

江苏省仪征中学 2021-2022 学年度第一学期高一物理学科导学案

7.3 万有引力理论的成就

研制人：熊小燕

审核人：邱勇

班级：_____ 姓名：_____ 学号：_____ 授课日期：2022.03.16

本课在课程标准中的表述：认识发现万有引力定律的重要意义，认识科学定律对人类探索未知世界的作用。

[学习目标]

- 1.了解万有引力定律在天文学中的重要应用.
- 2.了解“称量”地球的质量、计算太阳的质量的基本思路，会用万有引力定律计算天体的质量，进而计算天体密度.

[课前预习]

一、“称量”地球的质量

- 1.思路：地球表面的物体，若不考虑地球自转的影响，物体的重力等于_____
- 2.关系式： $mg = G \frac{mm_{\text{地}}}{R^2}$.
- 3.结果： $m_{\text{地}} = \frac{gR^2}{G}$ ，只要知道 g 、 R 、 G 的值，就可计算出地球的质量.
- 4.推广：若知道某星球表面的_____和星球_____，可计算出该星球的质量.

二、计算天体的质量

- 1.思路：质量为 m 的行星绕太阳做匀速圆周运动时，_____充当向心力.
- 2.关系式： $\frac{Gmm_{\text{太}}}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$.
- 3.结论： $m_{\text{太}} = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$ ，只要知道引力常量 G 、行星绕太阳运动的周期 T 和轨道半径 r 就可以计算出太阳的质量.
- 4.推广：若已知卫星绕行星运动的周期和卫星与行星之间的距离，可计算出行星的质量.

三、发现未知天体

海王星的发现：英国剑桥大学的学生亚当斯和法国年轻的天文学家勒维耶根据天王星的观测资料，利用万有引力定律计算出天王星外“新”行星的轨道.1846年9月23日，德国的加勒在勒维耶预言的位置附近发现了这颗行星——海王星.

四、预言哈雷彗星回归

英国天文学家哈雷预言哈雷彗星的回归周期约为76年.

[课堂学习]

一、天体质量的计算

[导学探究]

- 1.卡文迪什在实验室测出了引力常量 G 的值，他称自己是“可以称量地球质量的人”.
- (1)他“称量”的依据是什么？
- (2)若已知地球表面重力加速度 g ，地球半径 R ，引力常量 G ，求地球的质量.

[知识深化]

计算中心天体质量的两种方法

1. 重力加速度法

- (1)已知中心天体的半径 R 和中心天体表面的重力加速度 g ，根据物体的重力近似等于中心天体对物体的引力，有 $mg = G \frac{Mm}{R^2}$ ，解得中心天体质量为 $M = \frac{gR^2}{G}$.

- (2)说明： g 为天体表面的重力加速度.

未知星球表面的重力加速度通常这样给出：让小球做自由落体、平抛、上抛等运动，从而计算出该星球表面的重力加速度.

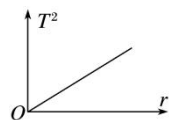
2. “卫星”环绕法

将天体的运动近似看成匀速圆周运动,其所需的向心力都来自于万有引力,由 $\frac{GMm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$,可得 $M=\frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$.

例 1: 某卫星环绕地球做匀速圆周运动的周期 T 与轨道半径 r 的关系如图所示(纵坐标为 T 的二次方, 横坐标为 r 的三次方), 该图像的斜率为 k , 已知引力常量为 G , 则地球的质量为()

A. $\frac{4\pi^2}{Gk}$
C. $\frac{G}{4\pi^2 k}$

B. $\frac{4\pi^2 k}{G}$
D. $\frac{Gk}{4\pi^2}$



例 2: 已知金星和地球的半径分别为 R_1 、 R_2 , 金星和地球表面的重力加速度分别为 g_1 、 g_2 , 则金星与地球的质量之比为()

A. $\frac{g_1 R_1^2}{g_2 R_2^2}$

B. $\frac{g_1 R_2^2}{g_2 R_1^2}$

C. $\frac{g_2 R_1^2}{g_1 R_2^2}$

D. $\frac{g_2 R_2^2}{g_1 R_1^2}$

二、天体密度的计算

若天体的半径为 R , 则天体的密度 $\rho=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$

(1)将 $M=\frac{gR^2}{G}$ 代入上式得 $\rho=\frac{3g}{4\pi GR}$.

(2)将 $M=\frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$ 代入上式得 $\rho=\frac{3\pi r^3}{GT^2 R^3}$.

[深度思考] 当卫星绕天体表面运动时, 运动周期为 T , 引力常量为 G , 则其密度为多大?

