

CNAO 决赛理论练习题及答案

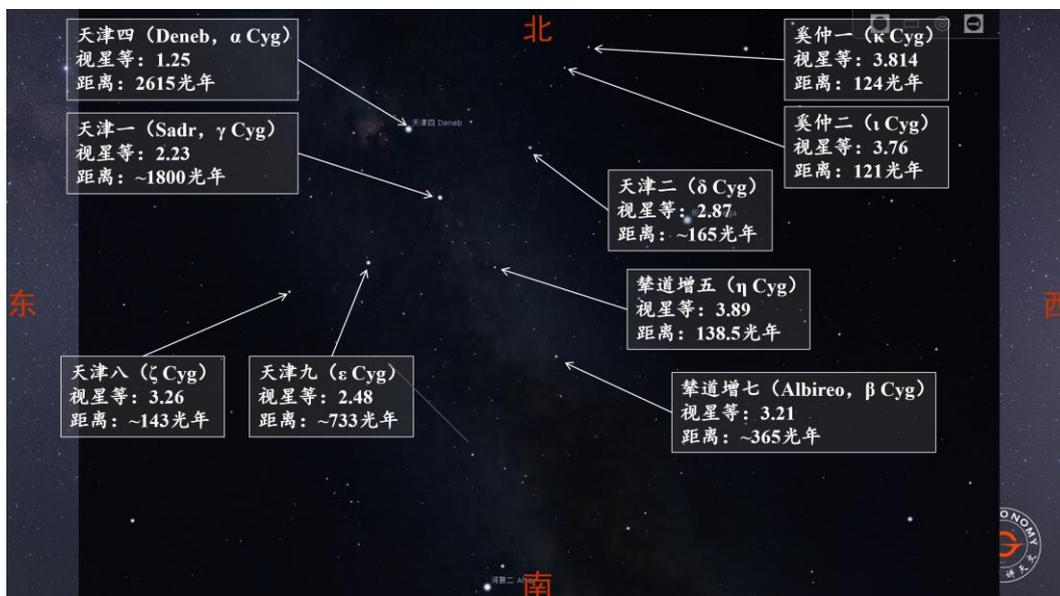


图 1. 全国中学生天文知识竞赛（CNAO）logo

全国中学生天文知识竞赛的 logo（如上图）由天津一（Sadr, γ Cyg）、天津二（ δ Cyg）、天津四（Deneb, α Cyg）、天津八（ ζ Cyg）、天津九（ ϵ Cyg）、奚仲一（ κ Cyg）、奚仲二（ ι Cyg）、辇道增五（ η Cyg）、辇道增七（Albireo, β Cyg）等亮星组成的大十字，外加天鹅形状的轮廓组成。其中辇道增七是双星，颜色差别很大。辇道增七 A 呈琥珀色，视星等 3.1 等，光谱型为 K2II；辇道增七 B 呈蓝绿色，视星等 5.1 等，光谱型为 B8Ve。两星相距 35 角秒。根据以上材料，请解答以下问题：

题目 1：标出恒星名称

问题：在图 1 中标出天津一、天津二、天津四、天津八、天津九、辮道增五和辮道增七。



题目 2：视宁度与观测设计

材料：CNAO logo 中的辮道增七是仅需小口径望远镜就能分辨的双星。

问题：

1. 计算分辨辮道增七 A 与 B 所需望远镜的最小口径（波长取人眼最敏感的 550 nm）。
2. 若观测地点大气视宁度为 1 角秒，是否会影响分辨？如何改进？

答：

1. 最小口径：（ $1 \text{ rad} = 206265 \text{ arcsec}$, $1 \text{ arcsec} = 4.848 \times 10^{-6} \text{ rad}$ ）

$$\delta = 1.22\lambda/D \leq 35'' \rightarrow D \geq 1.22 \times 550 \times 10^{-9} / (35 \times 4.848 \times 10^{-6}) \approx 4 \text{ mm}$$

从计算结果可以看出，要分辨出辮道增七 A 和 B 的话，最小口径仅为 4mm 即可，而 4mm 和人眼瞳孔直径差不多，也就是说，肉眼亦可勉强分辨。但理论分辨率仅是观测的下限，实际上用 4mm 口径的望远镜是远远不够的，建议使用更大口径以提高观测清晰度。

2. 视宁度影响：1 角秒 < 35 角秒，不影响分辨，如若拍照，需长时间曝光方可抵消大气抖动。

题目 3：恒星光谱与演化

材料：辮道增七（Albireo, β Cyg）是由一颗 K2II 型巨星（琥珀色，3.1 等）和一颗 B8Ve 型主序星（蓝绿色，5.1 等）组成的双星系统。

问题：

1. 从光谱型判断，犂道增七 A 和 B 分别处于恒星演化的哪个阶段？简述其未来演化路径。
2. 为何两颗星的色差显著？结合恒星辐射理论解释。

答：

1. 犂道增七 A (K2II)：红巨星阶段，核心氢耗尽，未来将抛射行星状星云并形成白矮星。

犂道增七 B (B8Ve)：主序星阶段，核心氢持续聚变，未来将膨胀为红巨星。

2. 色差原因：K 型巨星表面温度低 (~4500K)，辐射峰值在红光；B 型主序星温度高 (~12000K)，峰值在蓝光。

题目 4：双星系统参数计算

材料：1976 年，使用散斑干涉 (Speckle Interferometry) 和基特峰国家天文台 (KPNO) 2.1 米望远镜，发现犂道增七 A 本身又是一对靠得非常近的联星——犂道增七 Aa 和犂道增七 Ac。主星是犂道增七 Aa，伴星是犂道增七 Ac。其中犂道增七 Aa 的视差约 8.98 毫角秒，犂道增七 Ac 的绕行周期约 365 年，轨道半长径约 0.4 角秒，倾斜角为 156.15° 。

