# 第六章 万有引力定律

## 第一节 行星的运动

1. 在人类对天体运动认识的历史发展中，16世纪，哥白尼\_\_\_\_\_\_\_\_说的提出为近代天文学奠定了基础；17世纪，\_\_\_\_\_\_\_\_提出的关于行星运动的三大定律，揭示了太阳系行星运动的规律。
2. 图6–1为一颗行星绕太阳运动的椭圆轨道示意图，其中点 O 是椭圆轨道的中心，P、Q两点为椭圆的两个焦点，太阳位于\_\_\_\_\_\_\_\_点位置。如 A、B 是行星运动轨道上的两个位置，则在\_\_\_\_\_\_\_\_\_位置行星运行的速率较大。

行星

B

Q

O

P

A

1. 判断下列关于哥白尼“日心说”的说法是否正确并简述理由。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 说法 | 判断 | 说明理由或举例 |
| “日心说”认为太阳是静止不动的 |  |  |
| “日心说”认为地球和其他行星都绕太阳做匀速圆周运动 |  |  |
| 上述“日心说”的两个观点，现在看来也是完全正确的 |  |  |

1. 地球绕太阳公转时与太阳之间的距离随季节变化，冬至时最近，夏至时最远。下列关于地球在这两天绕太阳公转速度大小的说法是否正确，说明理由。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 说法 | 判断 | 说明理由或举例 |
| 地球的公转速度大小是不变的 |  |  |
| 冬至这天地球的公转速度最大 |  |  |
| 夏至这天地球的公转速度最大 |  |  |

1. 木星公转周期约为12年，规定地球到太阳的距离为1个天文单位，则木星到太阳的距离约为\_\_\_\_\_\_个天文单位。
2. 2002年4月，人们观测到水星、金星、火星、木星、土星在夜空中几乎排列成一直线的“五星连珠”奇观。假设火星和木星绕太阳运行的周期分别为 *T*1 和 *T*2，某时刻两星在太阳的同一侧，且三者在同一直线上，则再经过多长时间火星、木星和太阳将再次出现这种情况？
3. \*天文观测表明，哈雷彗星绕太阳运行的周期约为76年，其椭圆轨道离太阳的最近距离约为 8.9×1010 m，但离太阳的最远距离无法测得。现已知太阳系的开普勒常数 *k* = 3.354×1018 m3/s2（开普勒第三定律中半长轴的三次方与周期的二次方之比），能否计算出这个最远距离？如能，计算出结果；如不能，简述理由。

### （一）参考解答

1．日心，开普勒

2．P，A（或Q，B）

3．见下表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 说法 | 判断 | 说明理由或举例 |
| “日心说”认为太阳是静止不动的 | 对 | “日心说”认为太阳是宇宙的中心，所以认为太阳静止不动 |
| “日心说”认为地球和其他行星都绕太阳做匀速圆周运动 | 对 | 根据日心说的内容和示意图，这就是其基本观点 |
| 上述“日心说”的两个观点，现在看来也是完全正确的 | 错 | 根据现在的宇宙观，太阳系绕银河系中心运动，银河系也是运动的，任何天体都是运动的。而且行星绕太阳运行的轨道也不是圆周 |

4．见下表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 说法 | 判断 | 说明理由或举例 |
| 地球的公转速度大小是不变的 | 错 | 地球绕太阳以椭圆轨道公转，根据开普勒定律，其公转速度大小是变化的 |
| 冬至这天地球的公转速度最大 | 对 | 冬至时地球距太阳最近，根据开普勒定律，此时地球的公转速度最大 |
| 夏至这天地球的公转速度最大 | 错 | 夏至时地球距太阳最远，根据开普勒定律，此时地球的公转速度最小 |

