



重庆市教育科学研究院教辅读物编写委员会/编著

经典助学

物理

高1
(下)

同步辅导

要点精析

范例剖析

考点指津

重庆出版集团 重庆出版社

编写说明

为了推进基础教育课程改革,落实素质教育要求,帮助高中学生掌握学科基础知识和学习方法,提高学习能力,以适应全面实施素质教育、提高教育质量、积极应对高考的需要,我们特聘请了我市高中政治、语文、数学、英语、物理、化学、生物、历史、地理等学科的教学专家、研究员和特级教师分别担任主编,编写了这套高中《经典助学》丛书。

本丛书贯彻以学生全面发展为本的思想,坚持“利教、利学、利考、利评”的原则,与现行人教版高中各学科教科书配套,按章节分别就学科的知识结构、学习目标、重点难点以及学习方法进行了具体的指导,提供了多种题型的基本训练及解题思路,具有基础知识组块化,重点难点透释化,例题剖析策略化,思维训练层次化,实际应用建模化,自主学习方法化等特点,帮助学生掌握基础知识,培养学生的创新意识、创新能力和综合能力,引导学生将所学知识与生活经验、社会实际相联系。

本丛书的物理学科每节设置以下栏目:**课前自学**,通过问题诱导学生自主学习、自我探索;**要点精析**,对本节的重点、难点知识进行剖析,加深学生对概念和规律的理解,并提示在应用时的注意点;**范例剖析**,通过对典型例题的分析,培养学生应用知识分析解决物理问题的能力;**基础训练和能力提升**,使学生通过适量的难度适中的练习来巩固基础、培养能力;**探究思考**,为学生提供研究性课题推荐。在章末还通过**知识梳理**,来梳理本单元知识,突出知识的内在联系;**考点指津**,则针对试题在本章的考查重点,概述考情,进行考试技能、技巧指导,帮助学生提高学习效率;**达标测试**,是一套考查学生对本章知识、方法掌握程度的自测题。书末的**期末测试题**是学生期末考试之前的自测题,是对该学期的主要内容的考查。

本丛书的高一(下)物理分册的主编是周智良,副主编是吴高文、梅家辉和蒋敏。参加编写的有刘也磊、刘晓华、蒋敏、周智良、秦德胜、陈刚、吴高文。

编写适应素质教育要求的学习指导用书,对我们来说还是一次新的探索,疏漏之处在所难免,恳请广大师生在使用中提出宝贵意见,以便不断修改,使之日臻完善。

重庆市教育科学研究院教辅读物编写委员会



第六章 万有引力定律 1

第一节 行星的运动 1

第二节 万有引力定律 2

第三节 引力常量的测定 5

第四、五节 万有引力定律在天文学上的应用

人造卫星 宇宙速度 7

章末复习 11

达标测试 12

第七章 机械能 16

第一节 功 16

第二节 功率 18

第三节 功和能 21

第四节 动能 动能定理 21

第五节 重力势能 25

第六节 机械能守恒定律 26

第七节 机械能守恒定律的应用 29

章末复习 32

达标测试 33

第八章 动量 37

第一节 冲量和动量 37

第二节 动量定理 39

第三节 动量守恒定律 42

第四节 动量守恒定律的应用 45

第五节 反冲运动 火箭 48

章末复习 50

达标测试 52

第九章 机械振动 55

第一节 简谐运动 55

第二节 振幅、周期和频率 58

第三节 简谐运动的图象 60

第四节 单摆 63

第六节 简谐运动的能量 阻尼振动 66

第七节 受迫振动 共振 68

章末复习 70

达标测试 72

第十章 机械波 74

第一节 波的形成和传播 74

第二节 波的图象 76

第三节 波长、频率和波速 78

第四节 波的衍射 82

第五节 波的干涉 83

第七节 多普勒效应 85

第八节 次声波和超声波 86

章末复习 87

达标测试 89

期末测试题 91

参考答案 95

第六章 万有引力定律

第一节 行星的运动

课前自学

1. 什么是地心说? 什么是日心说?
2. 开普勒关于行星运动的规律是通过理论推导得出来的吗?

要点精析

1. 椭圆

到两个定点的距离之和等于定长的点的集合. 两个定点叫椭圆的焦点. 如图 6-1-1 所示, R 就是椭圆的半长轴.

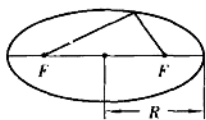


图 6-1-1

2. 开普勒第一定律

所有的行星围绕太阳运动的轨道都是椭圆, 太阳处在所有椭圆的一个焦点上.

说明: 不同行星的椭圆轨道的半长轴是不同的, 但太阳处在所有行星轨道的一个共同焦点上.

3. 开普勒第三定律

所有行星的椭圆轨道的半长轴的三次方跟公转周期的二次方的比值都相等. 用 R 代表椭圆轨道的半长轴, T 代表公转周期, 经验公式表述为: $\frac{R^3}{T^2} = k$.

$$\text{或者 } \frac{R_1^3}{T_1^2} = \frac{R_2^3}{T_2^2}$$

这个 k 值与行星无关, 只与太阳的质量有关.

说明: 由于行星的椭圆轨道都很接近圆, 例如地球绕太阳椭圆轨道的半长轴为 $1.495 \times 10^8 \text{ km}$, 半短轴为 $1.4948 \times 10^8 \text{ km}$, 中学阶段在分析和处理天体运动问题时, 可将行星的椭圆轨道作为圆轨道来处理, 这是一种突出主要因素, 忽略次要因素的处理方法.

范例剖析

例题 1 下列说法正确的是().

- A. 关于天体运动的日心说、地心说都是错误的
- B. 地球是一颗绕太阳运动的行星
- C. 地球是宇宙的中心, 太阳、月亮及其他行星都绕地球转动
- D. 太阳是静止不动的, 地球和其他行星都在绕太阳转动

解析 (答案: AB) 地心说认为地球是宇宙的中心, 是静止不动的, 太阳、月亮及其他的行星都绕地球转动. 日心说认为太阳是静止不动的, 地球和其他行星都绕太阳运动. 用地心说描述天体的运动不仅复杂, 而且问题很多, 而用日心说却能简单地描述天体的运动, 所以日心说最终战胜了地心说. 但日心说也有局限性, 太阳系也在宇宙中不停地运动着.

例题 2 飞船沿半径

为 R 的圆周轨道绕地球运动, 其周期为 T . 如果飞船要返回地面, 可在轨道上的某一点 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, 椭圆和地球表面在 B 点相切, 如图 6-1-2 所示. 如果地球半径为 R_0 , 求飞船由 A 点到 B 点所需的时间.

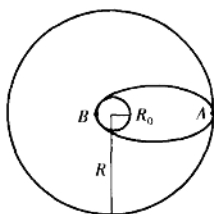


图 6-1-2

分析 开普勒第三定律虽然是根据行星绕太阳的运动总结出来的, 但也适用于卫星、飞船等绕行星的运动, 飞船绕地球做圆周运动的半长轴即为圆的半径.

