

台灣大學天文物理研究所「恆星天文物理」

一百零一學年度資格考試題

天文及物理常數：

$$M_{\odot} = 1.989 \times 10^{33} \text{ g}$$

$$R_{\odot} = 6.9599 \times 10^{10} \text{ cm}$$

$$L_{\odot} = 3.90 \times 10^{33} \text{ erg/sec}$$

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-5} \text{ erg/cm}^2 \text{ sec K}^4$$

$$G = 6.67 \times 10^{-8} \text{ dyne} \cdot \text{cm}^2/\text{g}^2$$

$$c = 3 \times 10^{10} \text{ cm/sec}$$

$$m_p = 1.6726 \times 10^{-24} \text{ g}$$

$$m_n = 1.6749 \times 10^{-24} \text{ g}$$

$$m_e = 9.11 \times 10^{-28} \text{ g}$$

$$h = 6.6261 \times 10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{sec}$$

\*可使用計算機，在答案紙上按序回答，題目較多，不會的請按順序留空跳過。

1. 正常恆星的外型大約維持圓形，請問這是何種「平衡」造成？請寫出這個平衡的數學等式，並解釋等號兩邊的物理意義。(8分)
2. 在正常恆星的內部，總壓力  $P_{\text{total}}$  的來源主要有兩種，請寫出  $P_{\text{total}}$  的兩個成分，及其數學形式，不需嚴格推導，但請針對其數學形式及物理意義作簡單說明。(8分)
3. 假設太陽的輻射形式為黑體；(i) 請使用隨附的  $M_{\odot}$ 、 $R_{\odot}$ 、 $L_{\odot}$ ，計算太陽表面的等效溫度 ( $T_{\text{eff}}$ )；(ii) 請使用 Wien's displacement law，計算在這個溫度下，尖峰輻射 (peak emission) 的波長為何？(8分)
4. (i) 從光譜組成分析，超新星可分為幾種？請說明各種超新星的物理性質；(ii) 其中哪一種超新星可以用來做距離的測量？原因為何？(8分)
5. 不同質量和年齡的恆星，內部所進行的核融合反應主要有三種：p-p chain、CNO cycle，和  $3\alpha$  process。

- (i) 請分別解釋這三種核反應的物理過程，和參與反應的原料及生成物；
  - (ii) 核融合反應到哪一個元素時，自然發生的核融合會停止？原因為何？
  - (iii) 該元素之後更重的元素，產生的方式為何？
- (8 分)

6. 超新星遺骸通常發出強烈的同步輻射，以蟹狀星雲為例，整體光度約為  $L_{\odot} = 5 \times 10^{38} \text{ erg/sec}$ ，超過  $10^5 L_{\odot}$ 。這個能量的來源推測為星雲中心中子星的轉動動能，假設中子星為圓形，質量為  $M$ ，半徑為  $R$ ：

- (i) 請寫出此推測的數學推導過程；
  - (ii) 請以中子星（假設圓形）的轉動慣量為基礎，估計轉動動能的減弱是否足以提供觀測到的星雲能量。(周期  $P = 0.0333 \text{ sec}$ ， $dP/dt = 4.21 \times 10^{-13}$ )
- (15 分)

7. (i) 請畫出恆星的 H-R 圖，標出各軸座標、主星序、紅巨星、白矮星的位置，並畫出  $1 M_{\odot}$  的恆星，從原恆星形成主星序恆星，一直演化到末期的軌跡；(ii) 在此軌跡中，標出「林忠四郎軌跡」(Hayashi Track)、「氦閃」(Helium Flash) 的位置，以及「水平分支」(Horizontal Branch) 和「不穩定帶」(Instability Strip) 的區域，並解釋每個階段的物理意義；(iii) 畫出  $5 M_{\odot}$  的恆星，從原恆星形成主星序恆星，一直演化到末期的軌跡，並與  $1 M_{\odot}$  的恆星軌跡做比較。
- (15 分)

8. 從雲氣坍縮至原恆星 (protostar) 的過程中，free-fall 為主宰機制 ( $\rho_0 = 2 \times 10^{-16} \text{ g/cm}^3$ )；而由原恆星收縮為主星序恆星的過程中，Kelvin-Helmholtz contraction 較為重要；而在主星帶上，恆星的壽命則由核融合的能量和光度之間的關係來決定 (假設全為 H，且僅有核心 10% 參與作用，能量效率為 0.7%)；(i) 請導出這三個階段主要時間尺度的數學形式：①  $t_{\text{ff}}$ ；②  $t_{\text{KH}}$ ；③  $t_{\text{nuclear}}$ ；(ii) 以太陽而言，這三個時間尺度大約各是多少？
- (15 分)

9. (i) 請解釋「金斯質量」(Jeans mass) 的物理意義，並導出其數學形式 (以溫度  $T$  和雲氣密度  $\rho$  表示)；(ii) 請計算在瀰散氫原子雲 (Diffuse HI Clouds,  $T=50\text{K}$ ,  $n=500 \text{ cm}^{-3}$ ，假設皆為  $n_{\text{H}}$ ，並假設  $\mu=1$ ) 中，和巨大分子雲 (Giant Molecular Clouds,  $T=150\text{K}$ ,  $n=10^8 \text{ cm}^{-3}$ ) 的核心中，「金斯質量」各為多少？當雲氣逐漸收縮形成恆星時，請問 (iii) 何種因素決定了恆星的質量下限？這個質量下限大約是多少？(請做適當推導，並以太陽質量表示之。)
- (15 分)