

第三届中小学生天文科普线上竞赛活动试卷

命题人、审题人：北中天联理事会、粤中天联 勾陈一、浙中天联：风楠寒、残酷♀天使、開雲室主人、

沪中天联：AZ、星客_AstroSihwu、A330、东中天联：呼呼猫、lncosx

2025年7月

注意事项：

1. 本届竞赛共 120 分，其中客观题 72 分、主观题 48 分。
2. 请各位参赛同学在 7 月 26 日 12:00-7 月 27 日 14:00 提交自己的答案。每名考生有且仅有一次作答机会，请各位考生不要无故退出问卷星及切换后台，因个人原因造成的无法答题，考生自负。
3. 本次阅卷工作约于 8 月 3 日结束，请各考生关注微信群，后续关于成绩发布等工作均在微信群中发布。

4. 本届竞赛不允许参考任何相关的考试资料，考试过程中可以使用不带编程、存储功能的计算机，在规定时间内被举报且被组委会核实作弊行为的考生，将取消本届竞赛成绩。

一. 单项选择题：本题共 20 小题。其中，低年组只答 1-15 题；高年组只答 6-20 题，答对 1 题得 4 分，答错 1 题得-4 分，不答不得分，共 60 分。

1. 以下行星中没有已知光环的是：（ ）
A. 火星 B. 土星 C. 天王星 D. 海王星
2. 除了公转周期，以下哪个参数对一颗行星的轨道半径/半长轴影响最大：（ ）
A. 行星的质量 B. 中心恒星的光谱型
C. 该恒星系内行星总个数 D. 中心恒星的质量
3. 如果太阳突然被一个质量相同的黑洞替代，地球的轨道会如何的变化：（ ）
A. 什么都不会发生 B. 地球会立刻飞出太阳系
C. 地球会被立刻吸入黑洞 D. 地球的轨道会变成一个离心率更大的椭圆
4. 太阳的视星等为：（ ）
A. 0^m B. -26.7^m C. 4.83^m D. -1.46^m
5. 太阳系内“卫星”最多的行星是：（ ）
A. 木星 B. 土星 C. 地球 D. 火星
6. 北银极在哪个星座：（ ）
A. 后发座 B. 小熊座 C. 天龙座 D. 室女座
7. 近日发现的 3I/ATLAS 与 2017 年发现的奥陌陌类似，是来自太阳系外的天体。3I/ATLAS 的轨道为：（ ）
A. 抛物线 B. 椭圆轨道 C. 圆轨道 D. 双曲线
8. 在漠河(北纬 53°) 观测，北天拱极区内恒星的理论最高地平高度是多少：（ ）
A. 53° B. 106° C. 74° D. 90°
9. 火星为太阳系中四颗类地行星之一，火星的半径约为地球的 $1/2$ ，质量约为地球的 $1/10$ ，假定地球与火星均为质量分布均匀的球体，忽略火星与地球的自转，则火星与地球的第一宇宙速度的比值为：（ ）
A. $1/5$ B. $2/5$ C. $\sqrt{5}/5$ D. $3/5$
10. 假设某星系的光谱中 H α 谱线的波长观测值为 680 nm，而 H α 谱线的实验室波长为 656.3 nm。若宇宙哈勃常数为 70 km/s/Mpc，则该星系距离地球约为多少 Mpc：（ ）
A. 135Mpc B. 145Mpc C. 155Mpc D. 165Mpc
11. 假设将一根羽毛放置于某岩质行星（自转周期为 27h）的同步轨道上，问该羽毛坠落到该行星表面的时间：（ ）（仅考虑该行引力作用，忽略大气及其他因素，且该行星半径远小于同步轨道半径。）
A. 4h 46min B. 9h 33min C. 13h 30min D. 条件不足，无法计算
12. 在星球大战衍生剧《曼达洛人》第一季第一集中，曼达洛人丁·贾伦被形容为方圆一秒差距内最优秀的赏金