解 由题意得, 飞船椭圆轨道的半长轴为 $\frac{R+R_0}{2}$. 设飞船沿椭圆轨道运动的周期为 T' , 则根据开普勒第三定律得

$$\frac{R^3}{T^2} = \frac{\left(\frac{R+R_0}{2}\right)^3}{T'^2}$$

所以,飞船由A点到B点所需的时间为 $t = \frac{T'}{2}$

$$= \frac{(R+R_0)T}{4R} \sqrt{\frac{R+R_0}{2R}}$$

拓展 (1) 本题中,飞船椭圆轨道的半长轴是由图中关系得出的,通过图象获得信息是解题的关键。(2) 比例式 $\frac{R_1^3}{T_1^2} = \frac{R_2^3}{T_2^2}$ 适用于两颗行星(或卫星)绕同一中心天体做圆周(或椭圆)运动,或者是一颗卫星先后在两个不同的轨道上绕地球做圆周(或椭圆)运动。(3) 为什么做半径为R的圆周运动的飞船在A点要将速率降低到适当数值,才能做椭圆运动从而返回地球呢? 将它在A点的速率增大,会怎样呢?

基础训练

- 关于天体运动,以下说法正确的是()。
 - 天体的运动无法研究
 - 天体的运动是最完美、和谐的匀速圆周运动
 - 太阳从东边升起,从西边落下,所以太阳绕地球运动
 - 太阳系中所有行星都绕太阳运动
- 下列说法正确的是()。
 - 运动是绝对的,静止是相对的
 - 地球是一颗绕太阳运动的行星
 - 地球是宇宙的中心,太阳、月亮及其他行星都绕地球转动
 - 太阳是静止不动的,地球和其他行星都在绕太阳转动

能力提升

- 对开普勒第三定律 $\frac{R^3}{T^2} = k$ 的理解,以下说法中正确的是()。
 - k 是一个与太阳无关的常量
 - T 表示行星运动的自转周期
 - 该定律既适用于行星绕太阳的运动,也适用于卫星绕行星的运动
 - 若地球绕太阳运转轨道的半长轴为 R_1 , 周期为 T_1 , 月球绕地球运转轨道的半长轴为 R_2 , 周期为 T_2 , 则 $\frac{R_1^3}{T_1^2} = \frac{R_2^3}{T_2^2}$
- 某一人造地球卫星绕地球做匀速圆周运动,其轨道半径为月球绕地球运转的轨道半径的 $\frac{1}{3}$, 则此人造卫星运行的周期大约是(已知月球的公转周期约为 27 天)()。
 - 4 天
 - 5 天
 - 6 天
 - 7 天
- 地球绕太阳运行的轨道半长轴为 1.50×10^{11} m, 周期为 365 天。月球绕地球运行的轨道半长轴为 3.8×10^8 m, 周期为 27.3 天。则对于绕太阳运动的行星来说,开普勒第三定律中的 $k = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3/\text{s}^2$; 对于绕地球运行的卫星来说, $k = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3/\text{s}^2$ 。

探究思考

课题:上网或到图书馆查阅有关太阳系的一些数据资料,了解第谷和开普勒的生平,写一篇有关的科普短文。

第二节 万有引力定律

课前自学

- 行星绕太阳的运动,为什么会遵循开普勒三大定律?
- 牛顿是怎样验证地面上的重力与地球吸引月球、太阳吸引行星的力是同一性质的力?

要点精析

1. 万有引力定律的推导

我们把所有行星运动的椭圆轨道理想化成一个圆形轨道,即认为行星绕太阳做匀速圆周运动。根据圆周运动的条件可知行星必然受到了一个指向圆心的力,牛顿认为这是太阳对行星的引力。那么,太阳

对行星的引力 F 应提供行星运动所受的向心力,即

$$F = mr \frac{4\pi^2}{T^2}$$

再根据开普勒第三定律 $\frac{r^3}{T^2} = k$, 得 $F = m \frac{4\pi^2 k}{r^2}$.

其中 m 为行星的质量, r 为行星的轨道半径, 即太阳与行星的距离. 可见太阳对行星的引力正比于行星的质量而反比于太阳与行星距离的平方. 即

$$F \propto \frac{m}{r^2}.$$

根据牛顿第三定律, 太阳对行星的引力与行星的质量成正比, 那么行星对太阳也有作用力, 也应与太阳的质量 M 成正比. 即 $F \propto \frac{Mm}{r^2}$.

综合上面, 万有引力的大小用公式表述为 $F = G \frac{Mm}{r^2}$, G 是一个常数, 叫引力常量.

2. 万有引力定律的适用条件

(1) 万有引力定律的公式只适用于计算质点间的相互作用, 当两个物体间的距离比物体本身大得多时, 也可用此公式近似计算两物体间的万有引力.

(2) 质量分布均匀的球体间的相互作用, 也可用万有引力定律公式来计算, 式中 r 是两个球体球心间的距离.

(3) 一个均匀球体与球外一个质点的万有引力也可用此公式计算, 式中的 r 是球体的球心到质点的距离.

3. 对万有引力定律的理解

(1) 普遍性: 万有引力定律是普遍存在于宇宙中任何有质量的物体(大到天体小到微观粒子)间的相互吸引力, 它是自然界的物体间的基本相互作用之一.

(2) 相互性: 两个物体相互作用的引力是一对作用力与反作用力.

(3) 宏观性: 只有在质量巨大的天体间或天体与物体间, 它的存在才有宏观的物理意义. 在微观世界中, 粒子的质量都非常小, 粒子间的万有引力可以忽略不计.

(4) 意义: 万有引力定律的发现, 将地面上物体的运动规律和天体运动规律统一起来, 在人类认识自然的历史上树立了一座里程碑, 解放了人们的思想, 在科学文化的发展上起了积极的推动作用.



范例剖析

例题 1 对于万有引力定律的数学表达式 $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$, 下列说法正确的是().

A. 公式中 G 为引力常量, 是人为规定的

B. r 趋近零时, 万有引力趋于无穷大

C. m_1 、 m_2 受到的万有引力总是大小相等, 与 m_1 、 m_2 的大小无关

D. m_1 、 m_2 受到的万有引力总是大小相等, 方向相反, 是一对平衡力

解析 (答案: C) 万有引力公式中引力常量 G 是由实验测定的, 而不是人为规定的, 所以 A 选项错; 使用公式 $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ 时, 若两物体可以看成质点

时, r 为两物质点间的距离, 而认为 r 趋于零, 万有引力趋于无穷大的纯数学思想是不正确的, 故 B 选项错; 两个物体间的万有引力是作用力与反作用力的关系, 是分别作用在两个物体上, 不可能是平衡力, 所以 C 选项正确, 而 D 选项错误.

拓展 (1) 对万有引力定律公式中各量的意义一定要准确理解, 尤其是距离 r 的取值, 一定要搞清它是两质点之间的距离. (2) 不能将公式中 r 作纯数学处理而违背物理事实, 如认为 $r \rightarrow 0$ 时, 引力 $F \rightarrow \infty$, 这是错误的. 因为当物体间的距离 $r \rightarrow 0$ 时, 物体不可以处理为质点, 所以就不能直接应用公式计算. (3) 物体间的万有引力是一对作用力和反作用力, 绝不是一对平衡力.

例题 2 已知均匀球体对其他物体的万有引力等效于其全部质量集中于球心时对其他物体的万有引力. 如图 6-2-1 所示, 有一半半径为 R 的均

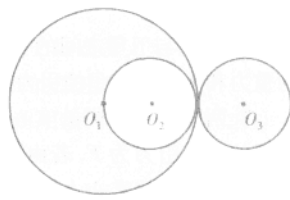


图 6-2-1

匀球体, 球心为 O_1 , 质量为 $8M$, 今在其内挖去一个半径为 $R/2$ 的小球, 形成球形空腔的球心为 O_2 , 将小球移出至图示位置与大球相切, 小球球心为 O_3 , 图中 O_1 、 O_2 、 O_3 及切点四点共线, 求此时小球与大球剩余部分之间的万有引力.

