

第3周 恒星与星系

一、选择题

(一) 恒星光谱与赫罗图

1. 以下不同光谱型的恒星表面温度最高的是 ()。【2014 预赛 28】

- (A) K型 (B) G型 (C) F型 (D) M型

【答案解析】C 恒星光谱型按温度从高到低排序为 O、B、A、F、G、K、M，因此选项中 F 型恒星表面温度最高。

2. 请问银河系中哪类光谱型的恒星数量占比最多？【2024 预赛 12】

- (A) G型 (B) F型 (C) K型 (D) M型

【答案解析】D M 型红矮星是银河系中数量最多的恒星类型，占银河系恒星总数的 70%以上。

3. 在赫罗图中，我们发现不同的光谱型对应不同的温度，请问哪个光谱型对应的温度最低？【2025 决赛 12】

- (A) M型 (B) T型 (C) G型 (D) K型

【答案解析】B 除了 O、B、A、F、G、K、M 外，还有温度更低的褐矮星的光谱型，按温度从高到低依次为 L、T、Y。

4. 下列哪项关于恒星的说法是错误的？【2024 预赛 01】

- (A) 恒星的寿命是无限的
(B) 恒星是能够自己发光发热的天体
(C) 恒星的内部会发生核聚变反应
(D) 恒星主要是由氢和氦组成的

【答案解析】A 恒星的寿命由其质量决定，质量越大寿命越短，即使是小质量红矮星，寿命也仅约万亿年，并非无限。

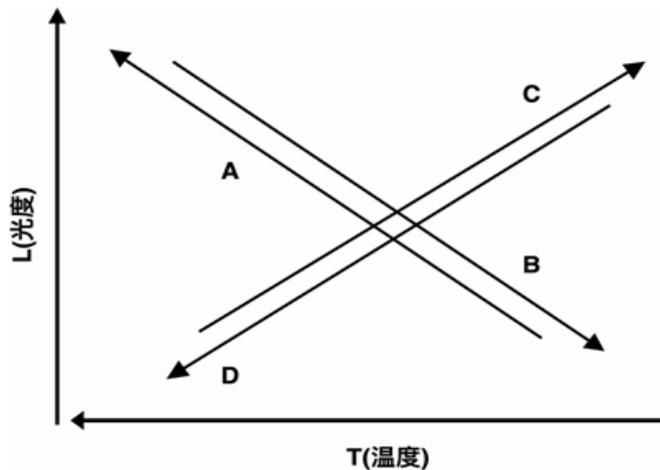
5. 我们知道木星是一颗气体行星，主要成分为氢和氦，与恒星的组成成分类似。氢核聚变使得恒星能够发光发热。那么，木星为什么不能成为一颗恒星呢？

【2025 预赛 14】

- (A) 体积不够大 (B) 质量不够大
(C) 氢的比例少 (D) 没有核反应催化剂

【答案解析】B 记住在宇宙中，质量为王 (bushi)。恒星氢核聚变的核心条件是核心温度和压力达到聚变阈值，这需要至少 0.08 倍太阳质量 (80 倍木星质量)，木星质量远未达到该下限，因此无法成为恒星。

6. “赫罗图”是天文学家最喜欢的图形之一，是研究恒星非常重要的工具。它是以恒星光谱型（或表面温度）为横坐标，以绝对星等（光度）为纵坐标作图。我们从赫罗图中可以获得很多恒星的信息，包括恒星的温度、光度、半径，分类和演化轨迹等。下图中，哪条线可以代表恒星半径在赫罗图上的分布规律（箭头方向代表越来越大）？【2023 预赛 35】



【答案解析】C 根据赫罗图的规律，恒星半径从左上到右下逐渐增大，即温度越低、光度越高的恒星半径越大，对应图中 B 线的分布规律。

7. 根据赫罗图上的信息判断，一般红超巨星、蓝超巨星和红巨星相比，半径更大的是 ()。【2020 预赛 26】
 (A) 红超巨星 (B) 蓝超巨星 (C) 红巨星 (D) 无法判断