猎人（the best in the parsec）。请问以下哪种天文上常用的距离单位最有可能被外星人使用：（ ）

- A. 天文单位 B. 秒差距 C. 光年 D. 都不可能

13. 未来人类在冥王星表面建立了基地。假设基地中有一台角分辨率为 0.01 角秒的望远镜，科学家用其通过周年视差法测量其他恒星的距离。估算位于冥王星的望远镜所能测量距离的恒星数量是其在地球上能测量距离的恒星数量的多少倍：（ ）（冥王星轨道的半长轴约为 40 天文单位。假设望远镜的角分辨率相同。）

- A. 40 B. 2400 C. 5000 D. 60000

14. 1924 年哈勃利用 M31 造父变星的周光关系定出仙女座大星云的距离，大于最远的球状星团的距离，远超银河系的直径，以此支持了“宇宙岛”的存在。哈勃当时观测到 M31 中的一颗造父变星的光变周期为 50.17 天，视星等为 18.4 等，按照这一颗星的数据，M31 离地球的距离最接近_____万光年：（ ）（周光关系公式取 $M = -1.43 - 2.81\lg(P)$ ， M 表示绝对星等， P 表示光变周期，单位：天）。

- A. 230 B. 250 C. 270 D. 290

15. 某小行星轨道周期 200 d，近日点 0.3 AU，远日点 1.1 AU。问：它在轨道上哪一点的平均速度最大：（ ）

- A. 离地球最近 B. 距太阳最近 C. 距地球与太阳等距 D. 远日点

16. 通过哈勃定律和多普勒效应，估算 $z = 1$ 处的距离：（ ）

- A. 4282 Mpc B. 2569 Mpc

C. 7138 Mpc D. 退行速度为光速，没有对应的物理背景，该问题无意义

17. 定义第四宇宙速度为从地球发射的卫星逃逸银河系的速度，请求出第四宇宙速度的数值：（ ）（不切实际的）假设银河系物质全部集中在银河系中心。

取银河系质量为 $M_{gal} = 1 \times 10^{12} M_{sun}$ ，太阳距离银心距离为 $R_{gal} = 8.3$ kpc

- A. 493.927 km/s B. 510.628 km/s C. 298.681 km/s D. 298.216 km/s

18. H α 实验波长 656.3 nm，在观测星系光谱中出现于 720 nm。求该星系视向速度：（ ）

- A. 29 000 km/s 远离 B. 29 000 km/s 靠近 C. 21 000 km/s 远离 D. 21 000 km/s 靠近

19. 已知某 $1.38 M_{\odot}$ 白矮星的引力势能为 -5.1×10^{43} J，每燃烧 1kg 碳氧混合物(质量分数为 30%的 ^{12}C) 生成铁释放 7.3×10^{13} J 能量。若使该白矮星从束缚态转为非束缚态，需生成铁对应的碳氧混合物质量(以 M_{\odot} 为单位， $1 M_{\odot} \approx 1.989 \times 10^{30}$ kg) 约为：（ ）

- A. $0.25 M_{\odot}$ B. $0.35 M_{\odot}$ C. $0.45 M_{\odot}$ D. $0.55 M_{\odot}$

20. 已知恒星的能源来自于核聚变，假设氢原子的动能全部由热运动提供，估算经典条件下发生核聚变的最低温度：（ ）（假设两个氢原子发生聚变时最近距离为 $r = 10^{-15}$ m。）

- A. 10^8 K B. 10^9 K C. 10^{10} K D. 10^{11} K

二. 多项选择题：本题共 3 小题。其中，低年组只答 21-22 题，高年组只答 22-23 题，每题 6 分，漏选得 3 分，错选不得分，共 12 分。

21. 一颗行星围绕一颗恒星做椭圆轨道运动，轨道半长轴为 2 AU，偏心率为 0.5。请问行星在近日点和远日点的距离分别是多少：（ ）

- A. 1AU B. 2AU C. 3AU D. 4AU

22. 以下哪些梅西耶天体为星云：（ ）

- A. M1 B. M20 C. M67 D. M97

23. 某观测小组的同学们记录了某食双星的光变曲线（图 1（位于卷末））。该食双星由一颗较大、温度较高的主星和一颗较小、温度较低的伴星组成，且轨道倾角恰好为 90 度。关于这颗食双星的说法，正确的有：（ ）