分析 本题不能直接应用万有引力公式计算, 可采用“割补法”求解, 即先假设将球 O_2 填满, 求出大球 O_1 与小球 O_3 间的万有引力, 再减去填补的小

球 O_2 对 O_3 的万有引力,即得大球剩余部分与小球之间的万有引力.

解 小球的质量为

$$m = \frac{V_{\text{小}}}{V_{\text{大}}} 8M = \frac{\frac{4}{3}\pi(\frac{R}{2})^3}{\frac{4}{3}\pi R^3} 8M = M$$

大球对小球 O_3 的万有引力:

$$F_1 = G \frac{M8M}{(\frac{3}{2}R)^2} = \frac{32GM^2}{9R^2}$$

小球 O_2 对小球 O_3 的万有引力: $F_2 = G \frac{M^2}{R^2}$

小球 O_3 与大球剩余部分之间的万有引力:

$$F = F_1 - F_2 = \frac{23}{9} G \frac{M^2}{R^2}$$

拓展 (1) 本题容易错在直接应用万有引力定律求挖出小球与剩余部分的引力作用,没有考虑到万有引力定律仅直接适用于质点或均匀球体之间的相互作用。(2) 合力和分力的概念体现了等效替代的思想方法。(3) 说明: 本题有一定难度, 供学有余力的学生来理解“割补法”这种思想方法.

基础训练

1. 下列说法正确的是().

A. 行星绕太阳的椭圆轨道可以近似地看作圆形轨道,其向心力来源于太阳对行星的引力

B. 太阳对行星的引力大于行星对太阳的引力

C. 万有引力定律适用于天体,不适用于地面上的物体

D. 行星与卫星之间的引力,地面上的物体所受的重力和太阳对行星的引力,性质相同,规律也相同

2. 两个大小相同的实心小球紧靠在一起,它们之间的万有引力为 F . 若由同种物质组成的两个半径是小球 2 倍的实心大球紧靠在一起,则它们之间的万有引力为().

A. $2F$ B. $4F$ C. $8F$ D. $16F$

3. 地球的质量是月球的 81 倍,地球与月球之间的距离为 s ,一飞行器运动到地球与月球连线的某位置时,地球对它吸引力大小是月球对它吸引力大小的 4 倍,则此飞行器离地心的距离是().

A. $\frac{3}{4}s$ B. $\frac{4}{9}s$ C. $\frac{9}{11}s$ D. $\frac{16}{81}s$

4. 两个行星的质量分别为 m_1 和 m_2 , 绕太阳运行的轨道半径分别是 r_1 和 r_2 , 若只考虑它们受到太

阳引力的作用,那么这两个行星的向心加速度之比为().

A. 1

B. $\frac{m_2 r_1}{m_1 r_2}$

C. $\frac{m_1 r_2^2}{m_2 r_1^2}$

D. $\frac{r_2^2}{r_1^2}$

能力提升

1. 设地球是半径为 R 的均匀球体,质量为 M . 若把质量为 m 的物体放在地球的中心,则物体受到地球的万有引力大小为().

A. 零

B. $G \frac{Mm}{R^2}$

C. 无穷大

D. 无法确定

2. 两个质量均为 m 的星体,其连线的垂直平分线为 MN , O 为两星体连线的中点. 一个质量为 m 的物体从 O 沿 OM 方向运动,则它受到的万有引力的变化情况是().

A. 一直增大

B. 一直减小

C. 先增大后减小

D. 先减小后增大

3. 火箭在高空某处所受的引力为它在地面处所受引力的一半,则火箭离地面的高度应是地球半径的几倍?

探究思考

课题: 上网或到图书馆查阅有关牛顿的资料,了解他的生平和他对物理学的贡献.

第三节 引力常量的测定

课前自学

1. 你了解卡文迪许的扭秤装置吗?
2. 第一个测出地球质量的人是谁?

要点精析

1. 引力常量的测定

(1) 在牛顿发现万有引力定律一百多年后, 卡文迪许巧妙地利用扭秤装置测出了引力常量. 其实验装置见课本, 装置中的 T 形架可以使 m, m' 之间微小的万有引力产生较大的力矩, 使金属丝产生一定的偏转角 θ , 将微小的万有引力作用效果放大. T 形架上的平面镜利用光的反射 (平面镜偏转 θ 角, 反射光线偏转 2θ 角), 将金属丝的微小形变加以放大. 增大刻度尺到平面镜间的距离又能增大光点在刻度尺上的偏转距离. 正是这“三次放大”作用, 微小的引力常量才被测出来. 现在公认的引力常量数值 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$.

(2) 引力常量的测定证实了万有引力的存在以及万有引力定律的正确性, 使万有引力定律能进行定量计算, 有了真正的实用价值.

2. 重力与万有引力的关系

(1) 如图 6-3-1

所示, 由于地球的吸引而使物体受到的力称为重力. 但重力 F_1 并不是万有引力, 它只是万有引力的一个分力, 另一个分力是物体随地球自转而绕地球自转轴做匀速圆周运动

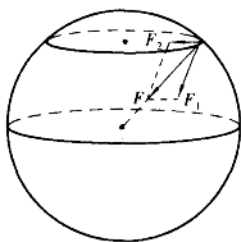


图 6-3-1

所需要的向心力 F_2 . 物体的重力随纬度增加而增大, 在赤道处最小, 在两极处最大, 这也是重力加速度随纬度增大而略有增大的原因.

(2) 由于物体随地球自转所需的向心力很小, 物体的重力与万有引力的差别也很小, 因此在粗略计算中, 可以认为二者相同. 即在地球表面有 $mg = G \frac{mM}{R^2}$, 式中 g 为地球表面附近的重力加速度, R 为

地球的半径.

(3) 物体离地面足够高时, 如图 6-3-2 所示, 物体在该处受到的重力就是物体在该处受到的万有引力. 即

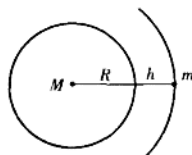


图 6-3-2

$$mg_h = \frac{GMm}{(R+h)^2}, \text{得}$$

$$g_h = \left(\frac{R}{R+h}\right)^2 g$$

可见, 离地面越高, 重力加速度越小. 在地面附近可以认为重力加速度的值不变.

3. 用引力常量测地球的质量

由 $mg = \frac{GMm}{R^2}$ 得地球质量 $M = gR^2/G$ (g 是地球

表面的重力加速度, R 为地球半径).

推论 (适用于忽略自转的其他星球):

$$(1) g = GM/R^2$$

$$(2) g = 4\pi\rho GR/3 (\rho \text{ 为地球的平均密度})$$

$$(3) \rho = 3g/(4\pi GR)$$

范例剖析

例题 1 设地球的质量为 M , 地球半径为 R , 月球绕地球运转的轨道半径为 r . 在地球引力的作用下 ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$), 试证明:

$$(1) \text{地面上物体的重力加速度 } g = GM/R^2.$$

$$(2) \text{月球绕地球运转的加速度 } a = GM/r^2.$$

(3) 已知 $r = 60R$, 利用前两问的结论, 求 a/g 的值.

