】设 R 是飞行器到地心的距离， r 是飞行器到月心的距离，

$$\text{则由万有引力定律得：} G \frac{M_{\text{地}} m}{R^2} = G \frac{M_{\text{月}} m}{r^2}, \quad \frac{R}{r} = \sqrt{\frac{M_{\text{地}}}{M_{\text{月}}}} = \frac{9}{1}.$$

【点评】万有引力是弹力、摩擦力以外的一种新性质的力，它和其他力一样遵守相同的物理规律。

【例题2】证明太阳系中各行星绕太阳公转周期的平方，与公转轨道半径的三次方的比值是与太阳质量有关的恒量。

【分析与解答】设太阳质量为 M ，某行星质量为 m ，行星绕太阳公转周期为 T ，半径为 R 。轨道近似看做圆，万有引力提供行星公转的向心力

$$G \frac{Mm}{R^2} = mR \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2, \quad \frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{GM}, \text{ 证毕。}$$

【点评】a. 不同的物理规律，在认识自然界时都是相通的、一致的。b. 证明题也是物理题型中的一种，要体会其解题要点。

【例题3】地球表面重力加速度为 g ，忽略地球自转的影响，在距地面高度为 h 的空中重力加速度是地面上重力加速度的几倍？已知地球半径为 R 。

【分析与解答】不计地球自转的影响，物体的重力等于物体受到的万有引力。

$$\text{地面：} mg = G \frac{Mm}{R^2}, \quad h \text{ 高处：} mg' = G \frac{Mm}{(R+h)^2}, \quad \frac{g'}{g} = \frac{R^2}{(R+h)^2}.$$

【点评】a. 不计地球自转的影响时，就认为物体在地球上某处时受的重力等于物体受到的万有引力 $G \frac{Mm}{(R+h)^2}$ 。所以，重力加速度 $g = G \frac{M}{(R+h)^2}$ 与地球质量和离地高度（地球表面上 $h=0$ ）有关。这个结论还可以推广到其他星球上去。b. 考虑到地球自转，重力为万有引力的一个分力，另一个分力是提供物体随地球自转的向心力。

基础训练

1. 对于质量为 m_1 、 m_2 的两个物体间的万有引力的表达式 $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ ，下列说法正确的是： ()

- A. 公式中的 G 是引力恒量，它是由实验得出的，不是人为规定的。
- B. 当两物体的距离 r 趋于零时，万有引力趋于无穷大。
- C. 两物体间的引力总是大小相等的，而与 m_1 、 m_2 是否相等无关。
- D. 两物体间的引力总是大小相等的、方向相反的，是一对平衡力。

2. 两球质量分别为 m_1 、 m_2 ，且均匀分布。两球的半径分别为 r_1 、 r_2 ，两球面间的最短距离为 r ，且远远大于 r_1 和 r_2 ，则两球间的万有引力大小为： ()

- A. $G \frac{m_1 m_2}{r^2}$
- B. $G \frac{m_1 m_2}{r_1^2}$
- C. $G \frac{m_1 m_2}{r_2^2}$
- D. $G \frac{m_1 m_2}{(r + r_1 + r_2)^2}$

3. 以下说法正确的是： ()

- A. 同一物体放在地球上的任意地方，其重力相等。

- B. 把一物体从地面移到高空处, 其重力减小了。
 C. 同一物体在赤道处的重力比在两极处重力大。
 D. 同一物体在任何地方其质量是不变的。
4. 两个物体的质量分别是 m_1 、 m_2 , 当它们相距为 r 时, 它们之间的引力是 F
 A. 当 m_1 增大到 $2m_1$, m_2 增大到 $3m_2$, 其他条件不变, 则它们之间的引力应为 $\frac{6}{5}F$ 。
 B. 当 r 增大到 $2r$, 其他条件不变, 则它们之间的引力应为 $\frac{1}{4}F$ 。
 C. 当 m_1 、 m_2 、 r 都增大到原来的 2 倍, 则它们之间的引力应为 $2F$ 。
5. 某物体在地面上受到地球对它的万有引力为 F , 为使此物体受到的引力减小到 $\frac{F}{4}$, 则此物体距地面的高度为: (设 R 为地球半径) ()
 A. R B. $2R$ C. $4R$ D. $8R$
6. 要使两物体间的万有引力减小到原来的 $\frac{1}{16}$, 可采用的方法是: ()
 A. 使两物体的质量各减一半, 距离保持不变。
 B. 使两物体间的距离增至原来的 4 倍, 质量保持不变。
 C. 使两个物体质量都减为原来的 $\frac{1}{4}$, 距离保持不变。
 D. 使两物体的质量、距离都减为原来的 $\frac{1}{4}$ 。