例 3: 假设在半径为 R 的某天体上发射一颗该天体的卫星, 已知引力常量为 G , 忽略该天体自转.

(1)若卫星距该天体表面的高度为 h , 测得卫星在该处做圆周运动的周期为 T_1 , 则该天体的密度是多少?

(2)若卫星贴近该天体的表面做匀速圆周运动的周期为 T_2 , 则该天体的密度是多少?

例 4: 宇航员在月球表面附近高为 h 处以初速度 v_0 水平抛出一个小球, 测出小球的水平射程为 L . 已知月球半径为 R , 引力常量为 G . 下列说法中正确的是()

A. 月球表面的重力加速度 $g_{\text{月}}=\frac{2hv_0^2}{L^2}$

B. 月球的质量 $m_{\text{月}}=\frac{2R^2 v_0^2}{GL^2}$

C. 月球的自转周期 $T=\frac{2\pi R}{v_0}$

D. 月球的平均密度 $\rho=\frac{3hv_0^2}{2\pi GL^2}$

[课后作业] 完成课后作业

[课后感悟] _____

江苏省仪征中学 2021—2022 学年度第一学期高一物理学科作业

7.3 万有引力理论的成就

研制人：熊小燕

审核人：邱勇

班级：_____ 姓名：_____ 学号：_____ 时间：2022.03.16 作业时长：30 分钟

[基础练习]

1. 若测出月球表面的重力加速度 g 、月球的半径 R 和月球绕地球的转动周期 T ，已知引力常量为 G ，则关于月球质量 $m_{\text{月}}$ 的表达式正确的是()

A. $m_{\text{月}} = \frac{gR^2}{G}$ B. $m_{\text{月}} = \frac{gR^2}{T}$ C. $m_{\text{月}} = \frac{4\pi^2 R^3}{GT^2}$ D. $m_{\text{月}} = \frac{T^2 R^3}{4\pi^2 G}$

2. 2020 年 4 月 24 日，国家航天局宣布，我国行星探测任务命名为“天问”，首次火星探测任务命名为“天问一号”。已知引力常量为 G ，为计算火星的质量，需要测量的数据是()

- A. 火星表面的重力加速度 g 和火星绕太阳做匀速圆周运动的轨道半径 r
 B. 火星绕太阳做匀速圆周运动的轨道半径 r 和周期 T
 C. 某卫星绕火星做匀速圆周运动的周期 T 和火星的半径 R
 D. 某卫星绕火星做匀速圆周运动的轨道半径 r 和周期 T

3. 某行星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

4. 设在地球上和在某未知天体上，以相同的初速度竖直上抛一物体，物体上升的最大高度比为 k (均不计阻力)，且已知地球和该天体的半径比也为 k ，则地球质量与该天体的质量比为()

A. 1 B. k C. k^2 D. $\frac{1}{k}$

5. 地球表面的重力加速度为 g ，地球半径为 R ，引力常量为 G ，忽略地球自转的影响，可估算地球的平均密度为()

A. $\frac{3g}{4\pi RG}$ B. $\frac{3g}{4\pi R^2 G}$ C. $\frac{g}{RG}$ D. $\frac{g}{RG^2}$

6. 若一均匀球形星体的密度为 ρ ，引力常量为 G ，则在该星体表面附近沿圆轨道绕其运动的卫星的周期是()

A. $\sqrt{\frac{3\pi}{G\rho}}$ B. $\sqrt{\frac{4\pi}{G\rho}}$ C. $\sqrt{\frac{1}{3\pi G\rho}}$ D. $\sqrt{\frac{1}{4\pi G\rho}}$

7. 若月球绕地球的运动可近似看作匀速圆周运动，并且已知月球绕地球运动的轨道半径 r 、绕地球运动的周期 T ，引力常量为 G ，由此可以知道()

A. 月球的质量 $m = \frac{\pi^2 r^3}{GT^2}$ B. 地球的质量 $M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$
 C. 月球的平均密度 $\rho = \frac{3\pi}{GT^2}$ D. 地球的平均密度 $\rho' = \frac{3\pi}{GT^2}$

[能力练习]

8. 如图所示是美国的“卡西尼”号探测器经过长达 7 年的“艰苦”旅行，进入绕土星飞行的轨道。若“卡西尼”号探测器在半径为 R 的土星上空离土星表面高 h 的圆形轨道上绕土星飞行，可近似看作匀速圆周运动，环绕 n 周飞行时间为 t ，已知引力常量为 G ，则下列关于土星质量 M 和平均密度 ρ 的表达式正确的是()