(4) 已知 $r = 3.8 \times 10^8 \text{ m}$, 月球绕地球运转的周期 $T = 27.3$ 天, 计算月球绕地球运转时的向心加速度 a_n .

(5) 已知地球表面重力加速度 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$, 利用第 (4) 问的计算结果, 求 a_n/g 的值.

分析 第 (1) 问忽略地球的自转, 第 (2) 问用牛顿第二定律求解, 第 (4) 问用向心加速度的公式求解.

解 (1) 地球表面物体的重力等于地球对物体的万有引力. 即 $mg = G \frac{Mm}{R^2}$, 得

$$g = GM/R^2 \quad ①$$

(2) 由牛顿第二定律有 $G \frac{Mm_H}{r^2} = m_H a$, 得

$$a = GM/r^2 \quad ②$$

(3) 将②式除以①式得

$$\frac{a}{g} = \frac{1}{3600} \approx 2.8 \times 10^{-4} \quad ③$$

(4) 月球绕地球运转的向心加速度为

$$a_n = \frac{4\pi^2 r}{T^2} = \frac{4 \times 3.14^2 \times 3.8 \times 10^8}{(27.3 \times 86400)^2} \text{ m/s}^2 = 2.69 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$$

(5) 根据第(4)问所求结果可得

$$\frac{a_n}{g} = \frac{2.69 \times 10^{-3}}{9.8} \approx 2.7 \times 10^{-4} \quad ④$$

拓展 (1) ③式是根据牛顿运动定律和万有引力定律从理论上计算出的结果; ④式是根据实际观测(r 和 T) 和运动学公式计算出的结果, 比较可知二者结果相同. 这表明地球对地面上物体的引力与地球对月球的引力都遵守平方反比规律, 是同一性质的力, 牛顿就是根据这一结果证明了他所提出的假设是正确的. (2) 应用万有引力定律解题的基本思路: 一是利用万有引力等于重力, 即 $\frac{GMm}{r^2} = mg$, 二是利用万有引力等于向心力, 即 $\frac{GMm}{r^2} = ma$.

例题 2 宇宙中两颗相距较近的天体称为“双星”, 它们以两者连线上的某一点为圆心做匀速圆周运动而不致因万有引力的作用吸引到一起.

(1) 试证明它们的轨道半径之比、线速度之比都等于质量的反比.

(2) 设两者的质量分别为 m_1 和 m_2 , 两者相距 L , 试写出它们角速度的表达式.

分析 两天体绕一点做匀速圆周运动的角速度 ω 一定要相同, 它们做匀速圆周运动的向心力由它们之间的万有引力提供, 所以两天体与它们的圆心总是在一条直线上.

解 设两者的圆心为 O 点, 轨道半径分别为 R_1 和 R_2 , 如图 6-3-3 所示.

(1) 对两天体, 由万有引力提供向心力, 可分别列出

$$G \frac{m_1 m_2}{L^2} = m_1 \omega^2 R_1 \quad ①$$

$$G \frac{m_1 m_2}{L^2} = m_2 \omega^2 R_2 \quad ②$$

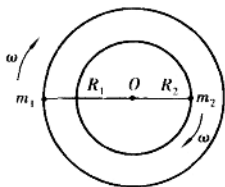


图 6-3-3

$$\text{又 } v = \omega R, \text{ 综上所述可得 } \frac{v_1}{v_2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{m_2}{m_1}$$

即它们的轨道半径、线速度之比都等于质量的反比.

$$(2) \text{ 由①式得 } \omega^2 = G \frac{m_2}{L^2 R_1} = G \frac{m_2}{L^2 (L - R_2)} \quad ③$$

$$\text{由②式得 } R_2 = G \frac{m_1}{L^2 \omega^2} \quad ④$$

$$\text{④式代入③式得 } \omega = \sqrt{G(m_1 + m_2)/L^3}$$

拓展 (1) 关于“双星”问题, 要抓住角速度相等的特点. (2) “双星”的轨道半径之和等于它们之间的距离, 与万有引力和向心力的表达式中的距离是不同的, 即轨道半径不是双星之间的距离(打破思维定式). (3) 作出情景图, 事半功倍.



基础训练

1. 以下说法中正确的是().

- A. 质量为 m 的物体在地球表面任何地方受的重力均相等
- B. 将质量为 m 的物体从地面移到高山上, 其所受重力减少
- C. 同一物体在赤道处受的重力比两极大
- D. 同一物体在任何地方其质量是相同的

2. 某星球的密度与地球相同, 它表面的重力加速度是地球表面重力加速度的 4 倍, 则该星球的质量是地球质量的().

- A. 4 倍 B. 1/4 倍 C. 64 倍 D. 16 倍

3. 地球半径为 R , 地球表面重力加速度为 g , 若高空中某处重力加速度为 $g/2$, 则该处距地面高度为().

- A. $(\sqrt{2} - 1)R$ B. R C. $\sqrt{2}R$ D. $2R$

4. 某星球的半径是地球半径的 m 倍, 密度是地球密度的 n 倍, 则物体在该星球表面的重力加速度是地球表面的重力加速度的().

- A. $\frac{m}{n^2}$ 倍 B. $\frac{m}{n}$ 倍
- C. mn 倍 D. $\frac{n^2}{m}$ 倍



能力提升

1. 在一枚火箭的实验平台上装有测试仪器, 火箭启动后以加速度 $g/2$ 竖直匀加速上升. 升到某高度时, 测试仪器对平台的压力为火箭启动前对平台



压力的 $17/18$, 求此时火箭距地面的高度。(已知地球半径为 $6.4 \times 10^3 \text{ km}$, g 取 10 m/s^2)

(3) 物体在地球和月球上的重力分别是多少。

2. 已知月球的质量是地球质量的 $1/81$, 月球半径是地球半径的 $1/4$, 地球表面重力加速度 $g_{\text{地}} = 9.8 \text{ m/s}^2$. 在离月球表面 38 m 处让质量为 $m = 60 \text{ kg}$ 的物体自由下落, 求:

- (1) 月球表面的重力加速度.
- (2) 物体下落到月球表面所用的时间.

探究思考

课题: 做一个卡文迪许扭秤模型, 作为教具送给你的物理老师.

第四、五节 万有引力定律在天文学上的应用 人造卫星 宇宙速度

课前自学

1. 要计算一个天体的质量, 需要知道哪些物理量?
2. 你知道海王星、冥王星是怎样发现的吗?
3. 你知道三个宇宙速度吗?

要点精析

1. 求中心天体的质量

如图 6-4-1 所示, 通过观测天体 (或卫星) 运行的周期 T 及轨道半径 r , 把天体 (或卫星) 的运动看作匀速圆周运动, 根据向心力是由万有引力提供的, 有

$$G \frac{Mm}{r^2} = mr \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2, \text{ 得}$$

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

用万有引力定律计算求得的质量 M 是位于圆心的天体质量 (一般是质量相对较大的天体), 而不是绕它做圆周运动的行星 (或卫星) 的质量 m , 两者不能混淆.

如果知道天体的半径 R , 进而可求得天体的平均密度.