【答案解析】A 红超巨星是宇宙中体积最大的恒星类型，半径可达太阳的上千倍，远大于蓝超巨星和红巨星。

8. 如果星团中包含的恒星在有效温度约 5500K 时脱离主序，那么星团的年龄最接近 ()。【2020 预赛 12】
 (A) 1000 万年 (B) 1 亿年 (C) 100 亿年 (D) 1000 亿年

【答案解析】C 5500K 对应 G 型恒星（与太阳同类型），其主序寿命约 100 亿年，因此该星团年龄接近 100 亿年。

9. 分子热运动会造成谱线的多普勒展宽。同样温度下，碳原子谱线的展宽是氢原子谱线的 ()。【2022 预赛 33】
 (A) 24 倍 (B) 1/12 (C) 1/3.5 (D) 12 倍

【答案解析】C 多普勒展宽与粒子质量的平方根成反比，碳原子质量数为 12，

氢原子为 1, 因此展宽比为 $1/\sqrt{12} \approx 1/3.5$ 。

10. 恒星的光度主要取决于其表面温度和半径。假设两颗恒星的质量相同, 恒星 A 的半径是恒星 B 的两倍, 而 A 的表面温度是 B 的一半。那么, 恒星 A 的光度是恒星 B 的多少倍? 【2025 预赛 19】

(A) 1/4 (B) 1/2 (C) 2 (D) 4

【答案解析】A 根据斯特藩-玻尔兹曼定律, 恒星光度 $L \propto R^2 T^4$, 代入 $R_A = 2R_B$ 、 $T_A = 0.5T_B$, 得 $L_A/L_B = (2^2) \times (0.5^4) = 4 \times 1/16 = 1/4$ 。

11. 在一个双星系统中, 主星与伴星的温度相差不多, 主星的光度约为伴星的 82 倍, 光度差异主要源于两颗星半径的差异。根据以上信息, 估算主星与伴星的半径之比约为 ()。【2020 预赛 28】

(A) 8.5 (B) 9.1 (C) 9.7 (D) 10.3

【答案解析】B 根据斯特藩-玻尔兹曼定律, 温度相同时, 光度与半径的平方成正比。

恒星核反应耗尽其内部燃料所需的时间叫核时标, 取决于恒星的质量和光度。已知太阳的核时标约为 2.5×10^{10} 年, 一颗主序星的质量是太阳的 10 倍, 光度是太阳的 300 倍, 其核时标约为 ()。【2020 预赛 29】

(A) 7.5×10^8 年 (B) 7.5×10^{10} 年
(C) 8.3×10^8 年 (D) 8.3×10^{10} 年

【答案解析】C 主序星核时标 $\tau \propto M/L$, 代入得 $\tau = 2.5 \times 10^{10} \times (10/300) \approx 8.3 \times 10^8$ 年。

12. 织女星是一颗位于主序带上的典型的 A0 型恒星, 其绝对星等约为 0.7 等, 在不考虑消光的前提下, 一颗视星等为 15 等的同类型恒星距离我们大约多远? 【2017 预赛 34】

(A) 500 秒差距 (B) 3000 秒差距
(C) 8000 秒差距 (D) 20000 秒差距

【答案解析】B 根据星等距离公式 $m - M = 5 \lg d - 5$, 代入 $m = 15$ 、 $M = 0.7$, 得 $14.3 = 5 \lg d - 5$, 计算得 $d \approx 3000$ 秒差距。

13. 太阳的表面温度约 6000 K, 其黑体辐射峰值位于可见光光谱。20 世纪 40 年代左右, 天文学家发现太阳也是一个强烈的 X 射线发射体。如今人们了解到,

