

第2周 太阳系与天体力学

一、选择题

(一) 太阳系常识

1. 2006年，IAU通过决议，取消冥王星的行星地位，将其降级为矮行星。冥王星被降级，是由于其不符合以下哪一条行星的条件？【自命题】

- (A) 围绕太阳运转
- (B) 质量大到达到流体静力平衡，也即近似形成球形
- (C) 清空轨道附近的其他天体
- (D) 以上全部

【答案解析】C AB两个条件冥王星均能满足，仅C不满足。满足AB但不满足C的天体被归类为矮行星。

2. 以下四颗行星中，()属于太阳系中具有全球性磁场的类地行星。【2025预赛18】

- (A) 火星 (B) 金星 (C) 水星 (D) 土星

【答案解析】C 类地行星：水星，金星，地球，火星；类木行星：木星，土星，天王星，海王星；有全球性磁场的行星：水星，地球和全部类木行星。

3. 武王伐纣的年份确定，是我国的一项文化工程，即“夏商周断代工程”，其中涉及天文学历法推算、古天文基本知识等等。《淮南子 兵略训》记载：武王伐纣，东面而迎岁。请问“岁”星是？【2024预赛13】

- (A) 水星 (B) 木星 (C) 金星 (D) 彗星

【答案解析】B 行星的古称：

水星——辰星

金星——太白（又称明星或大器，在早晨又称启明，在黄昏又称长庚）

火星——荧惑（著名的“荧惑守心”，指火星在心宿位置停留）

木星——岁星（相关：岁星纪年法，木星公转周期约12年）

土星——镇星/填星

4. 太阳系位于银河系的哪条旋臂上？【2014预赛11】

- (A) 人马-船底 (B) 猎户 (C) 英仙 (D) 天鹅

【答案解析】B 这是常识 (bushi)。关于银河系有哪些旋臂，不同出处有不

同的标准，目前也没有一个特别权威的标准定论。甚至太阳系所在的猎户臂是不是一条完整的主旋臂最近也有不同的说法了，说什么“根据最新的巡天数据，猎户臂可能是一条完整的主旋臂”，反正这种有争议的只能希望北馆不会考了。

5. 关于木星的四颗伽利略卫星说法错误的是？

- (A) 木卫一 Io 表面的火山活动非常剧烈。
- (B) 木卫二 Europa 冰冻的外壳下很可能存在着液态海洋。
- (C) 木卫三 Ganymede 是太阳系中体积最大的卫星。
- (D) 木卫四 Callisto 是伽利略卫星中唯一的一颗非同步自转卫星。

【答案解析】D 木星四颗伽利略卫星都被潮汐锁定，木卫四也不例外。

6. 2025 年 7 月，ATLAS (小行星陆地撞击最后警报系统) 在南天巡天中发现一个亮度约 19 等的天体，具有明显彗星特征，经确认它是目前已知的第 () 个来自太阳系之外的天体。【自命题】

- (A) 一 (B) 二 (C) 三 (D) 四

【答案解析】C

已确认的三个来自太阳系之外的宏观天体：

1I/Oumuamua (奥陌陌，首个星际小行星)

2I/Borisov (鲍里索夫，首个星际彗星)

3I/ATLAS (阿特拉斯，第三个星际天体 / 第二个星际彗星)

【知识补充】小行星与彗星命名方法

小行星初次发现将赋予临时编号：命名采用年份+半月顺序+半月内发现顺序命名。半月顺序即一年 24 个半月的顺序，采用 A-Z 中除了 I 和 Z 编号；

半月发现顺序先用字母 A-Z（不含 I）排列，如果超过 25 颗，重新轮回 A，并在字母后标上数字表示完成了多少次所有字母的周期。如 A1 表示第 26 颗；

小行星获得多次冲日数据后将赋予永久编号：数字+命名权持有者的命名。

示例：2024 YR4 是 2024 年 12 月下半月发现的第 $4 \times 25 + 18 - 1 = 117$ 颗小行星的临时编号；139 Juewa 是第一颗在中国土地上（由美国人）发现的小行星的正式名称。