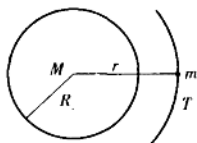


图 6-4-1

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2} / \left(\frac{4}{3}\pi R^3 \right) = \frac{3\pi r^3}{GT^2 R^3}$$

如果是卫星在天体表面运行, 则 $r \approx R$, 则上式

$$\text{简化成 } \rho = \frac{3\pi}{GT^2}.$$

2. 发现未知天体

从观测值与理论值的差异上分析问题, 预言当时还不知的事实, 从而引导人们发现新天体. 海王星和冥王星的发现是应用万有引力定律的典型例子.

3. 卫星的绕行速度、角速度、周期与半径 r 的关系

(1) 由 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ 得 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, $v \propto \sqrt{\frac{1}{r}}$, 所以 r 越大, v 越小.

(2) 由 $G \frac{Mm}{r^2} = m\omega^2 r$ 得 $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$, $\omega \propto \sqrt{\frac{1}{r^3}}$, 所以 r 越大, ω 越小.

(3) 由 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$ 得 $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$, $T \propto \sqrt{r^3}$, 所以 r 越大, T 越大.

以上结论也适用于行星绕太阳的运动.

4. 三种宇宙速度

当卫星的速度 $v < v_1$ (7.9 km/s) 时, 卫星在离地面一定高度的轨道上做匀速圆周运动; 当 $v = v_1$ 时, 卫星在地面附近的轨道上做匀速圆周运动; 当 v_2 (11.2 km/s) $> v > v_1$ 时, 卫星绕地球做椭圆运动; 当

$v \geq v_2$ 时,卫星脱离地球的引力,不再绕地球运动;当 $v \geq v_3$ (16.7 km/s) 时,卫星脱离太阳的引力,离开太阳系。

5. 运用万有引力定律的两条基本思路

(1) 在地面上的物体,重力与万有引力相等:

$$mg = \frac{GMm}{R^2}$$

(2) 行星(或卫星)绕太阳(或地球)做匀速圆周运动所需要的向心力由万有引力提供:

$$\frac{GMm}{r^2} = ma \left(a = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r = \frac{4\pi^2}{T^2} r \right)$$

6. 三个具有代表意义的卫星

(1) 近地卫星:轨道半径 $r = R = 6\,400$ km, $v = 7.9$ km/s, $T \approx 85$ min.

(2) 同步卫星:只能在赤道平面上,离地面的高度 $h \approx 5.6R = 36\,000$ km, $v \approx 3.1$ km/s, $T = 24$ h.

(3) 月球: $r = 60R = 384\,000$ km, $T = 27.3$ d, $v \approx 0.74$ km/s.

如图 6-4-2 所示,这三颗卫星的有关数据可以给同学们一个较为直观的感性认识,明确轨道半径增大,则线速度减小,周期增大。

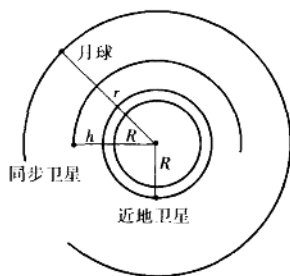


图 6-4-2

7. 卫星的变轨问题

卫星做匀速圆周运动所需的向心力 $\left(m \frac{v^2}{r} \right)$ 大于实际受到的万有引力 $\left(\frac{GMm}{r^2} \right)$, 则轨道半径会增大, 远离地球;反之,若 $m \frac{v^2}{r} < \frac{GMm}{r^2}$, 则轨道半径变小。

8. 卫星的能量

同一卫星通过某种措施从离地较低的轨道改变到离地较高的轨道,则其动能减少,势能增大,机械能增大。

9. 其他

卫星问题还常与平抛运动、匀变速直线运动相结合,形成综合性问题。同学们解决这部分问题时的思维障碍是情景抽象、物理量较多、物理量间的关系

式较多。同学们应画出情景图,明确各个物理量的含义,与情景图对照起来,从而轻松求解。



范例剖析

例题 1 已知月球到地球中心间的距离为 $r = 3.8 \times 10^8$ m, 月球绕地球运行的周期为 $T = 27.3$ 天, 试估算地球的质量 M 。

分析 月球绕地球做匀速圆周运动所需的向心力由地球对月球的万有引力提供。

解 设月球质量为 m , 有 $G \frac{Mm}{r^2} = mr \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2$

$$\begin{aligned} \text{所以地球质量为 } M &= \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2} \\ &= \frac{4 \times 3.14^2 \times (3.8 \times 10^8)^3}{6.67 \times 10^{-11} \times (27.3 \times 24 \times 3\,600)^2} \text{ kg} \\ &= 6.0 \times 10^{24} \text{ kg} \end{aligned}$$

拓展 (1) 月球是地球的一个天然卫星,对地球的影响很大。地球是人类赖以生存的天体,我们要具备有关月球与地球的常识。(2) 用这个方法求出的是中心天体(地球)的质量,不能求出做匀速圆周运动的天体(月球)的质量。

例题 2 假定宇航员乘坐宇宙飞船到某行星考察,当宇宙飞船在靠近该星球表面空间做匀速圆周运动时,测得环绕周期为 T 。当飞船降落在该星球表面时,用弹簧秤称得质量为 m 的砝码受重力为 F 。试根据以上数据求得该行星的质量(已知引力常量为 G)。

分析 飞船做匀速圆周运动的向心力是星球对飞船的万有引力,砝码的重力也是星球对砝码的万有引力。

解 设行星质量、飞船质量分别为 M 和 m_1 , 行星半径为 R , 则有

$$G \frac{Mm_1}{R^2} = m_1 \frac{4\pi^2}{T^2} R$$

砝码的重力等于万有引力,有 $F = G \frac{Mm}{R^2}$

$$\text{联立求得 } M = \frac{F^3 T^4}{16\pi^4 G m^3}$$

拓展 (1) 天体做匀速圆周运动的向心力均为万有引力,这是解决此类问题的基本思路,本题中星球表面砝码受的重力也等于万有引力。(2) 注意挖掘题中的隐含条件:飞船靠近星球表面运行,意味着运行半径等于星球半径,相当于近地卫星。

例题 3 地球同步卫星到地心的距离 r 可由 r^3



$= \frac{a^2 b^2 c}{4\pi^2}$ 求出. 已知式中 a 的单位是 m , b 的单位是 s , c 的单位是 m/s^2 , 则().

A. a 是地球半径, b 是地球自转的周期, c 是地球表面处的重力加速度

B. a 是地球半径, b 是同步卫星绕地心运动的周期, c 是同步卫星的加速度

C. a 是赤道周长, b 是地球自转周期, c 是同步卫星的加速度

D. a 是地球半径, b 是同步卫星绕地心运动的周期, c 是地球表面处的重力加速度

解析 (答案:AD) 由万有引力提供同步卫星的向心力. 有 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$ 即

$$r^3 = \frac{GMT^2}{4\pi^2} \quad (1)$$

式中 M 为地球质量, T 为同步卫星绕地心运动的周期, 亦是地球自转的周期. 对地面上的物体 m , 有 $G \frac{Mm}{R^2} = mg$ (2)

式中 g 为地面附近的重力加速度, R 为地球半径.

由①和②式, 得 $r^3 = \frac{R^2 T^2 g}{4\pi^2}$

拓展 (1) 同步卫星的周期与地球自转周期相等. (2) 不知道地球的质量常用 $GM = gR^2$ 代换. (3) 利用量纲帮助判断.

例题 4 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 . 若抛出时的初速增大到原来的 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:

(1) 抛出点到星球表面的高度.

(2) 该星球的质量 M .