A. $M = \frac{4\pi^2 (R+h)^3}{Gt^2}$, $\rho = \frac{3\pi (R+h)^3}{Gt^2 R^3}$
 B. $M = \frac{4\pi^2 (R+h)^2}{Gt^2}$, $\rho = \frac{3\pi (R+h)^2}{Gt^2 R^3}$
 C. $M = \frac{4\pi^2 t^2 (R+h)^3}{Gn^2}$, $\rho = \frac{3\pi t^2 (R+h)^3}{Gn^2 R^3}$
 D. $M = \frac{4\pi^2 n^2 (R+h)^3}{Gt^2}$, $\rho = \frac{3\pi n^2 (R+h)^3}{Gt^2 R^3}$



9. 为研究太阳系内行星的运动, 需要知道太阳的质量, 已知地球半径为 R , 地球质量为 m , 太阳与地球中心间距为 r , 地球表面的重力加速度为 g , 地球绕太阳公转的周期为 T . 则太阳的质量为(忽略地球自转)()

- A. $\frac{4\pi^2 r^3}{T^2 R^2 g}$ B. $\frac{T^2 R^2 g}{4\pi^2 m r^3}$ C. $\frac{4\pi^2 m g r^2}{R^3 T^2}$ D. $\frac{4\pi^2 m r^3}{T^2 R^2 g}$

10. 随着空间探测技术的发展, 中国人的飞天梦已经成为现实. 某质量为 m 的探测器关闭发动机后被某未知星球捕获, 在距未知星球表面一定高度的轨道上以速度 v 做匀速圆周运动, 测得探测器绕该未知星球运行 n 圈的总时间为 t . 已知星球的半径为 R , 引力常量为 G , 则该未知星球的质量为()

- A. $\frac{v^2 R}{G}$ B. $\frac{v^3 t}{2n\pi G}$ C. $\frac{v^2 t}{2n\pi G}$ D. $\frac{m v^3}{2\pi t G}$

11. 某同学从网上得到一些信息, 如下表数据所示, 则地球和月球的密度之比为()

月球半径	R_0
月球表面的重力加速度	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. $\frac{2}{3}$ B. $\frac{3}{2}$ C. 4 D. 6

12. 若宇航员登上月球后, 在月球表面做了一个实验: 将一片羽毛和一个铁锤从同一高度由静止同时释放, 二者几乎同时落地. 若羽毛和铁锤是从高度为 h 处下落, 经时间 t 落到月球表面. 已知引力常量为 G , 月球的半径为 R . 求: (不考虑月球自转的影响)

(1) 月球表面的自由落体加速度大小 $g_{\text{月}}$;

(2) 月球的质量 M ;

(3) 月球的平均密度 ρ .

[提升练习]

★13. 2018 年 2 月, 我国 500 m 口径射电望远镜(天眼)发现毫秒脉冲星“J0318+0253”, 其自转周期 $T=5.19$ ms. 假设星体为质量均匀分布的球体, 已知引力常量为 $6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$. 以周期 T 稳定自转的星体的密度最小值约为()

- A. $5 \times 10^9 \text{ kg/m}^3$ B. $5 \times 10^{12} \text{ kg/m}^3$
C. $5 \times 10^{15} \text{ kg/m}^3$ D. $5 \times 10^{18} \text{ kg/m}^3$

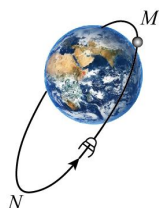
7.3 《万有引力理论的成就》补充练习

1. 据报道,在太阳系外发现了首颗“宜居”行星,设其质量为地球质量的 k 倍,其半径为地球半径的 p 倍,由此可推知该行星表面的重力加速度与地球表面重力加速度之比为 ()

- A. $\frac{k}{p}$ B. $\frac{k}{p^2}$ C. $\frac{k^2}{p}$ D. $\frac{k^2}{p^2}$

2. 2021 年 4 月 29 日 11 时 23 分,“长征五号”B 遥二运载火箭在海南文昌航天发射场点火升空,将载人航天工程空间站“天和”核心舱精准送入预定轨道。“天和”核心舱的运行轨道为椭圆轨道,其近地点 M 和远地点 N 离地面的高度分别为 h_1 和 h_2 ($h_2 > h_1$),已知地球的半径为 R ,质量为 M ,引力常量为 G ,则“天和”核心舱运行的周期的平方为 ()

- A. $\frac{4\pi^2 M}{GR^3}$ B. $\frac{\pi^2 (2R + h_1 + h_2)^3}{2GM}$
C. $\frac{4\pi^2 R^3}{GM}$ D. $\frac{\pi^2 (h_1 + h_2)^3}{2GM}$