彗星以前缀字母（表示特征）+半月顺序+半月发现顺序命名。

前缀字母的含义分别是：

P/：短周期彗星，前需加总表编号（一个数字）。如 1P（哈雷彗星）。

C/：无周期或长周期彗星。如海尔波普为 C/1995 O1。

X/：没有可靠轨道元素可以计算的彗星。

D/：不再回归、消失、分裂的彗星。

A/：错误归为彗星的小行星。

I/：太阳系外小天体。

半月顺序与小行星相同，用不含 IZ 的 24 个字母表示；

半月内发现顺序用数字表示（盖彗星数量太少而为之）。

示例：C/2025 F2 (SWAN) 表示 2025 年三月下半月发现的第二颗长周期彗星。

7. 在以下太阳系的天然卫星中，轨道运行周期比其母行星的自转周期还短的是（ ）。【2023 预赛 22】

(A) 木卫一 (B) 木卫四 (C) 火卫一 (D) 火卫二

【答案解析】C 有一说一，考场上遇到这种常识题确实就得见仁见智了。

既然是单选题，其实可以这样想：首先这些卫星是按照由近及远排序的，根据逻辑 AB 和 CD 可以排除两个里面周期长的，也就是比较远那一个。剩下 AC，又由常识（这个真是）木星自转周期不过 10 小时，火星和地球差不多 24.5 小时，优先猜 C。

8. 太阳系中质量最大的行星是（ ）。

(A) 土星 (B) 海王星 (C) 天王星 (D) 木星

【答案解析】D

9. 以下哪个天体不属于太阳系? ()

(A) 冥王星 (B) 谷神星 (C) 比邻星 (D) 阋神星

【答案解析】D 比邻星是离太阳最近的恒星, 不属于太阳系。冥王星和阋神星均位于柯伊伯带 (一个不算很冷的知识: 阋神星质量其实比冥王星大), 谷神星位于小行星带。

(二) 太阳物理与太阳活动

1. 太阳黑子数的变化周期大约是 ()。【2011 预赛 02】

(A) 25 天 (B) 360 天 (C) 11 年 (D) 60 年

【答案解析】C 太阳黑子数的变化存在显著的周期性, 其平均活动周期约为 11 年, 这也是太阳活动的核心周期, 该周期内黑子的数量、分布位置及太阳磁场极性会发生规律性的反转与变化, 是天文竞赛基础必考点。

2. 太阳大气从内至外依次为 ()。【2014 预赛 01】

(A) 光球层、日冕层、色球层

(B) 色球层、光球层、日冕层

(C) 光球层、色球层、日冕层

(D) 日冕层、色球层、光球层

【答案解析】C 太阳的大气结构从内到外依次为光球层 (肉眼可见的太阳表面)、色球层 (日全食时可见的玫瑰色圈层)、日冕层 (太阳最外层的高温大气), 该项为太阳大气结构的标准排序, 是核心基础考点。

3. 太阳光球层的温度大约是 ()。【2013 预赛 15】

(A) 2700K (B) 5700K (C) 13000K (D) 170000K

【答案解析】B 太阳光球层的有效温度约为 5770K, 通常近似为 5700K; 2700K 为太阳黑子本影的温度, 13000K 为色球层顶部温度, 170000K 为日冕内层温度, 是太阳物理核心参数考点。

4. “金属” (除氢、氦以外的其他元素) 占太阳质量的百分之 ()。【2022 预赛 31】

(A) 15 (B) 0.015 (C) 0.15 (D) 1.5

【答案解析】D 太阳的质量组成中, 氢约占 73.46%, 氦约占 24.85%, 重

元素（天文定义的“金属”）约占 1.69%，近似为 1.5%，是太阳化学组成的核心考点。

(三) 月球与月面结构

1. 我们从地面上无法看到月球背面的原因是因为（ ）。【2012 预赛 17】

- (A) 月球不自转
- (B) 月球自转和月球绕地球公转的周期相同
- (C) 月球绕地球公转
- (D) 月球和地球一起绕太阳公转

【答案解析】B 月球处于潮汐锁定状态，其自转周期与绕地球的公转周期完全相等（同步自转），因此月球永远以同一面朝向地球，地面上无法直接观测到月球背面，是地月系核心必考点。