5．由开普勒第三定律 = *k*，得 *r*′ = ×1 天文单位 ≈ 5.24 天文单位。

6．火星比木星多“走”一圈，所以时间 Δ*t* = = 。

7．能。由开普勒第三定律 = *k*，得 *r* = ≈ 2.68×1012 m，所以 *x*2 = 2*r* – *x*1 = 5.27×1012 m。

### （二）习题主要素养与水平分析

习题的主要素养与水平

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 题号 | 运动与相互作用 | 模型建构 | 科学推理 | 科学本质 | 科学态度 |
| 1 | Ⅰ |  |  |  | Ⅰ |
| 2 | Ⅰ | Ⅰ |  |  |  |
| 3 | Ⅰ | Ⅰ |  | Ⅰ |  |
| 4 | Ⅰ | Ⅰ |  | Ⅰ |  |
| 5 | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ |  |
| 6 | Ⅱ | Ⅲ | Ⅱ | Ⅱ |  |
| 7 | Ⅱ | Ⅲ | Ⅱ | Ⅱ |  |

## 第二节 万有引力定律

1. 所有物体间都存在的相互吸引力称为\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_，万有引力定律用公式表示为\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。在国际单位制中，引力常量 *G* = \_\_\_\_\_\_\_\_\_N·m2/kg2。历史上第一次通过实验比较准确地测出引力常量的物理学家是\_\_\_\_\_\_\_\_。
2. 牛顿提出万有引力定律，把\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_运动的规律和\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_运动的规律统一起来，这种“统一”的观念是物理学中普适性的经典。
3. 以下关于万有引力的说法正确的是（ ）。

A．开普勒等科学家对天体运动的研究为万有引力定律的发现做了准备

B．万有引力只存在于天体之间，地球上的物体之间不存在万有引力

C．万有引力存在于自然界任意两个物体之间

D．行星绕太阳运行的向心力来源于太阳对行星的万有引力，而太阳是中心天体，行星对它无万有引力的作用

1. 下列关于万有引力定律表达式的说法正确的是（ ）。

A．当两物体间的距离 *r* 趋于零时万有引力趋于无限大

B．两物体各自所受到的相互之间的万有引力大小总是相等的，与两物体质量是否相等无关

C．两物体之间的万有引力总是大小相等、方向相反的一对平衡力

D．万有引力公式中 *G* 为引力常量，它是由实验测得的，而不是人为规定的

1. 已知太阳质量 *m*1 = 1.96×1030 kg，太阳半径 *r*1 = 6.96×105 km，地球质量 *m*2 = 5.97×1024 kg，地球半径 *r*2 = 6.37×103 km，地球绕太阳公转的平均轨道半径 *r*0 = 1.49×108 km。求太阳对地球的万有引力。
2. 谷神星（Ceres）是一颗小行星，它的质量为 7×1020 kg，半径为500 km。谷神星表面的重力加速度 *g* 约为多大？
3. 利用万有引力定律建立一个函数关系，其中用 *x* 表示某处到地球中心的距离，用 *y* 表示该处的重力加速度，试用计算机作出此函数的大致图像。函数表达式应具有 *y* = *k*的形式（*k* 为常量），设 *x* 为 6 400 km 时，*y* 为 9.8 m/s2。在图像中找出以下各处的 *y* 值，并从得到的数据谈谈你的看法。

（1）在某一海岛上，*x* = 6 400 km 处；

（2）在珠穆朗玛峰顶上空，*x* = 6 410 km 处；

（3）在较低的卫星轨道上，*x* = 6 600 km 处；

（4）在更高的卫星轨道上，*x* = 8 400 km 处。

### （一）参考解答

1．万有引力，*F* = ，6.67×10−11，卡文迪什

2．地面物体，天体

3．AC。万有引力定律是建立在开普勒关于行星的运动定律基础上的，是自然界任何两个物体之间都存在的相互作用力。

4．BD。当两物体间的距离 *r* 趋于零时就不能看成质点，故选项 A 错误；两物体间的万有引力分别作用在两个物体上，是一对作用力与反作用力，而不是平衡力，所以选项 C 错误。