分析 本题的要点是先利用两次平抛运动求出星球表面的重力加速度, 再由 $G \frac{Mm}{R^2} = mg$ 求出星球的质量.

解 (1) 如图 6-4-3 所示, 设抛出点的高度为 h , 第一次平抛出的水平射程为 x , 则有

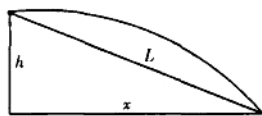


图 6-4-3

$$x^2 + h^2 = L^2$$

当抛出的初速增大到原来的 2 倍时, 水平射程也增大到 $2x$, 可得

$$(2x)^2 + h^2 = (\sqrt{3}L)^2$$

联立解得 $h = \frac{\sqrt{3}}{3}L$

(2) 设该星球上重力加速度为 g , 由平抛物体运动规律得 $h = \frac{1}{2}gt^2$

又因为 $G \frac{Mm}{R^2} = mg$ (m 为小球的质量)

联立解得 $M = \frac{2\sqrt{3}LR^2}{3Gt^2}$

拓展 (1) 审题时要明确最终是要求出星球的质量, 求星球的质量有哪些方法. (2) 明确两次平抛运动中的 L 和 $\sqrt{3}L$ 是哪段距离, 应画出情景图帮助分析. (3) 明确两次平抛运动给出的条件是为了求出中间代换量——该星球上的重力加速度 g . (4) 也可以将题目改为通过竖直上抛运动来求解该星球上的重力加速度 g , 从而再求星球的质量 M .



基础训练

1. 人造卫星进入轨道做匀速圆周运动时().

A. 卫星内的物体失重, 卫星本身没有失重

B. 卫星内的物体不再受重力作用

C. 卫星内的物体仍受重力作用

D. 卫星内的物体没有受重力作用而受向心力作用

2. A 和 B 是绕地球做匀速圆周运动的两颗人造卫星, 已知质量 $m_A = 2m_B$, 轨道半径 $R_B = 2R_A$, 则 B 与 A 的().

A. 加速度大小之比为 $4:1$

B. 周期之比为 $2\sqrt{2}:1$

C. 线速度大小之比为 $1:\sqrt{2}$

D. 角速度大小之比为 $\sqrt{2}:1$

3. 如图 6-4-4 所示, a 、 b 、 c 是地球的三颗人造卫星, a 和 b 质量相同, 且小于 c 的质量. 由此可以得出的结论是().

A. a 所需向心力最小

B. b 与 c 的周期相等, 且大于 a 的周期

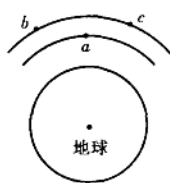


图 6-4-4

C. b 与 c 的线速度相等,且小于 a 的线速度

D. b 与 c 的角速度相等,且大于 a 的角速度

4. 关于地球同步卫星,它们具有相同的().

A. 质量 B. 高度 C. 向心力 D. 周期

5. 若人造卫星绕地球做匀速圆周运动,则下列说法正确的是().

A. 卫星的轨道半径越大,它的运行速度越大

B. 卫星的轨道半径越大,它的运行速度越小

C. 卫星的质量一定时,轨道半径越大,它需要的向心力越大

D. 卫星的质量一定时,轨道半径越大,它需要的向心力越小

6. 火星有两颗卫星,分别是火卫一和火卫二,它们的轨道近似为圆. 已知火卫一的周期为 7 h 39 min,火卫二的周期为 30 h 18 min,则两颗卫星相比().

A. 火卫一距火星表面较近

B. 火卫二的角速度较大

C. 火卫一的运动速度较大

D. 火卫二的向心加速度较大

7. 人造地球卫星绕地球做匀速圆周运动,关于其速率,下列说法正确的是().

A. 一定等于 7.9 km/s

B. 等于或小于 7.9 km/s

C. 一定大于 7.9 km/s

D. 介于 7.9 km/s ~ 11.2 km/s

ω ,地球同步卫星的质量为 m ,离地面高度为 h ,万有引力常量为 G ,地球表面处的重力加速度为 g ,则卫星环绕地球同步运行的线速度大小为().

A. $\omega^2(R+h)$ B. $\sqrt{\frac{GM}{R+h}}$

C. $\sqrt{GM\omega}$ D. $R\sqrt{\frac{g}{R+h}}$

5. 把太阳系中各行星的运动近似看成匀速圆周运动,则离太阳越远的行星().

A. 周期越小 B. 线速度越小

C. 角速度越大 D. 加速度越大

6. 如图 6-4-5 所示,有 A、B 两个行星绕同一恒星做匀速圆周运动,旋转方向相同,A 行星的周期为 T_1 ,B 行星的周期为 T_2 ,在某一时刻两行星间距离最小,则().

A. 经过时间 $t = T_1 + T_2$,两行星间距离再次最小

B. 经过时间 $t = T_1 T_2 / (T_2 - T_1)$,两行星间距离再次最小

C. 经过时间 $t = (T_1 + T_2) / 2$,两行星间距离再次最大

D. 经过时间 $t = T_1 T_2 / 2 (T_2 - T_1)$,两行星间距离再次最大

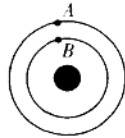


图 6-4-5

7. 地球半径为 R ,它的同步卫星到地球中心距离为 H ,另有一行星半径为 $3R$,它的同步卫星离球心距离为 $3H$,该行星自转周期为 72 h. 求地球的密度与另一行星的密度之比.

能力提升

1. 某星球半径为 R ,在此星球表面以不太大的初速度 v_0 竖直上抛一物体,没有空气阻力的影响,物体经过时间 t 落回抛出点. 这个星球表面处的重力加速度 g 为_____. 要在这个星球上发射一个环绕其表面的轨道做匀速圆周运动的卫星,卫星的速度为_____.

2. 设地球表面的重力加速度为 g_0 ,地球半径为 R ,在地球表面上空 $h = 2R$ 高度处的重力加速度 $g =$ _____ g_0 . 若有一卫星在 $h = 2R$ 的轨道上绕地球做匀速圆周运动,则此卫星绕地球转动的角速度 $\omega =$ _____.

3. 若在相距很远的两颗行星 A 和 B 的表面各发射一颗卫星 a 和 b ,它们都在行星表面附近做圆周运动. 测得 a 绕行星 A 的周期为 T_a , b 绕行星 B 的周期为 T_b . 则这两颗行星的密度之比 $\rho_A : \rho_B =$ _____.

4. 设地球质量为 M 、半径为 R 、自转角速度为

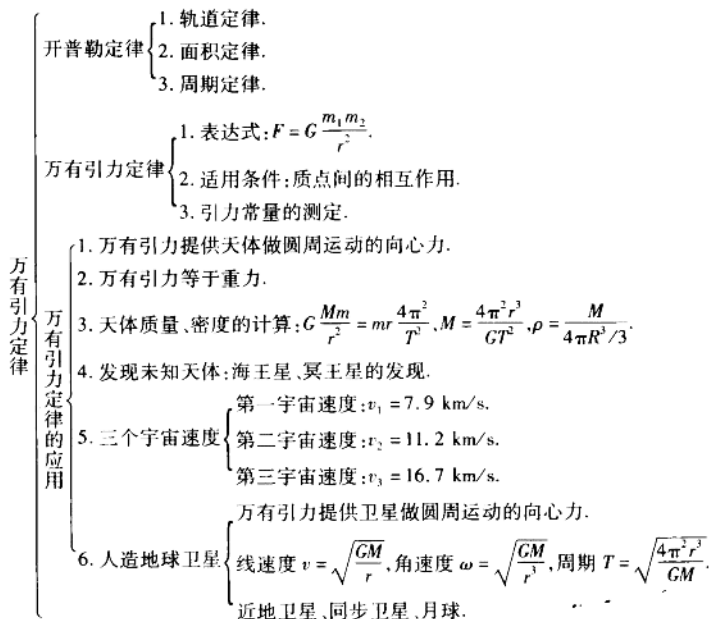
探究思考

课题:1. 查阅资料了解卫星的种类及其作用.