这种辐射来自于太阳日冕层,那里的温度可达 10^6 K 数量级。假设日冕是一个黑体辐射体,其辐射峰值的波长是多少?【2023 USAAAO 第1轮 第4题】

- (A) 2.9 nm (B) 2.9 μm (C) 2.9 mm (D) 2.9 m (E) 2.9 km

【答案解析】A 维恩位移定律: $\lambda_{max}T = 2.9 \times 10^3 \text{ m K}$

(二) 恒星基础性质与星等计算

1. 以下恒星看上去最暗的是 ()。【2015 预赛 04】

- (A) 天狼星 (B) 织女星 (C) 大角星 (D) 北极星

【答案解析】D 四颗恒星视星等分别为: 天狼星-1.46 等、织女星 0.03 等、大角星-0.05 等、北极星 1.97 等, 视星等数值越大亮度越暗, 因此北极星最暗。

2. 大角星的视星等为 ()。【2019 预赛 02】

- (A) 2 等 (B) 1 等 (C) 0 等 (D) -1 等

【答案解析】C 大角星 (牧夫座 α) 的视星等约为-0.05 等, 接近 0 等, 是全天第四亮恒星。

3. 到目前为止, 在距离我们太阳系 10pc 的范围之内, 天文观测已经证实存在的数目最多的是以下哪类恒星 ()。【2019 预赛 21】

- (A) O 型 (B) G 型 (C) M 型 (D) 褐矮星

【答案解析】C M 型红矮星是银河系中数量最多的恒星类型, 在太阳周边 10pc 范围内, M 型恒星占比超过 70%。

4. 以下恒星目视最暗的是 ()。【2022 预赛 03】

- (A) 造父一 (B) 天关 (C) 犖道增七 (D) 大陵五

【答案解析】A 四颗恒星视星等分别为: 造父一 3.48 等、天关 2.85 等、犖道增七 2.90 等、大陵五 2.14 等, 造父一最暗。

5. 以下恒星中目视从亮到暗排序正确的是 ()。【2022 预赛 18】

- (A) 老人星>参宿七>南门二>轩辕十四>河鼓二
(B) 天狼星>南门二>角宿一>河鼓二>水委一
(C) 天狼星>老人星>织女>水委一>轩辕十四
(D) 天狼星>织女>水委一>轩辕十四>心宿二

【答案解析】C 全天亮星视星等排序: 天狼星-1.46 等、老人星-0.72 等、织女星 0.03 等、水委一 0.46 等、轩辕十四 1.35 等, 该选项排序正确。(可以

记住轩辕十四是 21 亮星当中最暗的一颗)

6. 北极星 (小熊座 α) 的目视亮度在全天恒星中排 ()。【2023 预赛 09】

(A) 第 1 名 (B) 第 5 名 (C) 第 20 名左右 (D) 第 50 名左右

【答案解析】D 北极星视星等约 1.97 等, 在全天亮星中排名约 50 名左右。

7. 天狼星是一个双星系统, 由一颗主序星天狼星 A 和一颗白矮星天狼星 B 组成, 其中后者是人类最早发现的白矮星之一, 其光度在整个天狼星系统中仅占万分之一。已知天狼星的视星等约为-1.5 等, 距离地球 8.6 光年, 估算天狼星 B 的绝对星等为 ()。【2025 预赛 13】

(A) 11.5 等 (B) 8.5 等 (C) 5.5 等 (D) 1.5 等

【答案解析】A 由于两颗子星的亮度相差极其悬殊, 可以近似认为天狼星 A 的视星等即为系统总的视星等——-1.5 等。天狼星 B 的视亮度为其万分之一, 由 100 倍差 5 等可得天狼星 B 的视星等为 8.5 等。再代入星等距离公式 $m - M = 5 \lg d - 5$, 可以计算出天狼星 B 的绝对星等约为 11.5 等。(另有一种适用于预赛的简易估算办法: 绝对星等等于天体在 10 秒差距远处的视星等, 由于 8.6 光年显然小于 10 秒差距, 可得天狼星 B 的绝对星等应该暗于其视星等 8.5 等。)