提高训练

7. 已知地球的半径为 R , 质量为 M , 将地球看做均匀球体。若把一个质量为 m 的物体放在地球的球心处, 则此物体受到地球对它的万有引力的大小为: ()
 A. $G \frac{m_1 m_2}{R^2}$ B. 无穷大 C. 0 D. 无法确定
8. 两个大小相同的实心小铁球紧靠在一起时, 它们之间的万有引力为 F 。若两个半径是小铁球半径的 2 倍的实心大铁球紧靠在一起, 则它们之间的万有引力为: ()
 A. $2F$ B. $4F$ C. $8F$ D. $16F$

三、引力常量的测定

知识要点

1789 年, 英国物理学家卡文迪许利用扭秤多次进行测量, 得出引力常量 $G = 6.71 \times 10^{-11} \text{Nm}^2/\text{kg}^2$, 与现在公认的值 $6.67 \times 10^{-11} \text{Nm}^2/\text{kg}^2$ 非常接近。

【注意】测定引力常量的重要意义: (1) 证明了万有引力的存在的普遍性。(2) 使得万有引力定律有了真正的实用价值, 在天文学的发展上起了重要作用。(3) 扭秤实验巧妙地、合理地将微小量进行放大, 开创了测量微小力的新时代。

典型例题

【例题 1】既然两个物体间都存在引力, 为什么当两个人接近时他们不吸在一起?

【分析与解答】由于人的质量相对于地球质量非常小，因此两人靠近时，尽管距离不大，但他们之间的引力比他们各自与地球的引力要小得多，不足以克服人与地面间的摩擦阻力，因而不能吸在一起。

【点评】两个质量为 50kg 的人相距 1m 时，引力约为 $1.67 \times 10^{-5} \text{N}$ ，所以一般物体间的引力可忽略不计。而太阳与地球之间的引力等于 $3.56 \times 10^{22} \text{N}$ ，足以拉断直径为 9000km 的钢柱，所以天体间、天体与一般物体间的引力不能忽略。

【例题 2】已知地球的半径 $R=6400\text{km}$ ，地面重力加速度 $g=9.8\text{m/s}^2$ ，求地球的平均密度。

【分析与解答】设在地球表面上有一质量为 m 的物体，则 $mg = G \frac{Mm}{R^2}$ ，

$$\text{得地球质量 } M = \frac{gR^2}{G}, \text{ 而地球的体积为 } V = \frac{4}{3}\pi R^3, \text{ 而 } \rho = \frac{M}{V} = \frac{gR^2}{\frac{4}{3}\pi R^3 G} = \frac{3g}{4\pi GR},$$

代入数据得地球的平均密度为： $\rho = 5.4 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 。

【点评】数据运算复杂是本章的一大特点，同学们要熟练掌握数据运算的技巧。

【例题 3】已知地球与火星的质量之比 $M_{\text{地}}:M_{\text{火}}=8:1$ ，半径之比 $R_{\text{地}}:R_{\text{火}}=2:1$ 。现用一根绳子水平拖动放在地球表面木板上的箱子，设箱子与木板间动摩擦因数为 0.5，在地球上拖动时，能获得 10m/s^2 的最大加速度，将箱子、木板、绳子送到火星上，仍用同样的力和方式拖动木箱，求此木箱能获得的最大加速度。

【分析与解答】地球表面： $mg_{\text{地}} = G \frac{M_{\text{地}} m}{R_{\text{地}}^2}$ ， $F - \mu mg_{\text{地}} = ma_1$ 。

火星表面： $mg_{\text{火}} = G \frac{M_{\text{火}} m}{R_{\text{火}}^2}$ ， $F - \mu mg_{\text{火}} = ma_2$ 。以上四式联立求解得： $a_2 = 12.5\text{m/s}^2$ 。