5．分析得两者间距离为地球绕太阳公转的平均轨道半径 *r*0，由万有引力定律得 *F* = = ≈ 3.52×102 N。

6．根据小行星表面物体所受重力等于万有引力，得 *g* = = ≈ 0.19 m/s2。

7．（1）9.8 m/s2

（2）约 9.77 m/s2

（3）约 9.22 m/s2

（4）约 5.69 m/s2。先在计算机上画出函数 *y* = *k*的图像，然后在图像上拟合得出结果。重力加速度随高度的增加而减小，而在地面附近（地表高低起伏的山脉）减小量较小，在粗略计算相关问题时可忽略。

## 第三节 万有引力律的应用

1. 判断下列关于宇宙速度的说法是否正确并简述理由。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 说法 | 判断 | 说明理由或举例 |
| 第一宇宙速度是人造地球卫星运行时的最小速度 |  |  |
| 人造地球卫星运行时的速度一定小于第二宇宙速度 |  |  |
| 物体上的物体无论具有多大的速度都不可能脱离太阳的束缚 |  |  |

1. 如果人造卫星的圆轨道半径增大到原来的 2 倍，下列说法正确的是（ ）。

A．根据公式 *v* = *ωr* 可知，卫星运动的线速度将增大到原来的2倍

B．根据公式 *F* = *m* 可知，卫星所需的向心力将减小到原来的

C．根据公式 *F* = 可知，地球提供的向心力将减小到原来的

D．根据公式*F* = *m*和 *F* = 可知，卫星运动的线速度将减小到原来的

1. 下列关于地球同步卫星的说法，正确的是（ ）。

A．同步卫星一定在赤道上空

B．同步卫星的高度和速率是确定的

C．同步卫星的运行速度一定小于第一宇宙速度

D．同步卫星的运行速度一定介于第一宇宙速度和第二宇宙速度之间

1. 已知月球绕地球公转的周期是 27.3 d，它到地球中心的平均距离为 3.90×105 km。求：

（1）距地球中心的平均距离为 6.70×103 km的人造卫星的周期为多少小时；

（2）一颗周期等于 1 d 的人造卫星与地球中心的平均距离。

1. 已知地球半径 *R* = 6 370 km，地面重力加速度 *g* = 9.8 m/s2，求地球的平均密度。
2. 已知月球表面的重力加速度约为地球表面重力加速度的 ，月球半径为1 740 km，求月球的质量。
3. 已知地球表面的重力加速度为 *g*，地球半径为 *R*，自转周期为 *T*，求地球同步卫星离地面的高度。
4. 同步卫星距地球中心的距离为 *r*，运行速率为 *v*1，加速度大小为 *a*1，地球赤道上的物体随地球自转的向心加速度大小为 *a*2，第一宇宙速度为 *v*2，地球半径为 *R*。求：

（1）加速度 *a*1 与 *a*2 之比；

（2）速度 *v*1 与 *v*2 之比。

1. 21世纪初，我国研制的“航天清华1号”微小卫星发射升空，标志了我国微小卫星研制工作的开始。试分析：

（1）微小卫星绕地球运行的加速度与同一轨道上运行的大卫星的加速度有怎样的关系？

（2）若将微小卫星用作同步卫星，则它的绕行速度、飞行高度等与大同步卫星相比有什么关系？

1. 人类利用“卡西尼”土星探测器首次“拜访”了土星及其卫星家族。探测器上有一物体，在地球上重为10 N，它在距土星中心3.2×105 km 处受到土星的引力为 0.38 N。已知地球半径为 6.37×103 km，估算土星质量是地球的多少倍？
2. 设想“嫦娥”登月飞船贴近月球表面做匀速圆周运动，周期为 *T*。飞船在月球上着陆后，自动测得质量为 *m* 的仪器所受重力为 *P*。已知引力常量为 *G*，由以上数据求月球表面的重力加速度、月球的半径和质量。
3. \*一物体在地球表面重为 16 N，在以 5 m/s2 的加速度加速上升的火箭中称重为 22.4 N（地球半径 *R* = 6.37×103 km，*g* 取 10 m/s2），则该火箭此时距地面约有多高？