- A. 该食双星属于大陵五型 B. 该食双星的绕转周期约为 1.25 天
C. 伴星的光度约为整个系统的 40% D. 红点对应伴星掩食主星

三. 简答题: 本题共 3 小题。其中, 低年组只答 24-25 题, 高年组只答 25-26 题, 每题 9 分, 共 18 分。

24. 在研究某恒星时, 已知实验室中 H α 谱线的波长 $\lambda_{\text{rest}}=656.281\text{nm}$ 。通过观测获取了该恒星的相关光谱数据, 并深入研究分析。

- (1) 在地球上观测到该恒星的 H α 谱线波长为 $\lambda_{\text{obs}}=656.581\text{nm}$, 计算该恒星的径向速度 v_r 。
- (2) 若该恒星的视差角为 $0.05''$, 结合 (1) 中的径向速度信息, 求该恒星在垂直于视线方向的速度 (即横向速度) v_{θ} , 已知该恒星的自行 $\mu=0.2''/\text{yr}$ 。

25. 2025 年 7 月, 同学们在山东威海参加国际天文奥赛集训期间, 使用山东大学威海天文台的 ASA RC600 望远镜 (图 2 (位于卷末)) 进行了观测活动。望远镜参数如下:

设备地理位置: $37^{\circ} 32' 07.2''\text{N}$ $122^{\circ} 03' 11.2''\text{E}$

口径: 600mm 焦距: 4200mm 焦比: F/_____

DDM200 直驱德式赤道仪

最大指向速度: $50^{\circ}/\text{s}$ 指向精度: $<8''$ RMS (指向模型) 跟踪精度: $<0.25''$ RMS (5 分钟)

终端: QHY4040 CMOS 相机

像元尺寸 $9\mu\text{m}\times 9\mu\text{m}$ 有效分辨率: 4096×4096

读出噪声: $3.69\text{e}^- @ \text{Gain}31 (16.5\times)$ 暗电流: $0.049\text{e}^-/\text{pixel}/\text{sec} @ -15^{\circ}\text{C}$

视场: $30.17' \times 30.17'$ 滤光片: Johnson/Cousins UBVRI、Clear

- (1) 该望远镜的焦比是?
- (2) 该望远镜在 B 波段 (约 440 纳米) 可以分辨的最小角距离是 (提示: 需要考虑望远镜口径和终端两方面的限制, 以角秒为单位)?

26. 考虑一颗卫星, 在一个椭圆轨道上绕地球公转, 半长轴 $a_1 = 15000\text{km}$, 偏心率 $e_1 = 0.2$ (称其为旧轨道)。卫星需要变轨到一个新的椭圆轨道, 半长轴为 $a_2 = 25000\text{km}$, 偏心率为 $e_2 = 0.4$ (称其为新轨道), 两轨道共面。已知第一次变轨位于旧轨道的近日点, 第二次变轨位于新轨道的半短轴处, 请求出两次变轨需要的速度增量, 以及速度增量与速度矢量的夹角。

提示: 变轨时速度矢量不一定共线。

四. 计算题: 本题共 3 小题。其中, 低年组只答 27-28 题, 高年组只答 28-29 题, 每题 15 分, 共 30 分。

27. 已知某行星 A 绕恒星做匀速圆周运动, 其轨道半径与地球绕太阳轨道半径存在特定关系, 已知其公转周期。请根据以下条件完成计算:

已知条件: 地球绕太阳公转的轨道半长轴 $a_{\oplus}=1$ 天文单位 (AU), 公转周期 $T_{\oplus} = 1$ 年, 轨道平均线速度 $v_{\oplus} \approx 30\text{km}/\text{s}$ 。行星 A 的公转周期 $T_A = 2\sqrt{2}$ 年 (约 2.828 年), 且地球轨道半长轴是行星 A 轨道半长轴的 0.5 倍 (即 $a_{\oplus} = 0.5a_A$)。问题:

- (1) 基础计算: 根据开普勒第三定律, 计算行星 A 的轨道半长轴 a_A (以 AU 为单位)。
- (2) 关联计算: 若行星 A 绕恒星运动的轨道可近似为圆形, 根据圆周运动公式, 计算其轨道平均线速度 v_A 。(以 km/s 为单位, 保留 1 位小数)
- (3) 综合比较: 比较行星 A 与地球的轨道平均线速度, 计算两者的速度差值 (以 km/s 为单位, 保留 1 位小数), 并说明哪个行星的线速度更快

28. 假设太阳保持流体静力平衡, 并且太阳核心是理想气体, 估算:

- (1) 太阳核心的压强
- (2) 太阳核心的粒子数密度 (在第一问没有做出来的情况下, 该小问中太阳核心的压强可取 $1 \times 10^{15}\text{Pa}$ 。)
- (3) 太阳核心的粒子数密度与地球大气粒子数密度的比

太阳核心温度为 $T_c = 10^7\text{K}$ 。

提示: 流体静力平衡方程为: $\frac{dP}{dr} = -\frac{GM(r)\rho(r)}{r^2}$ 。等式左端本质上这是一个导数 (可以理解为斜率),

但是在粗略近似 (意味着你可以忽略掉某些系数) 情况下, 取 $dP \approx P_c - P_s$ 为太阳核心压强与表面压强的差, $dr \approx r_c - r_s$ 为太阳核心半径与表面半径的差, 取 M 为恒星的质量, ρ 为恒星的平均密度。

如果你不会, 考虑从量纲方面下手, 压力与引力常数 G, 恒星质量 M 和恒星半径 R 相关。

29. 《名侦探柯南》M28 剧场版的故事发生在日本国立天文台的野边山天文观测所。野边山天文台中最著名的观测设备便是其 45 米口径的大型射电天文望远镜。下面我们将对射电望远镜观测中的一些简单问题进行探讨。

(1) 假设野边山天文台的 45 米口径射电天文望远镜的反射面为抛物面 (图 3 (位于卷末)), 且射电波接收设备位于 AB 连线中点 D 处, 以 C 点为坐标原点, 射线 AB 方向为 x 轴方向, 射线 CD 方向为 y 轴方向的坐标系下, 求该抛物线的曲线方程。

(2) 假设有一个半径为 10 米的近似球体的小行星以一定轨道绕地球进行抛物线运动。野边山天文观测所的 45 米口径射电天文望远镜在其黑体辐射的峰值波段进行观测, 在该小行星的运行期间, 45 米口径射电天文望远镜只有一个时刻可以分辨出该小行星。已知该小行星可以视为绝对黑体, 求其在极坐标系下的轨道方程。(注: 该小行星近日点与地心距离和日地距离相比可忽略不计)

(3) 射电辐射可由电子从高能级跃迁至低能级所产生。考虑一个氢原子, 其电子轨道满足角动量量子化条件, 即 $L_e = n\hbar$, \hbar 为约化普朗克常数 (即 $\frac{h}{2\pi}$), n 为正整数。假设一氢原子中的电子从角动量为 $n_1\hbar$ 的轨道上跃迁至角动量为 $19\hbar$ 的轨道后释放出了波长为 $40.21\mu\text{m}$ 的射电波, 求 n_1 的值。(假设氢原子是由库仑力束缚的系统, 电子所在轨道半径决定了系统的总能量, 而跃迁产生的能量就是电子两个能级的能量差)