【点评】(1)解题时思路要开阔点，学会综合运用学过的物理知识。(2)太空实验是随着人类太空技术的发展而兴起的一门尖端实验科学。在脱离地球引力环境条件下，将会得到许多特别的结果，同学们都可以参与到太空实验中去。

基础训练

- 在发现万有引力过程中作出了贡献的科学家有：()
A. 伽利略 B. 卡文迪许 C. 牛顿 D. 帕斯卡
- 引力常量 G 的单位是：()
A. N B. $\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ C. $\text{m}^2(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$ D. 没有单位
- 下列关于引力常量的论述正确的是：()
A. 在国际单位制下，可以人为的规定为 1。
B. 引力常量数值上等于两个质量为 1kg，相距为 1m 时的质点间的万有引力。
C. 引力常量的测得，证明了万有引力的存在。
D. 同样的你，在赤道上受到的引力比两极受到的引力小，是因为赤道上的引力常量较小。
- 两艘质量各为 $1 \times 10^7 \text{kg}$ 的轮船相距 100m 时，它们之间的万有引力大小相当于：()

- A. 一个人体重的数量级。 B. 一只鸡蛋重量的数量级。
C. 一个西瓜重量的数量级。 D. 一头牛重量的数量级。
5. 静止在地球表面随地球自转的物体, 受到的作用力有: ()
A. 万有引力、弹力。 B. 万有引力、重力、弹力。
C. 万有引力、向心力、弹力。 D. 万有引力、向心力、弹力、重力。

【提高训练】

6. 试用圆周运动知识、牛顿运动定律和开普勒第三定律, 论证万有引力定律。

7. 宇航员在一星球表面上的某高处, 沿水平方向抛出一小球。经过时间 t , 小球落到星球表面, 测得抛出点与落地点之间的距离为 L 。若抛出时初速度增大到 2 倍, 则抛出点与落地点之间的距离为 $\sqrt{3}L$ 。已知两落地点在同一水平面上, 该星球的半径为 R , 万有引力常数为 G 。求该星球的质量 M 。

四、万有引力定律在天文学上的应用

知识要点

天体之间的作用力主要是万有引力, 万有引力定律的发现对天文学的发展起到了巨大的推动作用。

1. 天体质量的计算: 在天文学上, 天体的质量无法直接测量。

基本思路一: 在研究天体的运动问题中, 我们近似地把一个天体绕另一个天体的运动看做匀速圆周运动, 万有引力提供天体做圆周运动的向心力。

$$\text{计算表达式: } G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}, \text{ 或 } G \frac{Mm}{r^2} = m\omega^2 r, \text{ 或 } G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2 r}{T^2}.$$

【注意】上式是用测定环绕天体的轨道半径和周期的方法来测被环绕天体的质量, 不能测定环绕天体自身质量。

基本思路二: 利用天体表面的物体所受重力约等于万有引力来求解。计算表达式:

$$mg = G \frac{Mm}{R^2}.$$

【注意】用: $\rho = \frac{M}{V}$, 而 $V = \frac{4\pi R^3}{3}$, 我们还能求出天体的密度。

2. 发现未知天体: 海王星和冥王星的发现, 显示了万有引力定律对研究天体运动的重要意义, 同时证明了万有引力定律的正确性。

典型例题

【例题 1】木星的一个卫星运行一周需要时间 1.5×10^4 s, 其轨道半径为 9.2×10^7 m, 求木星的质量为多少千克?

【分析与解答】木星对卫星的万有引力提供卫星公转的向心力:

$$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2 r}{T^2}, \quad M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2} = \frac{4\pi^2 (9.2 \times 10^7)^3}{6.67 \times 10^{-11} \times (1.5 \times 10^4)^2} = 2.0 \times 10^{27} \text{ kg}.$$

【点评】要记熟公式 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r = m \frac{4\pi^2 r}{T^2} = 4\pi^2 m r n^2$ ，并学会根据已知量来选用公式。

【例题2】地球绕太阳公转，轨道半径为 R ，周期为 T 。月球绕地球运行轨道半径为 r ，周期为 t ，则太阳与地球质量之比为多少？

【分析与解答】地球绕太阳公转，太阳对地球的引力提供向心力， $G \frac{M_{\text{日}} m_{\text{地}}}{R^2} = m_{\text{地}} \frac{4\pi^2 R}{T^2}$ ，