8. 天空中天狼星以外的 20 颗最亮恒星的总视亮度大约是天狼星的 () 倍。

【2024 预赛 10】

(A) 3.5 (B) 0.25 (C) 9.7 (D) 11.3

【答案解析】A 最亮结果: 5 颗-1 等星 10 颗 0 等星 5 颗 1 等星, 加起来亮度大约是 9 倍-1 等星亮度, 肯定达不到 6 倍-1.5 等星亮度, 如果每颗星的星等 +1, 则为 2 倍-1.5 等星亮度, 肯定没 0.25 那么小, 最接近的答案就是 A

9. 在刘慈欣的知名科幻小说《三体》中, 我们的邻居比邻星上存在着比地球文明更高级的 三体文明。三体人由于生存环境恶劣, 准备向地球迁移。假设三体舰队从比邻星出发, 一直以 $1/10$ 光速的速度向地球航行, 走了比邻星到地球距离的 $9/10$ 后, 由于故障原地暂停。此时他们看到的太阳亮度 ()。

【2023 预赛 29】

(A) 变亮 1 个星等 (B) 变亮 5 个星等
(C) 变亮 10 个星等 (D) 变亮 100 个星等

【答案解析】B 视亮度与距离的平方成反比, 所以此时三体舰队和太阳的距离是原本的 $1/10$, 太阳的视亮度就是 100 倍。星等每差 1 等亮度差 2.512 倍, 5 等就是 100 倍。

(三) 恒星演化

1. 下列恒星核聚变反应可以形成的元素中, 最重的是 ()。【2019 预赛 22】
(A) Si (B) Ca (C) Fe (D) Au

【答案解析】C 恒星内部核聚变只能合成到铁元素 (原子序数 26), 铁之后的重元素需要通过超新星爆发、中子星并合等剧烈天体过程合成。

2. M15 中所包含的恒星最可能是 () 的恒星。【2020 预赛 14】
(A) 低金属丰度且年轻 (B) 低金属丰度且年老
(C) 高金属丰度且年轻 (D) 高金属丰度且年老

【答案解析】B M15 是银河系中的球状星团, 由大量年老、低金属丰度的恒星组成, 是银河系中最古老的天体之一。恒星年龄与金属丰度成负相关。

3. 双星之间存在物质交流或出现引力变形的双星叫做 ()。【2014 预赛 18】
(A) 密近双星 (B) 分光双星 (C) 食双星 (D) 目视双星

【答案解析】A 密近双星的两颗子星距离极近, 会发生引力变形、物质交流, 是激变变星、新星等现象的起源。

4. 在双星分类中, 可以根据观测现象和物理过程 (即两颗子星是否充满洛希瓣) 将双星分为不同类型的双星系统, 请问下面哪个类型不属于按照物理过程的分类? 【2024 预赛 32】
(A) 相接双星 (B) 掩食双星 (C) 半相接双星 (D) 分离双星

【答案解析】B 按洛希瓣填充情况, 双星可分为分离双星、半相接双星、相接双星; 掩食双星是按观测现象分类, 与物理过程无关。

5. 目前认为, 射电星系、类星体、塞弗特星系和相对论性喷流这些天体或现象都是由于以下哪种天体引起的? 【2024 预赛 26】
(A) 脉冲星 (B) 黑洞 (C) 磁星 (D) 球状星团

【答案解析】B 活动星系核 (射电星系、类星体、塞弗特星系) 的核心能源, 是星系中心超大质量黑洞的吸积过程, 吸积盘会产生相对论性喷流。

6. 黄金是一种化学性质非常稳定的贵金属, 金元素的原子序数为 79, 恒星中的核聚变反应不能合成金, 只能通过更剧烈的天体过程合成。现在科学家认为, 金元素主要是通过以下哪种过程产生的? 【2025 预赛 17】
(A) 超新星爆发 (B) 中子星并合 (C) 潮汐瓦解事件 (D) 宇宙大爆炸