2. 了解我国的“神舟”系列飞船的发展历程及其作用;了解我国的登月计划.

章末复习

知识梳理



考点指津

本章主要介绍了万有引力定律和天体运动这两方面的知识. 其中万有引力定律是力学中一个独立的基本规律, 人造地球卫星是由万有引力提供向心力而做匀速圆周运动的. 人造地球卫星的运动, 是牛顿第二定律和圆周运动的综合应用. 学习好本章知识, 可以进一步加深对力和运动关系的理解, 提高分析和解决实际问题的能力.

高考强调理论联系实际, 其中与现代科技的联系是一个重要方面, 同时体现高考试卷的时代性. 人造地球卫星的问题是命题的热点, 随着我国航空航天事业的迅速发展, 今后仍将是高考热点之一.

由于人类是生活在地球上的, 同学们对行星、卫星的运动没有直观、感性的认识, 在解决问题时不易建立物理模型, 同时由于涉及的物理量以及物理量之间的关系较多, 容易混淆. 这两个方面给大家解决问题造成思维障碍, 突破其方法是认真作好情景图以帮助建立物理模型.

例题 1 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为 $T = 1/30 \text{ s}$. 问该中子星的最小密度应是多少才能维持该星体的稳定, 不致因自转而瓦解? 计算时星体可视为均匀球体, 引力常数 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$. (保留 3 位有效数字)

分析 审题时要弄明白维持星体稳定而不致因自转而瓦解的条件, 即它受到的万有引力大于或等于它随星体一起旋转所需的向心力, 再利用万有引力定律建立等式求解.

解 考虑中子星赤道处一小块物质, 只有当它受到的万有引力大于或等于它随星体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 , 自转角速度为 ω , 位于赤道处的小块物体质量为 m , 则有 $G \frac{Mm}{R^2} = m\omega^2 R$. 又 $\omega = \frac{2\pi}{T}$, $M = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho$.

由以上各式得 $\rho = \frac{3\pi}{GT^2} = 1.27 \times 10^{14} \text{ kg/m}^3$.

拓展 (1) 建立物理模型很关键. 一个星体因

自转而瓦解意味着星体的各小部分无法跟随星体一起自转而离开星体,这样星体便瓦解了.要让星体上任何一部分都跟随星体一起自转,则该部分必须具有相应的向心加速度,这个向心加速度只能靠万有引力来产生.赤道处的物质离自转轴的距离最远,只要该处质量为 m 的物质受到星体的万有引力能使该质量的物质跟随星体一起转动,整个星体就不会因自转而瓦解.(2)考虑自转.(3)星球的半径可以消去.(4)相当于近地卫星.

例题2 在勇气号火星探测器着陆的最后阶段,着陆器降落到火星表面上,需经过多次弹跳才停下来.假设着陆器第一次落到火星表面弹起后,到达最高点时高度为 h ,速度方向是水平的,速度大小为 v_0 ,求它第二次落到火星表面时速度的大小.计算时不计火星大气阻力.已知火星的一个卫星的圆轨道的半径为 r ,周期为 T ,火星可视为半径为 r_0 的均匀球体.

分析 如果已知火星表面附近的重力加速度,根据抛出处的高度和抛出时的初速度,用平抛运动的知识即可求出探测器落地时的速度.

解 设 v 表示着陆器第二次落到火星表面时的速度,它的竖直分量为 v_1 ,水平分量仍为 v_0 ,由题意有 $v_1^2 = 2g'h$, $v = \sqrt{v_1^2 + v_0^2}$.

以 g' 表示火星表面附近的重力加速度, M 表示火星的质量, m 表示火星的卫星的质量, m' 表示火星表面处某一物体的质量.由万有引力定律和牛顿第二定律,有

$$G \frac{Mm'}{r_0^2} = m'g', G \frac{Mm}{r^2} = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r$$

$$\text{由以上各式解得 } v = \sqrt{\frac{8\pi^3 hr^3}{T^2 r_0^2} + v_0^2}.$$

拓展 (1)火星表面附近的重力加速度取决于

火星的半径和火星的质量,火星的质量可由火星的卫星轨道半径和卫星运动的周期求出.(2)建立三个物理模型很关键.一是探测器的平抛运动,二是在火星表面万有引力等于重力,三是火星的一个卫星绕火星做匀速圆周运动.

例题3 假定有一个行星,由于其自转形成的昼夜时间(即一天的时间) $T_1 = 6 \text{ h}$,用弹簧秤测同一个物体的重量时,在其赤道上的读数为在其两极处的读数的84%.设想该行星自转的角速度不断增大,直到赤道上的物体都“飘起来”而“失去重量”(弹簧秤测不出物体的重量),这时该行星的自转周期 T_2 为多大?

分析 此题涉及重力(弹簧秤的读数)和万有引力的关系.要理解题目中关于在赤道和两极测同一物体的重量和“自转角速度不断增大,直到赤道上的物体都‘飘起来’”的意义.

解 在两极称重时,重力(弹簧秤的读数 F) 等于万有引力,即 $F = \frac{GMm}{R^2}$.

在赤道称重时,万有引力与弹簧秤的拉力(84% F) 的合力提供物体随行星自转所需的向心力,有 $\frac{GMm}{R^2} - F \times 84\% = m \frac{4\pi^2}{T_1^2} R$.

当物体在赤道上“飘起来”时,万有引力提供向心力,有 $\frac{GMm}{R^2} = m \frac{4\pi^2}{T_2^2} R$.

联立以上三式,解得 $T_2 = 2.4 \text{ h}$.

拓展 (1)认真审题建立物理模型,找准适用规律是解题的关键.(2)考虑星球的自转与否应具体问题具体分析.从本题的题目中明显看出应考虑自转.(3)分析物体做圆周运动的向心力由谁提供是列方程的要点.

达标测试

A 组

一、选择题

1. 下列说法符合事实的是().

A. 牛顿发现了行星的运动规律

B. 开普勒发现了万有引力定律

C. 卡文迪许第一次在实验室测出了万有引力

常量

D. 地球是宇宙的中心,太阳、月亮及其他行星都绕地球运动

2. 人造卫星绕地球做匀速圆周运动,其轨道半径为 R ,线速度为 v ,周期为 T ,若要使卫星的周期变为 $2T$,可能的方法是().

A. R 不变,使线速度变为 $v/2$

B. v 不变,使轨道半径变为 $2R$

C. 轨道半径变为 $\sqrt[3]{4R}$

D. 无法实现

3. 设土星绕太阳的运动是匀速圆周运动,若测得土星到太阳的距离为 R ,绕太阳运动的周期为 T ,万有引力常量为 G ,则根据以上数据可计算出().