得： $M_{\text{日}} = \frac{4\pi^2 R^3}{GT^2}$ 。月球绕地球公转，地球对月球的引力提供向心力，

则 $G \frac{M_{\text{地}} m_{\text{月}}}{r^2} = m_{\text{月}} \frac{4\pi^2 r}{t^2}$ ，得： $m_{\text{地}} = \frac{4\pi^2 r^3}{Gt^2}$ 。太阳与地球的质量之比 $\frac{M_{\text{日}}}{m_{\text{地}}} = \frac{R^3 t^2}{r^3 T^2}$ 。

【点评】a. 一定要分清做圆心的天体和环绕天体，只有做圆心的天体质量才能求出。
b. 要学会用比值法解题。

【例题3】利用下列哪组数据，可以计算出地球的质量。

- A. 地球的半径 R 和地面上的重力加速度 g 。
- B. 卫星绕地球做匀速圆周运动的半径 r 和周期 T 。
- C. 卫星绕地球做匀速圆周运动的半径 r 和线速度 v 。
- D. 卫星绕地球做匀速圆周运动的线速度 v 和周期 T 。

【分析与解答】对选项 A，由 $mg = G \frac{Mm}{r^2}$ ，可得： $M = \frac{gR^2}{G}$ ；对选项 B，由 $G \frac{Mm}{r^2} = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r$ ，可得： $M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$ ；对选项 C，由 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ ，可得： $M = \frac{v^2 r}{G}$ ；

对选项 D，由 $G \frac{Mm}{r^2} = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r$ 和 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ ，可得： $M = \frac{v^3 T}{2\pi G}$ 。

所以答案选：ABCD。

【点评】选用公式要力求做到一步到位，尽量避免相互代换才能简化运算过程。

【例题4】在天体运动中，将两颗彼此距离较近的恒星称为双星。由于两星间的引力，它们围绕两球连线上的某一点做圆周运动，在运动中距离保持不变。已知两星质量分别为 M_1 和 M_2 ，相距 L ，求它们的角速度。

【分析与解答】如图 6-2，设 M_1 的轨道半径为 r_1 ， M_2 的轨道半径为 r_2 ，由图分析两星绕 O 点做匀速圆周运动的角速度相同，都设为 ω ，根据牛顿第二定律有：

$$G \frac{M_1 M_2}{r_1^2} = M_1 \omega^2 r_1, \quad G \frac{M_1 M_2}{r_2^2} = M_2 \omega^2 r_2,$$

而 $r_1 + r_2 = L$ ，以上三式联立解得： $\omega = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{G(M_1 + M_2)}{L}}$ 。

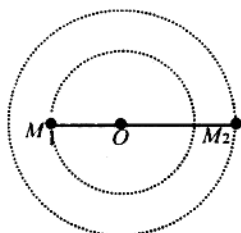


图 6-2

【点评】a. 双星之间的万有引力是一对相互作用力，分别提供各自做匀速圆周运动的向心力，所以它们能在引力作用下不相互靠近而保持距离不变。
b. 两星角速度相同，两星到它们的环绕中心的距离与其质量成反比，这就是双星的物理

模型。

【例题5】地球质量约为月球质量的81倍，地球半径约为月球半径的3.8倍，则地球表面重力加速度是月球表面重力加速度的多少倍？如果分别在地球和月球表面以相同初速度上抛一物体，物体在地球上上升高度是在月球上上升高度的几倍？

【分析与解答】(1)设想地球表面有一质量为 m 的物体，忽略自转，则 $mg_1 = G \frac{M_1 m}{R_1^2}$ 。

同理在月球表面： $mg_2 = G \frac{M_2 m}{R_2^2}$ ， $\frac{g_1}{g_2} = \frac{M_1}{M_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2} \approx 6$ 。

(2)由竖直上抛运动规律可得，上升的最大高度 $H = \frac{v_0^2}{2g}$ ，

在地球上上升高度与月球上上升高度之比为： $\frac{H_1}{H_2} = \frac{g_2}{g_1} = \frac{1}{6}$ 。

【点评】前面已经知道地球上不同纬度、不同高度的地方，重力加速度不同，这里我们又得到不同星球由于质量、半径不同，在表面对同一物体的引力不同，重力加速度也不同，同一物体从一个星球到另一星球，质量不变，重力发生变化。