【答案解析】B 金等重元素主要通过快中子俘获过程 (r-过程) 合成, 双中子星并合是 r-过程最主要的发生场所, 是宇宙中金元素的主要来源。

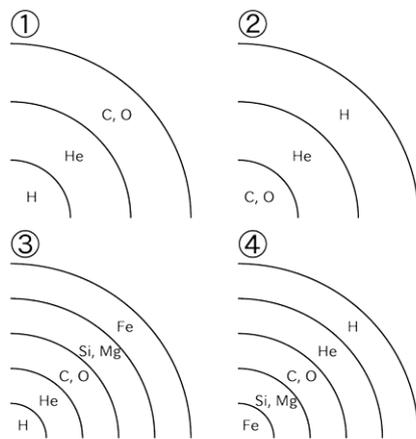
7. 在 2021 年的美国电影《不要抬头》中, 主人公研究已耗尽气体的宁静星系中

超新星时发现了一颗要撞击地球的彗星。考虑各种类型超新星的前身星，在这类星系中最常发现的超新星是 ()。【2022 预赛 35】

- (A) II 型超新星 (B) Ia 型超新星 (C) Ib 型超新星 (D) Ic 型超新星

【答案解析】B 耗尽气体的宁静星系中，大质量恒星已全部演化结束，因此核心坍缩型超新星 (II、Ib、Ic 型) 极少；Ia 型超新星的前身星是白矮星，在各类星系中均能频繁发生。

8. 请在下列选项中，选出最能正确表示一颗在作为主序星诞生时质量为 1 个太阳质量的恒星，在即将形成行星状星云之前的内部结构的示意图。【JAO 2023 预选-28】



- (A) ① (B) ② (C) ③ (D) ④

【答案解析】B 质量小于约 2.3 倍太阳质量的恒星，在即将形成行星状星云之前，其核心已停止核聚变反应，仅剩由先前氦燃烧产生的碳和氧组成的简并核心。核心在引力作用下继续收缩并释放引力能，从而维持邻近区域的氦壳层燃烧以及更外层的氢壳层燃烧。而选项中只有图二符合，故选 B。