### （一）参考解答

1．见下表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 说法 | 判断 | 说明理由或举例 |
| 第一宇宙速度是人造地球卫星运行时的最小速度 | 错 | 第一宇宙速度是发射人造卫星时的最小速度。人造卫星运行时，根据万有引力提供向心力，轨道越高运行速度越小 |
| 人造地球卫星运行时的速度一定小于第二宇宙速度 | 对 | 根据上述理由，人造卫星在轨运行时速度小于第一宇宙速度，也小于第二宇宙速度 |
| 物体上的物体无论具有多大的速度都不可能脱离太阳的束缚 | 错 | 如物体达到第三宇宙速度就可以脱离太阳引力的束缚 |

2．CD。讨论人造卫星运行规律需从万有引力提供向心力出发。

3．ABC。同步卫星是相对于地球表面静止的，且任何卫星运行的速度均小于第一宇宙速度，所以选项A、B、C正确。

4． = *m*月*r*，得 *T*2 ∝ *r*3

（1）*T* = ×27.3×24 h ≈ 1.48 h

（2）*r* = ×3.9×105 km ≈ 4.30×104 km。

5．由 *g* = ，*ρ* = ，得 *ρ* = = = kg/m3 ≈ 5.51×103 kg/m3。

6．由 *g*月 = = ，得 *m*月 = = kg ≈ 7.41×1022 kg。

7．由 = *m*（*R* + *h*），*g* = ，得 *h* = − *R*。代入数据后可知同步卫星在距地面约为 36 000 km的高处。

8．（1）同步卫星和赤道上物体的角速度相等，由 *a* = *ω*2*r*，得 *a*1∶*a*2 = *r*∶*R*。

（2）由 = *m*，得 *v*1∶*v*2 = ∶。

9．（1）根据 = *ma*，加速度 *a* 与卫星的质量无关，所以微小卫星运行的加速度与同一轨道上运行的大卫星的加速度完全相同。

（2）根据 = *mr*，与 = *m*，同步卫星的周期 *T* 为地球自转周期，是确定值，得同步卫星的运行高度、速度等都与卫星的质量无关，两种卫星的这些参数均一致。

10．已知物体在地球上的重力 *P* = 10 N，在距土星中心 3.2×105 km 处受到土星的引力 *P*ʹ = 0.38 N。因 *g* = = ，得 = · = · ≈ 96，所以土星质量约为地球的 96 倍。

11．因贴近月球表面做匀速圆周运动， = *mR*，又有 *g* = = 。解以上两式，得 *R* = ，*m*月 = 。

12．由牛顿第二定律 *F* − *mg*′ = *ma*，及 *g* = = 1.6 kg，得 *g*′ = − *a* = 9 m/s2。由 *g* = ，得 = = ，所以 *h* = *R*×6.37×103 km≈ 345 km。

### （二）习题主要素养与水平分析

习题的主要素养与水平

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 题号 | 运动与相互作用 | 模型建构 | 科学推理 | 科学本质 |
| 1 | Ⅰ |  |  | Ⅰ |
| 2 | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅱ |
| 3 | Ⅱ |  | Ⅱ |  |
| 4 | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ |  |
| 5 | Ⅱ |  | Ⅱ |  |
| 6 | Ⅱ |  | Ⅱ |  |
| 7 | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ |  |
| 8 | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ |
| 9 | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ |
| 10 | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ |  |
| 11 | Ⅱ | Ⅲ | Ⅲ | Ⅱ |
| 12 | Ⅲ | Ⅲ | Ⅲ | Ⅲ |