2. 以下月海中位于月球背面的是（ ）。【2015 预赛 15】

- (A) 雨海 (B) 危海 (C) 酒海 (D) 智海

【答案解析】D 智海是月球背面的主要月海之一；雨海、危海、酒海均位于月球正面，是月面结构高频考点。

3. 地月距离大约是（ ）个天文单位。【2023 预赛 08】

- (A) 0.00001 (B) 0.0025 (C) 0.05 (D) 1

【答案解析】B 1 天文单位约为 1.496 亿公里，地月平均距离约为 38.4 万公里，计算可得 $38.4 \text{ 万} / 1.496 \text{ 亿} \approx 0.00257$ ，最接近 0.0025，是地月系核心参数考点。

(四) 行星的视运动

1. 在地球上观测金星与太阳分开的最大角距离为 46° ，那么金星公转轨道半径约为（ ）。【2013 预赛 32】

- (A) 0.46AU (B) 0.72AU (C) 0.83AU (D) 1.25AU

【答案解析】B 地内行星大距时，行星-太阳-地球构成直角三角形，行星公转轨道半径=日地距离 $\times\sin(\text{最大角距离})$ ，即 $1\text{AU}\times\sin 46^\circ \approx 0.72\text{AU}$ ，与金星实际公转轨道半径一致，是大距原理与三角计算核心考点。

2. 以下金星相对于太阳视运动顺序正确的是（ ）。【2014 预赛 14】

- (A) 合-西方照-东方照
- (B) 上合-西大距-下合-东大距

- (C) 合-东方照-冲-西方照
 (D) 上合-东大距-下合-西大距

【答案解析】D 如图，金星公转角速度大于地球，可看作金星逆时针依次经过上合-东大距-下合-西大距的位置。

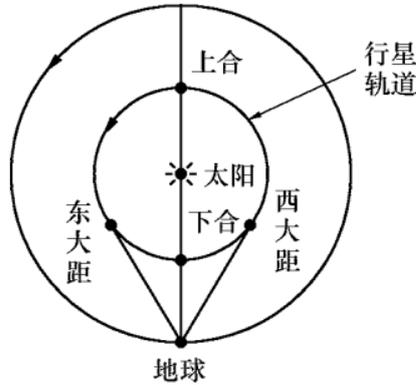


图 4.3.5 地内行星的运动

3. 在金星西大距时，在金星上看到的地球处于（ ）。【2020 预赛 02】
 (A) 冲 (B) 留 (C) 上合 (D) 方照

【答案解析】D 对照两张图可知。

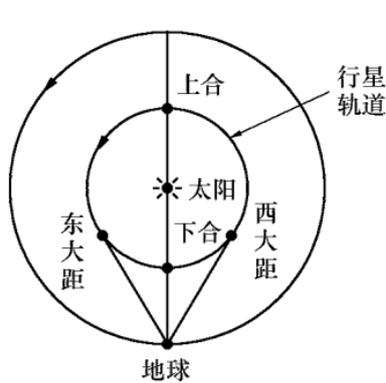


图 4.3.5 地内行星的运动

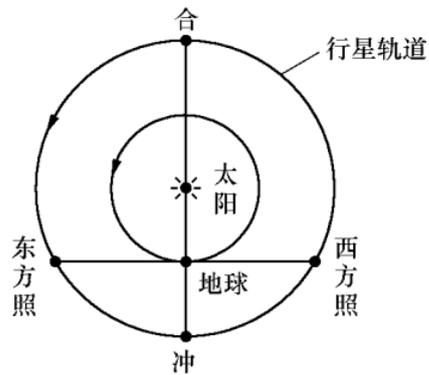


图 4.3.13 地外行星的运动

4. 2024 年 12 月 15 日前后，火星由顺行改为逆行。此时从火星上观察，地球在以下哪个位置附近？（ ） 【2024 预赛 35】
 (A) 上合 (B) 东大距 (C) 冲 (D) 东方照

【答案解析】B 可以逆向思考：在地球上观火星视运动方向反转，那么从火星上看地球视运动方向也反转，也就是说地球处于大距的位置。

(五) 日食和月食

1. 关于混合日食掩食带，下列说法错误的是（ ）。【2013 预赛 19】

- (A) 有可能开始是全食，结束是环食
- (B) 有可能开始是环食，结束是全食
- (C) 有可能两端是全食，中间是环食
- (D) 有可能两端是环食，中间是全食

【答案解析】C 混合日食（全环食）的成因是地球曲率导致月影在地表不同区域分别形成全食和环食，仅可能出现“两端环食、中间全食”或“一端全食、一端环食”的情况，不可能出现“两端全食、中间环食”。