(四) 银河系与河外星系

1. 星系天文学的创始人是 ()。【2013 预赛 05】

- (A) 赫歇尔 (B) 牛顿 (C) 哈勃 (D) 霍金

【答案解析】C 埃德温·哈勃是星系天文学的创始人，他首次证实了河外星系的存在，提出了哈勃定律，建立了星系的哈勃音叉分类法。

2. 室女星系团中心附近的超巨椭圆星系是 ()。【2014 预赛 06】

- (A) M67 (B) M81 (C) M86 (D) M87

【答案解析】D M87 是室女星系团中心的超巨椭圆星系，拥有超大质量黑洞

和相对论性喷流，是距离地球最近的巨椭圆星系。

3. 以下星系到银河系中心的实际距离最近的是 ()。【2014 预赛 13】

- (A) 大麦哲伦星系 (B) 小麦哲伦星系
(C) 大犬座矮星系 (D) 人马座矮星系

【答案解析】D 人马座矮椭圆星系是距离银河系中心最近的卫星星系，距离约 7 万光年，比大犬座矮星系更近。

4. 太阳位于银河系中的哪个组成部分里？【2018 预赛 23】

- (A) 银心 (B) 核球 (C) 银盘 (D) 银晕

【答案解析】C 太阳位于银河系的银盘上，距离银心约 2.6 万光年，处于猎户臂的本地泡中。

5. 以下梅西叶天体中，距离我们最远的是 ()。【2015 预赛 10】

- (A) M18 (B) M33 (C) M87 (D) M110

【答案解析】C M87 位于室女星系团，距离地球约 5500 万光年，是选项中距离最远的天体；其余均为银河系内或本星系群的天体。

6. 下列梅西叶天体中距离我们最远的是 ()。【2016 预赛 23】

- (A) M31 (B) M42 (C) M81 (D) M92

【答案解析】C M81 位于大熊座，距离地球约 1200 万光年；M31 距离 254 万光年，M42 和 M92 均为银河系内天体，因此 M81 最远。

7. 110 个梅西叶天体中，半数以上是 ()。【2017 预赛 15】

- (A) 星云 (B) 星团 (C) 星系 (D) 超新星遗迹

【答案解析】B 110 个梅西叶天体中，包含 56 个星团 (40 个疏散星团、16 个球状星团)，占比超过半数。

8. 以下梅西叶天体中与银河系最相似的是 ()。【2018 预赛 08】

- (A) M31 (B) M32 (C) M82 (D) M87

【答案解析】A M31 (仙女座大星系) 是与银河系同类型的旋涡星系，质量、结构与银河系高度相似，是本星系群最大的两个星系。

9. 仙女星系 M31 未来会与银河系合为一体，预计汇合的时间约为 ()。【2019 预赛 19】

- (A) 400 万年 (B) 4000 万年 (C) 40 亿年 (D) 400 亿年

【答案解析】C 仙女座星系正以约 110km/s 的速度向银河系靠近，预计约 40 亿年后与银河系发生碰撞并合，最终合并为一个椭圆星系。当然，考虑到本星系群内还有一大堆其他星系，这两星系未来相撞的概率并非 100%。

10. 以下关于银河系的说法正确的是？【2019 预赛 27】

- (A) 银心黑洞的质量约为 40 万个太阳质量。
- (B) 天文学家通过对恒星的观测发现银河系外盘有惊人的翘曲结构。
- (C) 太阳位于银河系的英仙臂上。
- (D) 银心位于半人马座方向。

【答案解析】B 银河系的外盘存在显著的翘曲结构，已被大量观测证实；其余选项错误：银心黑洞质量约 400 万倍太阳质量，太阳位于猎户臂，银心位于人马座方向。

11. 以下哪个梅西叶天体不属于室女星系团？【2023 预赛 17】

- (A) M60 (B) M84 (C) M87 (D) M101

【答案解析】D M101 (风车星系) 位于大熊座，属于本星系群，不属于室女星系团；M60、M84、M87 均为室女星系团的核心成员星系。

12. 以下不属于 M87 的描述为 ()。【2024 预赛 20】

- (A) 是伽马射线源
- (B) 中心超大质量黑洞图像拍摄于 2017 年
- (C) 没有星系盘
- (D) 室女星系团中最亮的星系

【答案解析】C M87 是超巨椭圆星系，拥有微弱的星系盘结构，并非没有星系盘；其余描述均正确。

13. 以下不同类型星系中，普遍来说孕育新恒星速率最低的是 ()。【2024 预赛 29】

- (A) 椭圆星系 (B) 棒旋星系 (C) 旋涡星系 (D) 透镜星系

【答案解析】A 椭圆星系的气体和尘埃含量极低，几乎没有新恒星形成，是各类星系中恒星形成率最低的类型；旋涡星系、棒旋星系拥有大量气体，恒星形成活跃。

14. 以下梅西叶天体分类正确的是 ()。【2022 预赛 16】

- (A) M31、M33、M81、M100、M101 都是旋涡星系
- (B) M3、M7、M13、M30、M35 都是球状星团
- (C) M1、M8、M20、M28、M78 都是发射星云
- (D) M27、M57、M76、M97、M108 都是行星状星云