- A. 土星的线速度大小
- B. 太阳的质量
- C. 土星的质量
- D. 土星的加速度大小

4. 某天体半径是地球半径的 m 倍,密度是地球的 n 倍,则该天体表面的重力加速度是地球重力加速度的().

- A. m/n 倍
- B. mn 倍
- C. m/n^2 倍
- D. mn^2 倍

5. 航天飞机在进入绕地球做匀速圆周运动的轨道后,有宇航员走出机外,他将().

- A. 仍沿原轨道做匀速圆周运动
- B. 由于惯性做匀速直线运动
- C. 向着地心方向做自由落体运动
- D. 做平抛运动

6. 关于地球的第一宇宙速度,下列说法正确的是().

- A. 它是人造地球卫星绕地球运行的最小速度
- B. 它是人造地球卫星绕地球运行的最大速度
- C. 它是能使卫星进入地球周围圆形轨道的最小发射速度
- D. 它是能使卫星进入轨道的最大发射速度

7. 关于绕地球做圆周运动的宇宙飞船,以下说法正确的是().

- A. 两飞船只要速率相等,则其轨道半径和运行周期必相等

B. 在同一轨道上沿同方向运行的前后两飞船,要想对接,只让后一飞船喷气加速是不行的

C. 宇航员从舱内“飘”出,离开飞船,则飞船所受万有引力减小,因而速率变小

- D. 飞船若朝着飞行方向喷气,则其速率将变大

8. 关于地球同步卫星,下列说法中正确的是().

- A. 一定在赤道正上方
- B. 轨道半径是确定的值
- C. 速率介于第一与第二宇宙速度之间
- D. 周期可以是不同的

9. 若已知某行星绕太阳公转的轨道半径 r ,公转周期 T ,引力常量 G ,由此可求出().

- A. 该行星的质量
- B. 太阳的质量

C. 该行星的密度

D. 太阳的密度

10. 假如一颗做匀速圆周运动的人造地球卫星的轨道半径 r 增大到原来的 2 倍,且仍做圆周运动,则().

A. 根据公式 $v = \omega r$,可知卫星的线速度增大到原来的 2 倍

B. 根据公式 $F = G \frac{Mm}{r^2}$,可知卫星的向心力将减少到原来的 $\frac{1}{4}$

C. 根据公式 $F = \frac{mv^2}{r}$,可知卫星的向心力减少到原来的 $\frac{1}{2}$

D. 根据 B、C 选项中的公式,可知卫星运动的线速度将减少到原来的 $\frac{\sqrt{2}}{2}$

二、计算题

11. 火星和地球绕太阳的运动可以近似地看作在同一平面内同方向的匀速圆周运动,已知火星的轨道半径 $R_1 = 2.3 \times 10^{11}$ m,地球的轨道半径 $R_2 = 1.5 \times 10^{11}$ m,试估算火星冲日(即火星距地球最近)的时间间隔(以年为单位).

12. 1990 年 3 月,紫金山天文台将该台发现的 2752 号小行星命名为“吴健雄星”,将其看作球形,直径约为 32 km,密度和地球密度相近.若要在此小行星上发射一颗环绕其表面附近旋转的卫星,则此卫星的环绕速度为多少?(已知地球半径为 6.4×10^3 km, g 取 10 m/s^2)

B 组

一、选择题

1. 引力常量很小,说明了().

- A. 万有引力很小
B. 万有引力很大

C. 只有当物体的质量大到一定程度,物体间才会有万有引力

D. 很难察觉到日常接触的物体间有万有引力,是因为它们的质量不是很大

2. 苹果自由落向地面时加速度的大小为 g ,在离地面高度等于地球半径处做匀速圆周运动的人造卫星的向心加速度为().

- A. g B. $g/2$ C. $g/4$ D. 无法确定

3. 物体在月球表面的重力加速度是在地球表面的重力加速度的 $1/6$,这说明().

- A. 地球半径是月球半径的 6 倍
B. 地球质量是月球质量的 6 倍

C. 月球吸引地球的力是地球吸引月球的力的 $1/6$

D. 物体在月球表面的重力是其在地球表面的重力的 $1/6$

4. 有两个大小一样,同种材料组成的均匀球体紧靠在一起,它们之间万有引力为 F . 若用上述材料制成两个半径更小的均匀球体靠在一起,则它们间万有引力().

- A. 等于 F B. 小于 F
C. 大于 F D. 无法比较

5. 已知地球半径为 R ,质量为 M ,地面附近的重力加速度为 g ,引力常量为 G ,那么第一宇宙速度可以表示为().

- A. $\sqrt{Rg}$ B. $\sqrt{\frac{M}{R^2}}$
C. $\sqrt{\frac{R}{g}}$ D. $\sqrt{\frac{GM}{R}}$

6. 地球半径为 R ,地面上重力加速度为 g ,在高空绕地球做匀速圆周运动的人造卫星的线速度大小可能是().

- A. $\sqrt{2gR}$ B. $\sqrt{gR}$
C. $\sqrt{gR/2}$ D. $2\sqrt{gR}$

7. 假设同步卫星的轨道半径是地球赤道半径的 n 倍,则().

A. 同步卫星的向心加速度是地球赤道上物体向心加速度的 $1/n$ 倍

B. 同步卫星的向心加速度是地球赤道上物体向心加速度的 $1/n^2$ 倍

C. 同步卫星的向心加速度是地球赤道上物体向心加速度的 n 倍

D. 同步卫星的向心加速度是地球赤道上物体向心加速度的 n^2 倍

8. 在地球(可视为均匀球体)上空有许多同步卫星,那么().

A. 它们的质量一定相同

B. 它们的速度一定相同

C. 它们的向心加速度一定相同

D. 它们离地面的高度可能不同

9. 同步卫星是指相对于地面不动的人造地球卫星,关于它所在位置,下列说法正确的是().

A. 它可以在地面上任一点的正上方,且离地心的距离可按需要选择不同值

B. 它可以在地面上任一点的正上方,且离地心的距离是一定的

C. 它只能在赤道的正上方,但离地心的距离可按需要选择不同值

D. 它只能在赤道的正上方,且离地心的距离是一定的

10. 两颗人造卫星 A 、 B 绕地球做圆周运动,周期之比 $T_A:T_B=1:8$,则轨道半径之比和运动速率之比分别为().

A. $R_A:R_B=4:1, v_A:v_B=1:2$

B. $R_A:R_B=4:1, v_A:v_B=2:1$

C. $R_A:R_B=1:4, v_A:v_B=1:2$

D. $R_A:R_B=1:4, v_A:v_B=2:1$

11. 同步卫星在赤道

上空的同步轨道上定位后,由于受到太阳、月球及其他天体的引力作用影响,会产生不同方向的飘移运动而偏离原来的位置.当偏离达到一定程度,就要发动卫星上的小发动机进行修正,图 6-1

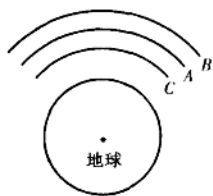


图 6-1

中 A 为离地面 36 000 km 的同步轨道, B 和 C 为两个已经偏离同步轨道但轨道仍在赤道平面内的同步卫星,要使它们回到同步轨道上来,下述方法正确的有().

A. 开动 B 的小发动机向前喷气,使 B 适当减速

B. 开动 B 的小发动机向后喷气,使 B 适当加速

C. 开动 C 的小发动机向前喷气,使 C 适当减速

D. 开动 C 的小发动机向后喷气,使 C 适当加速