2. 以下关于月全食错误的说法是（ ）。【2011 预赛 19】

- (A) 月全食食分不可能小于 1
- (B) 月全食全食阶段的持续时间可以短于一小时
- (C) 月全食前后可以没有月偏食阶段
- (D) 北极也可能观测到月全食

【答案解析】C 月全食的发生过程必然经历“半影月食-月偏食-月全食-月偏食-半影月食”的完整阶段，月全食前后一定会出现月偏食阶段；月全食的食分 ≥ 1 ，全食阶段时长可短于 1 小时，南北极地区只要月球处于地平线以上即可观测到月全食。

3. 在半影月食发生期间，如果站在月面上的半影区域，你会看到什么现象？（ ）

【2017 预赛 17】

- (A) 日偏食 (B) 日全食 (C) 没有发生日食 (D) 看不到太阳

【答案解析】A 半影月食的成因是月球进入地球的半影区，从月面半影区视角，地球会遮挡住部分太阳圆面，因此会看到日偏食现象，是月食原理核心考点。

(六) 太阳系小天体

1. 柯伊伯带是太阳系小天体的主要分布区域之一，它大致可分为传统带和共振带两部分，其中共振带主要是由与（ ）有共振关系的天体组成的。【2015 预赛 23】

- (A) 天王星 (B) 海王星 (C) 冥王星 (D) 妊神星

【答案解析】B 柯伊伯带的共振带天体，核心是与海王星形成轨道共振的小天体，最典型的是与海王星保持 2:3 轨道共振的冥族小天体，海王星是主导柯伊伯带天体轨道演化的核心引力源，是太阳系小天体必考点。

2. 天琴座流星雨的母彗星是（ ）。【2013 预赛 14】

- (A) C/1861 G1 Thatcher
- (B) 109P/Swift-Tuttle
- (C) 1P/Halley
- (D) 45P/Honda-Mrkos-Pajdusakova

【答案解析】A 天琴座流星雨的母彗星是撒切尔彗星(C/1861 G1 Thatcher); 109P/Swift-Tuttle 是英仙座流星雨母彗星, 1P/Halley 是猎户座、宝瓶座 η 流星雨母彗星, 是流星雨与彗星关联核心考点。

3. 哈雷彗星最远可以到达 ()。【2019 预赛 29】

- (A) 木星与土星轨道之间
- (B) 土星与天王星轨道之间
- (C) 天王星与海王星轨道之间
- (D) 海王星轨道外侧

【答案解析】D 哈雷彗星的公转轨道为极扁的椭圆, 近日点约 0.586AU, 远日点约 35.1AU, 海王星的轨道半长径约 30.1AU, 因此哈雷彗星的远日点位于海王星轨道外侧, 是彗星轨道核心考点。

4. 以下哪颗彗星来自太阳系之外? ()【2022 预赛 27】

- (A) D/1993 F2 苏梅克列维 9 号
- (B) 2I/鲍里索夫
- (C) 2P/恩克
- (D) C/1995 O1 海尔波普

【答案解析】B 2I/Borisov (鲍里索夫彗星) 是人类确认的第二颗星际彗星, 来自太阳系之外; 其余彗星均为太阳系内的周期彗星, 是星际天体高频考点。

5. 双子座流星雨的辐射点位于 ()。【2015 预赛 06】

- (A) 赤经 32° 赤纬 $+03^\circ$
- (B) 赤经 338° 赤纬 -01°
- (C) 赤经 262° 赤纬 $+54^\circ$
- (D) 赤经 112° 赤纬 $+33^\circ$

【答案解析】D 双子座流星雨的辐射点核心坐标为赤经 112° 、赤纬 $+33^\circ$, 位于双子座 α 星(北河二)附近, 是北半球三大流星雨核心考点。

(七) 开普勒三定律

1. 在距太阳 200au 处放置一块石头, 其由静止至落入太阳大约需要花多长时间

间? 【2022 年预赛 28】

(A) 5000 年 (B) 100 年 (C) 500 年 (D) 1000 年

【答案解析】 C 该问题可以转化为: 石头在半长径为 100au 的椭圆轨道上绕太阳公转半周, 运用开普勒第三定律可解。

2. 以下哪些不能通过开普勒三定律得出?