【答案解析】A 选项中五个天体均为旋涡星系，分类正确；B 选项中 M7、M35 是疏散星团；C 选项中 M28 是球状星团；D 选项中 M108 是旋涡星系。

15. 以下梅西叶天体中距离我们最远的是 ()。【2012 预赛 28】

- (A) M1 (B) M33 (C) M42 (D) M45

【答案解析】 B M33 (三角座星系) 位于本星系群, 距离约 300 万光年; 其余均为银河系内天体, M1 约 6500 光年, M42 约 1350 光年, M45 约 410 光年。

16. 早在公元 130 年, 古希腊天文学家托勒密就用肉眼观测到了疏散星团 (), 因此它也被称作托勒密星团。【2015 预赛 35】

- (A) M7 (B) M11 (C) M35 (D) M44

【答案解析】 A M7 (托勒密星团) 是天蝎座的疏散星团, 早在公元 130 年就被托勒密记录, 是肉眼可见的明亮疏散星团。

17. 构成发射星云的主要元素是 ()。【2015 预赛 31】

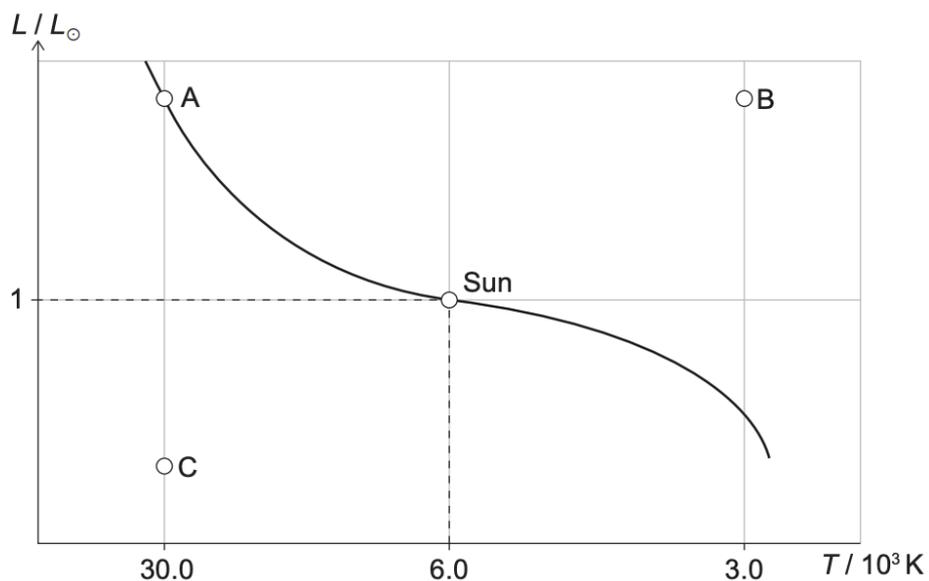
- (A) H、C (B) H、N (C) H、O (D) H、He

【答案解析】 D 发射星云的主要成分是氢和氦, 其中氢原子受高温恒星的紫外辐射电离, 产生发射线, 是星云发光的主要原因。

二、计算题

【2025 年 5 月 IB 物理 HL Paper 3 第 16 题】

下图是一张不完整的赫罗图, 其中展示了太阳 (Sun) 和恒星 A、B、C 的位置。



M_{\odot} , L_{\odot} 和 R_{\odot} 分别为太阳的质量, 光度和半径。

- (a) 恒星 A 的质量是 $52M_{\odot}$ 。证明: 恒星 A 的光度大约为 $10^6 L_{\odot}$ 。
- (b) 求恒星 B 的半径, 以 R_{\odot} 为单位。
- (c) 描述恒星 A 在主序星阶段之后会经历的主要演化阶段。
- (d) 恒星 C 的光度是 $2.4 \times 10^{23} \text{ W}$, 视亮度是 $4.1 \times 10^{-14} \text{ W m}^{-2}$ 。求恒星 C 与我们的距离, 单位: pc。
- (e) 恒星 C 的距离可否通过视差测得? 解释原因。