问题：

1. 估算犂道增七 Aa 和犂道增七 Ac 这一对双星系统的质量，对计算结果进行分析，并讨论可能的误差来源。
2. 计算犂道增七 A 和犂道增七 B 的实际物理距离 (以 AU 为单位)。
3. 若犂道增七 A 和犂道增七 B 系统的总质量约为 $9M_\odot$ ，估算一下两星绕转周期约为多少年？并对结果进行简单分析。

答：

1. (1) 计算系统距离：

使用主星犂道增七 Aa 的视差计算距离： $d = 1/p = 1/(8.98 \text{ mas}) \approx 111.36 \text{ pc}$

- (2) 计算真实轨道半长轴：

已知，观测到的轨道半长径 $a_{\text{obs}} = 0.4''$ ，轨道倾角 $i = 156.15^\circ$ ，经过投影修正后的轨道半长径为：

$$a = (a_{\text{obs}} \times d) / \sin i, \text{ 而 } \sin(156.15^\circ) = \sin(180^\circ - 23.85^\circ) = \sin(23.85^\circ) \approx 0.4039$$

因此， $a = 0.4 \times 111.36 / 0.4039 \approx 110.3 \text{ AU}$

- (3) 质量估算：

根据开普勒第三定律： $M_A + M_B = a^3/P^2 = 110.3^3/365^2 \approx 10 M_\odot$

- (4) 结果分析

经查：辇道增七 Aa 质量约 $5.2M_{\odot}$ ，辇道增七 Ac 质量约 $2.7M_{\odot}$ ，算得的双星系统质量与观测特征在数量级上还是吻合的。

(5) 误差讨论

可能的误差来源：① 视差测量的误差；② 轨道参数的误差；③ 倾角测量的误差；④ 绕行周期测量的误差。

2. 计算辇道增七 A 和 B 的实际物理距离：

A、B 两星角距离： $35''$ ，第 1 问已经计算得系统距离为： 111.36 pc

物理距离 = $\theta \times d = 35'' \times 111.36 \text{ pc} \approx 3898 \text{ AU}$

3. 估算辇道增七 A 和 B 的绕转周期：

已知系统总质量 $M_A + M_B = 9 M_{\odot}$ ，由第 2 问算得 A 和 B 的物理距离 $a \approx 3900 \text{ AU}$

根据开普勒第三定律：

$$M_A + M_B = a^3/P^2 \quad \text{有：} 9 = 3900^3/P^2, \quad P \approx 81185 \text{ 年}$$

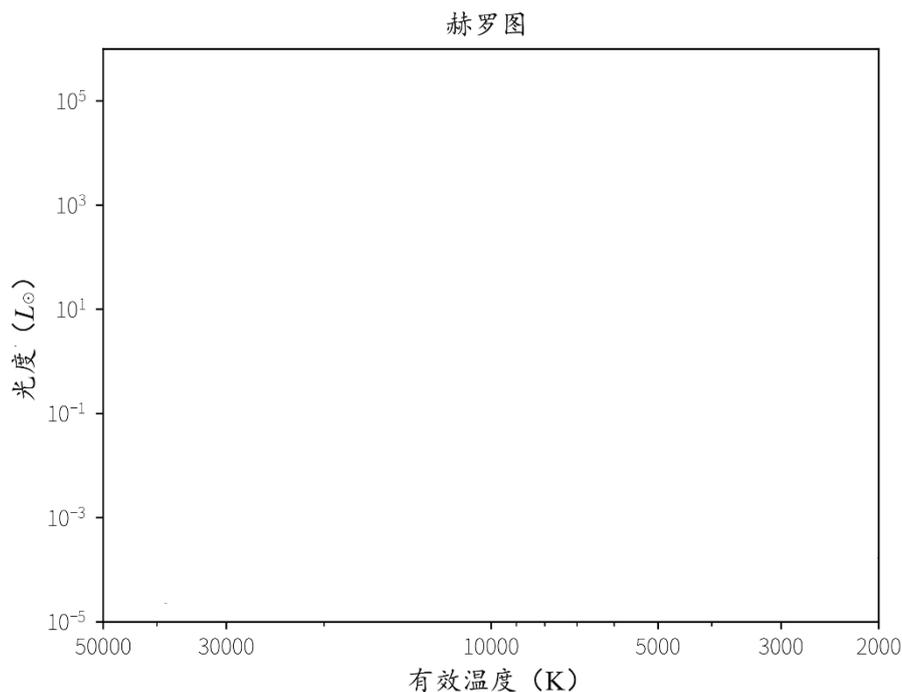
结果分析：由于两星距离极远（ 3900 AU ），绕转周期极长（数万年甚至十万年）。实际观测难以完整测量轨道，需依赖长期观测或动力学模拟。

题目 5：赫罗图与恒星分类

材料：CNAO logo 中的恒星包括天津四（A2Ia 超巨星）、天津一（F8Ib 巨星）、辇道增七（K2II+B8Ve）。

问题：

1. 在下面的赫罗图上画出主序带，标出巨星、红超巨星、蓝超巨星、白矮星和红矮星的大概位置，标出上述恒星在赫罗图上的大概位置，并说明其光度分类（I、II、V 等）的物理意义。
2. 比较天津四与辇道增七 A 的演化阶段差异。



答：

1. 赫罗图标注：

天津四：左上（高光度、高温）；

天津一：右上（高光度、中低温）；

辇道增七 A：红巨星支（中高光度、低温）。

光度分类：I（超巨星）、II（亮巨星）、V（主序星）。

2. 演化差异：天津四为短暂超巨星阶段，未来可能爆发为超新星；辇道增七 A 为稳定红巨星，最终形成白矮星。