【例题6】中子星是恒星演化过程的一种可能结果，它的密度很大。现有一中子星，观测到它的自转周期 $T = \frac{1}{30}$ s。问该中子星的最小密度应是多少才能维持该行星的稳定，不致因自转而瓦解。计算时星体可视为均匀球体。(引力常量 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{Nm}^2/\text{kg}^2$)

【分析与解答】考虑中子星赤道处的一小块物质，只有它受到的万有引力不小于它随中子星一起旋转所需的向心力时，中子星才不会瓦解。设中子星的密度为 ρ ，质量为 M ，半径为 R ，位于中子星赤道处的小块物质质量为 m ，中子星恰不瓦解，则有

$$G \frac{Mm}{R^2} = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 R, \text{ 而 } M = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho, \text{ 解得 } \rho = 1.27 \times 10^{14} \text{kg/m}^3。$$

【点评】计算天体密度时要先求天体质量，把天体看成均匀的球体，再用 $M = V\rho$ ， $V = \frac{4}{3} \pi R^3$ ，求出天体密度。

基础训练

1. 一艘宇宙飞船绕一个不知名的行星表面飞行，要测定该行星的密度，仅仅只需测定：()

- A. 宇宙飞船的运行周期。 B. 宇宙飞船的环绕半径。
C. 行星的体积。 D. 宇宙飞船的运动速度。

2. 最近科学家在望远镜中看到太阳系外某一恒星有一行星，并测得它围绕该恒星运行一周所用的时间为1200年，它与该恒星的距离为地球到太阳距离的100倍。假定该行星绕恒星运动的轨道和地球绕太阳运行的轨道都是圆周，仅利用以上两个数据可以求出的量有：()

- A. 恒星质量与太阳质量之比。 B. 恒星密度与太阳密度之比。
C. 行星质量与地球质量之比。 D. 行星运行速度与地球公转速度之比。

3. 天文学家根据天文观测宣布了下列研究成果：银河系中可能存在一个大“黑洞”。接近“黑洞”的所有物质，即使速度等于光速也会被“黑洞”吸入，任何物体都无法离

开“黑洞”。现有一个距离“黑洞” $r=6.0 \times 10^{12} \text{ m}$ 的星体以 $v=2 \times 10^6 \text{ m/s}$ 的速度绕黑洞旋转，则这个黑洞的质量为_____kg。引力常量为 $G=6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ 。

4. 经长期观测，人们在宇宙中已经发现了“双星系统”。“双星系统”由两颗相距较近的恒星组成，每个恒星的线速度远小于两个星体之间的距离，而且双星系统一般远离其他天体，如图6-3所示，两颗星球组成的双星，在相互之间的万有引力作用下，绕连线上的O点做周期相同的匀速圆周运动。现测得两颗星之间的距离为 L ，质量之比为 $m_1:m_2=3:2$ ，下列说法中正确的是：()

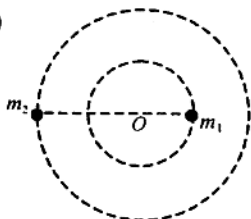


图6-3

A. m_1 、 m_2 做圆周运动的线速度之比为3:2

B. m_1 、 m_2 做圆周运动的角速度之比为3:2

C. m_1 做圆周运动的半径为 $\frac{2}{5}L$

D. m_2 做圆周运动的半径为 $\frac{2}{5}L$

5. 地球和月球中心的距离大约是 $4 \times 10^8 \text{ m}$ ，估算地球的质量为_____kg。地核的体积约为整个地球体积的16%，地核的质量约为地球质量的34%，经估算，地核的平均密度为_____kg/m³。(结果保留两位有效数字，已知地球半径 $R_{\text{地}}=6.4 \times 10^6 \text{ m}$ ，万有引力恒量 $G=6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$)