第三届中小天文科普线上竞赛活动数据表

提示：并非所有的数据都会在解题过程中使用，但解题过程中必须使用的且题目中未说明的数据必须使用本表中数据进行解答。

1 天文常数及天体数据

物理量 (单位)	数值
光速 c (m/s)	3.00×10^8
天文单位 au (km)	1.50×10^8
万有引力常数 G ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$)	6.67×10^{-11}
太阳常数 A ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)	1.37×10^3
理想气体常数 R ($\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	8.31
普朗克常数 h ($\text{J} \cdot \text{s}$)	6.63×10^{-34}
玻尔兹曼常数 k_b ($\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$)	1.38×10^{-23}
斯特藩-玻尔兹曼常数 σ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)	5.67×10^{-8}
维恩位移常数 b ($\text{m} \cdot \text{K}$)	2.90×10^{-3}
哈勃常数 H_0 ($\text{kms}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$)	70
标准大气压 (Pa)	1.01×10^5
真空介电常数 ϵ_0 (F/m)	8.85×10^{-12}
太阳质量 (kg)	1.98×10^{30}
太阳半径 (km)	6.96×10^5
太阳光度 ($\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$)	3.83×10^{26}
太阳表面温度 (K)	5777
地球质量 (kg)	5.97×10^{24}
地球半径 (km)	6.37×10^3
质子质量 (kg)	1.67×10^{-27}
中子质量 (kg)	1.67×10^{-27}
水分子质量 (kg)	2.99×10^{-26}
元电荷 e (C)	1.60×10^{-19}

2 极小角近似

当 θ 很小时:

$$\sin\theta \approx \tan\theta \approx \theta$$

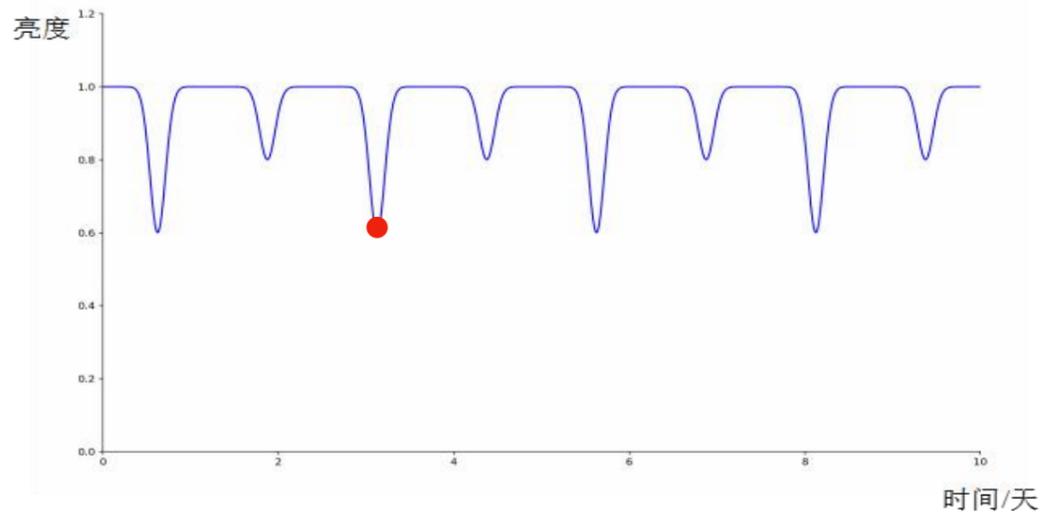


图 1



图 2

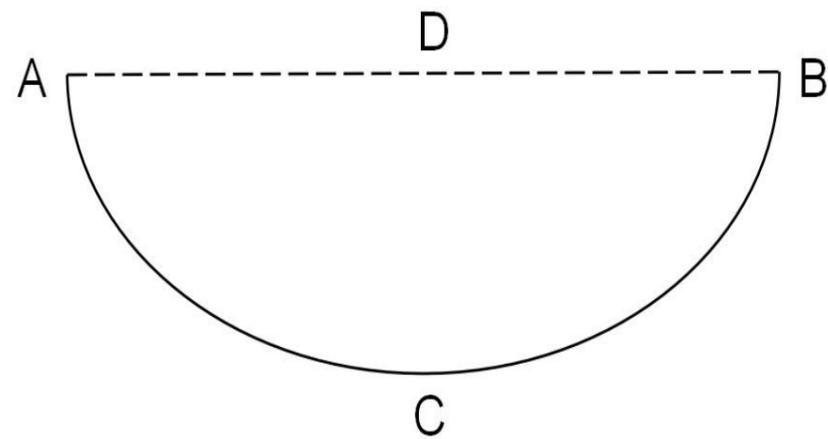


图 3