3. 科学家对 X 星球探索过程中,发现 X 星球与地球的密度之比为 p ,X 星球与地球的半径之比为 q ,则 X 星球与地球表面的重力加速度之比为 ()

- A. $\frac{1}{pq}$ B. $\frac{q}{p}$ C. $\frac{p}{q}$ D. pq

4. 北京时间 2020 年 12 月 1 日 23 时 11 分嫦娥五号探测器成功着陆在月球表面附近的预选着陆区。若已知月球表面的重力加速度为 g_0 ,月球的半径为 R ,则月球的第一宇宙速度为 ()

- A. 7.9km/s B. $\sqrt{g_0 R}$ C. $\sqrt{2g_0 R}$ D. $\sqrt{\frac{g_0}{R}}$

5. 太空电梯是人类构想的一种通往太空的设备,与普通电梯类似,不同的是,它的作用并不是让乘客往返于楼层之间,而是将人和物体送入空间站。假设太空电梯竖直向上匀速运动,它从地面上带了重 25N 的植物种子,当太空电梯上升到某高度时发现种子的重力“变成”了 16N。已知地球的半径为 R ,不考虑地球的自转,则此时太空电梯距地面的高度约为 ()

- A. R B. $\frac{R}{4}$ C. $\frac{R}{8}$ D. $\frac{R}{16}$

6. 地球同步卫星绕地球做匀速圆周运动。已知轨道半径为 r ,周期为 T ,引力常量为 G ,地球表面的重力加速度 g 。根据题目提供的已知条件,不可以估算出的物理量是 ()

- A. 地球的质量 B. 同步卫星的质量
C. 地球的平均密度 D. 同步卫星离地面的高度

7. 中国首次火星探测任务“天问一号”已于 2021 年 6 月 11 日成功着陆火星。火星的半径为地球半径的 $\frac{1}{2}$,火星的质量为地球质量的 $\frac{1}{9}$,火星探测器在火星表面附近绕火星做匀速圆周运动(探测器可视为火星的近

地卫星)，探测器绕火星运行周期为 T 。已知火星和地球绕太阳公转的轨道都可近似为圆轨道，地球和火星可看作均匀球体，地球半径为 R ，则（ ）

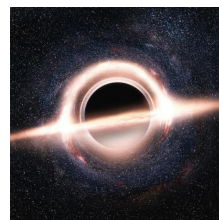
- A. 地球的质量为 $\frac{36\pi^2 R^2}{GT^2}$
- B. 火星表面的重力加速度为 $\frac{2\pi^2 R}{T^2}$
- C. 地球的密度为 $\frac{27\pi^2}{GT^2 R}$
- D. 探测器环绕火星表面运行速度与环绕地球表面运行速度之比为 $\sqrt{\frac{2}{3}}$

8. 2021 年 5 月 15 日 7 时 18 分，天问一号着陆巡视器成功着陆于火星乌托邦平原南部预选着陆区，我国首次火星探测任务着陆火星取得圆满成功。假设巡视器在着陆前，绕火星表面匀速飞行（不计周围其他天体的影响），测得飞行 N 圈所用的时间为 t ，已知地球质量为 M ，地球半径为 R ，地球表面重力加速度为 g ，仅利用以上数据，可以计算出的物理量有（ ）

- A. 火星的质量
- B. 火星探测器的质量
- C. 火星表面的重力加速度
- D. 火星的密度

9. 法国科学家拉普拉在对牛顿引力理论做过透彻研究后指出，对于一个质量为 M 的球状物体当其半径 R 小于等于 $\frac{2GM}{c^2}$ （其中 c 为光速， G 为引力常量）时，即是一个黑洞，若天文学家观测到距黑洞中心距离为 r 的某天体以速度 v 绕该黑洞做匀速圆周运动，则（ ）

- A. 该黑洞的质量为 $\frac{v^2 r}{2G}$
- B. 该黑洞的质量为 $\frac{v^2 r}{G}$
- C. 该黑洞的半径不超过 $\frac{2v^2 r}{c^2}$
- D. 该黑洞的半径不超过 $\frac{v^2 r}{2c^2}$



10. 已知地球自转一昼夜时间为 T 。利用弹簧秤在地球的“南极”地面附近和“赤道”地面附近分别测量一质量为 m 的物体的重力。假设地球是一个半径为 R 的均匀球体。根据题中已知条件，试求该弹簧秤在地球的“南极”处和“赤道”处的读数之差