6. 中子星是恒星演变到最后的一种存在形式。(1) 有一密度均匀的星球，以角速度 ω 绕自身的几何对称轴旋转。若维持其表面物质不因快速旋转而被甩掉的力只有万有引力，那么该星球的密度至少要多大？(2) 蟹状星云中有一颗中子星，它每秒转30周，以此数据估算这颗中子星的最小密度。(3) 若此中子星的质量约为太阳的质量($2 \times 10^{30} \text{ kg}$)，试问它的最大可能半径是多大？

提高训练

7. 某星球质量为地球质量的9倍，半径为地球半径的一半，在该星球表面从某一高度以 10 m/s 的初速度竖直向上抛出一物体，则物体从抛出到落回原地需要的时间为：($g_{\text{地}}=10 \text{ m/s}^2$) ()

A. 1s B. $\frac{1}{9}\text{s}$ C. $\frac{1}{18}\text{s}$ D. $\frac{1}{36}\text{s}$

8. 一物体在地球表面悬挂在弹簧秤上，弹簧秤示数为16N，若把它悬挂在以 5 m/s^2 的加速度匀加速直线上升的火箭中，弹簧秤的示数为9N，则此刻火箭离地球表面的距离为地球半径的_____倍。

3. 地球可视为球体，其自转周期为 T ，在它的两极处，用弹簧秤测得某物体重为 p ，在它的赤道上，用弹簧秤测得同一物体重为 $0.9p$ ，地球的平均密度是多少？

五、人造卫星 宇宙速度

知识要点

我国在 20 世纪 70 年代发射第一颗卫星以来,相继发射了多颗不同种类的卫星,掌握了卫星回收技术和“一箭多星”技术。1999 年起发射了“神舟”系列飞船开始了我国的载人航天事业。我国的航天事业国际领先,这是每一个中国人都应引以为自豪的事情。

1. 人造地球卫星

(1) 人造卫星绕地球运行的动力学原因。人造卫星在绕地球运行时,人造卫星做圆周运动的向心力由地球对它的万有引力提供,即: $F_{引} = F_{向}$ 。

(2) 人造卫星的运动学结论。人造卫星做匀速圆周运动的轨道平面可以在赤道平面上;也可以和赤道平面有一倾角;也可以垂直于赤道平面(过南北两极),但轨道中心必在地心。

运行速度: $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, 可见: 高轨道上运行的卫星, 运行速度(线速度)小。角速度: $\omega = \frac{v}{r} = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$, 可见: 高轨道上运行的卫星, 角速度小。周期: $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$, 可见: 高轨道上运行的卫星, 周期长。

(3) 卫星的加速度。 $a = \frac{v^2}{r} = \frac{GM}{r^2}$, 此加速度也等于卫星轨道处的重力加速度。因此, 卫星不是处于平衡状态。

(4) 卫星中的物体处于完全失重状态。

卫星中的物体跟随卫星一起绕地球做匀速圆周运动, 受到的引力全部提供圆周运动所需要的向心力, 而对支持物没有弹力作用, 处在完全失重状态。凡是工作原理与重力有关的仪器(如天平、水银气压计等)在卫星中都无法使用, 凡是与重力有关的实验, 在卫星中也无法进行。

(5) 地球的同步卫星。a. 同步卫星与地面相对静止, 与地球自转同步, 周期为 24h。b. 同步卫星的运行方向与地球自转方向相同。c. 同步卫星定点在赤道正上方, 离地高度、运行速率是唯一确定的。

2. 宇宙速度

(1) 第一宇宙速度: $v_1 = 7.9\text{km/s}$ 。第一宇宙速度等于人造卫星在地面附近环绕地球作匀速圆周运动的速度, 所以也称为环绕速度。

(2) 第二宇宙速度: $v_2 = 11.2\text{km/s}$ 。使卫星挣脱地球的束缚, 成为绕太阳运行的人造行星的最小发射速度, 也称为脱离速度。

【注意】发射速度大于 7.9km/s , 而小于 11.2km/s , 卫星绕地球运动的轨迹为椭圆; 等于或大于 11.2km/s 时, 卫星就会脱离地球的引力, 不再绕地球运行。

(3) 第三宇宙速度: $v_3 = 16.7\text{km/s}$ 。使卫星挣脱太阳引力束缚的最小发射速度, 也称为逃逸速度。

【注意】发射速度大于 11.2km/s , 而小于 16.7km/s , 卫星绕太阳做椭圆运动, 成为