- I. 行星沿椭圆轨道绕太阳公转
- II. 太阳系中所有行星轨道的偏心率都较小
- III. 太阳系中的行星, 在近日点处切向速度最大
- IV. 所有太阳系行星的轨道都近似在一个平面内

【2025 年 USAAO 第 1 轮 19】

(A) 只有 I (B) 只有 IV (C) II, III 和 IV (D) II 和 IV (E) II 和 III

【答案解析】 D I 是开普勒第一定律, III 可以由开普勒第二定律推出, II 和 IV 虽然是太阳系内正确的结论但并不能由开普勒定律推出。

3. 2020 年一颗广受关注的大彗星——新智慧星 C/2020 F3 (NEOWISE), 其公转周期约为 7000 年, 则它的轨道半长径最接近 () AU。【2020 年预赛 15】

(A) 3.6 (B) 36 (C) 360 (D) 3600

【答案解析】 C 当公转周期单位为年, 轨道半长径单位为 AU 时, 开普勒第三定律可直接表述为: 公转周期的平方数值上等于轨道半长径的立方, 代入可得。

二、计算题

【自命题】 试对三种宇宙速度进行计算。

【答案解析】 摘自《天文学新概论》:

4.4.2 三种宇宙速度的计算

三种宇宙速度是指在地球表面发射人造天体时，三种不同的发射速度。第一宇宙速度指环绕地球飞行的最低速度；第二宇宙速度指脱离地球引力场绕太阳飞行的最低速度；第三宇宙速度指脱离太阳引力场，飞出太阳系的最低速度。

第一宇宙速度显然就是对地球表面的环绕速度， $v_0 = \sqrt{G(M+m)/r}$ ， M 是地球质量， m 是飞行器质量， r 是地球半径。忽略 m ，注意到 $GM=r^2g$ （从 $F=G\frac{Mm}{r^2}$ 及 $F=mg$ 立即可以推知）， g 是地球表面重力加速度。于是， $v_0 = \sqrt{rg}$ ，取 $r=6378$ 千米， $g=9.8$ 米/秒²，可算出 $v_0=7.9$ 千米/秒。按此速度飞行，绕轨道一周的时间 $T=2\pi r/v_0$ 秒 ≈ 1 小时24分。

第二宇宙速度就是对地球表面的逃逸速度，在活力公式中令 $a=\infty$ ，即得 $v_1=\sqrt{2}v_0=11.2$ 千米/秒。

第三宇宙速度是在地球位置处对太阳引力的逃逸速度。地球绕太阳公转可近似认为是圆轨道，那么地球公转的速度就是在地球位置处对太阳引力的环绕速度，其值为

$$2\pi \text{天文单位} / 365.2422 \text{日} \approx 29.8 \text{千米/秒}$$

逃逸速度为 $\sqrt{2}$ ×环绕速度=42.1千米/秒。如果轨道设计为入轨时与地球公转方向相同，则可借助地球公转的速度，于是飞行器自身的速度可减为(42.1-29.8)千米/秒=12.3千米/秒。需注意这是飞行器脱离地球引力束缚后应达到的速度。脱离引力束缚，需要在发射时达到第二宇宙速度 v_1 。从能量的角度来考虑，要想获得第三宇宙速度 v_2 ，付出的能量应当等于脱离地球引力束缚所需要的能量加上能达到12.3千米/秒速度所需要的能量。能量与速度的平方成正比。于是，应当有

$$v_2^2 = v_1^2 + (12.3 \text{千米/秒})^2$$

已知 $v_1=11.2$ 千米/秒，所以

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 + (12.3)^2} \text{千米/秒} = 16.7 \text{千米/秒}$$

这才是最后算出的第三宇宙速度。表4.4.1列出了太阳系各大行星和月球表面的环绕速度和逃逸速度。

【JAO 2024 决赛-2 微调】

在地球架设一门大炮，为使其能够到达月球表面所需的最小初速度是？结果保留两位有效数字，忽略空气阻力与其他因素影响，且假设仅受地球和月球引力作用。

【答案解析】

地球中心沿着月球方向、距离地球 r 的任意一点 ($0 < r < a$) 的引力势能 $U(r)$ 为:

$$U(r) = -\frac{GM}{r} - \frac{Gm}{a-r}$$

势能在 r 处取最大值时满足:

$$\frac{dU}{dr} = \frac{GM}{r^2} - \frac{Gm}{(a-r)^2}$$

解得势能最大值的位置为:

$$r_0 = \frac{\sqrt{M}}{\sqrt{m} + \sqrt{M}} a$$

要到达月球, 只需从地表到达势能最大的点 $r=r_0$ 即可。设所求初速度为 v_0 , 根据能量守恒, 有:

$$U(R) + \frac{1}{2}v_0^2 = U(r_0)$$

数值代入得到初速度为:

$$11.1 \text{ km s}^{-1}.$$

【JAO 2024 决赛-3】

假设火星完全由玄武岩构成, 回答下列问题。

(1) 已知火星表面的重力加速度为 $3.71 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, 玄武岩的密度为 $3.10 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 求火星的半径 (单位: km), 结果保留 2 位有效数字。

(2) 已知玄武岩能够承受的压缩压力为 200 MPa , 在火星上, 若一座山为圆柱形且完全由玄武岩构成, 求该山高度的理论上限 (单位: km), 结果保留 2 位有效数字。

【答案解析】

(1)

$$g = \frac{GM}{R^2}, M = \frac{4}{3}\pi\rho_0 R^3$$

因此,

$$R = \frac{3g}{4\pi G\rho_0} \simeq 4.3 \times 10^3 \text{ km}$$

成立。

(2) 高度为 H 的山, 其底部所承受的压力为 $\rho_0 g H$ 。只要该压力不超过 200 MPa 即可, 因此,

$$H_{\max} \simeq 1.7 \times 10^1 \text{ km}.$$

【自命题 水星日出】

尽管水星的自转周期与公转周期保持 2: 3 的整数比, 使得太阳视运动总体向东, 但作为太阳系偏心率最大的行星, 其轨道上存在某些特殊位置使得太阳短暂地向西 (视) 运动。

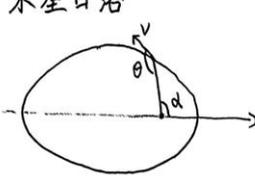
假设水星的黄赤交角为 0 。尝试估算水星人看见的太阳向西视运动持续时长。

你可能用到的数据：引力常数 $G=6.67 \times 10^{-11} \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$ 太阳质量 $2 \times 10^{30} \text{kg}$ 水星轨道半长轴 0.39AU 水星轨道偏心率 0.21 水星自转周期 58.6 天 水星公转周期 88 天。

【答案解析】

[分析]太阳的视运动，本质上是周年视运动与周日视运动两种运动的叠加，前者使得太阳向东运动 后者使得太阳向西运动。当前者胜过后者时，太阳就向西运动。数学上，这等于水星公转的瞬时角速度大于其自转角速度。临界的公转瞬时角速度可以用两种方法近似：第一是直接将水星看作圆周运动，仅考虑其速率变化，不考虑其速度方向变化，用活力公式求出任意点的速率 v ，用 v/r 作为角速度（实际计算发现误差太大）；第二是利用角动量守恒代换，即 $v \perp r = \text{Constant}$ ，而角速度为 $v \perp / r$ ，即 C/r^2 ， C 用近日点或远日点时 $v \perp = v$ 求出。求出临界的 r 后。代入椭圆的极坐标公式，解出两个解，两个解作差就是持续时间里水星运行的角度。由于我们是估计，不必使用微积分求解，此处直接近似回匀速圆周运动，用平均角速度求出角度对应的时间。（下图中应为“水星日出”）

水星日落



令 $r = a - ae = C$ 代入 $v_0 = \sqrt{GM(\frac{2}{r} - \frac{1}{a})} = 59 \text{ km/s}$

$L = m\vec{v} \times \vec{r} = mvr \sin\theta = mv_0 a(1-e)$ 得 $\frac{v \sin\theta \cdot r}{r^2} = \omega_{\text{公}} = \frac{v_0 a(1-e)}{r^2}$

令 $\omega_{\text{公}} = \omega_{\text{自}} = \frac{2\pi}{T_{\text{自}}}$ 解得 $r = 0.313 \text{ AU}$ 代入 $r = \frac{a(1-e^2)}{1+e\cos\alpha}$ $\alpha = 26.2^\circ$

$t = \frac{2\alpha}{360} \cdot T_{\text{公}} = 12.66 \text{ 天}$