【答案解析】

(a)

$$L = L_{\square} \times 52^{3.5} = 1.01 \times 10^6 L_{\square}$$

(b)

$$L_B = L_A = 10^6 L_{\text{sun}} \quad \checkmark$$

$$\frac{L_B}{L_{\square}} = \left(\frac{4\pi R_B^2}{4\pi R_{\square}^2} \right) \left(\frac{3.0}{6.0} \right)^4 \quad \text{OR} \quad 1.0 \times 10^6 = \left(\frac{R_B}{R_{\square}} \right)^2 \frac{1}{16} \quad \checkmark$$

$$\frac{R_B}{R_{\square}} = \sqrt{1.0 \times 10^6 \times 16} = 4 \times 10^3 \quad \checkmark$$

(c) 恒星 A 为大质量恒星, 会变为红超巨星, 发生超新星爆发, 核心坍缩为中子星或黑洞。

(d)

$$d = \sqrt{\frac{L}{4\pi b}} \quad \checkmark$$

$$d = \sqrt{\frac{2.4 \times 10^{23}}{4\pi \times 4.1 \times 10^{-14}}} \ll \frac{6.8 \times 10^{17}}{3.09 \times 10^{16}} \gg \approx 22 \text{ pc} \quad \checkmark$$

(e) 可以测得, 因为恒星 C 的距离较近 (远小于 1000pc)。

【2021 年美国天文奥赛】

题目: 一颗恒星的光度为 $5.86 \times 10^{26} \text{ W}$, 半径为 $8.51 \times 10^8 \text{ m}$ 。请问这颗恒星的光谱类型是什么?

【答案解析】 K型

1. 利用斯特藩-玻尔兹曼定律 $L = 4\pi R^2\sigma T^4$ 计算有效温度，其中斯特藩常数 $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ 。

2. 计算表面积： $4\pi R^2 = 4\pi \times (8.51 \times 10^8)^2 \approx 9.10 \times 10^{18} \text{ m}^2$ 。

3. 得 $T^4 = \frac{L}{4\pi R^2\sigma} = \frac{5.86 \times 10^{26}}{9.10 \times 10^{18} \times 5.67 \times 10^{-8}} \approx 1.136 \times 10^{15} \text{ K}^4$ 。

4. 开四次方： $T \approx (1.136 \times 10^{15})^{1/4} \approx 5800 \text{ K}$ （更精确计算约为5250 K）。

5. 对照光谱分类：

- O型：>30000 K
- B型：10000–30000 K
- A型：7500–10000 K
- F型：6000–7500 K
- G型：5200–6000 K
- K型：3700–5200 K
- M型：<3700 K

计算温度约 5250 K，落在 K 型范围。

【2018 年全国天文奥赛】

题目： 已知一颗恒星的光度是太阳的4倍，从地球上探测到这颗恒星的流量密度为 $3.05 \times 10^{-14} \text{ W/m}^2$ ，则这颗恒星到地球的距离约为多少？

答案： $6 \times 10^{19} \text{ m}$

简化过程：

• 太阳光度 $L_{\odot} = 3.828 \times 10^{26} \text{ W}$ ，则恒星光度 $L = 4L_{\odot} = 1.531 \times 10^{27} \text{ W}$ 。

• 流量公式 $F = \frac{L}{4\pi d^2}$ 变形得 $d = \sqrt{\frac{L}{4\pi F}}$ 。

• 代入数值：

$$d = \sqrt{\frac{1.531 \times 10^{27}}{4\pi \times 3.05 \times 10^{-14}}}$$

• 计算分母 $4\pi \times 3.05 \times 10^{-14} \approx 3.833 \times 10^{-13}$ 。

• 计算比值 $\frac{1.531 \times 10^{27}}{3.833 \times 10^{-13}} \approx 3.995 \times 10^{39}$ 。

• 开平方得 $d \approx \sqrt{3.995 \times 10^{39}} \approx 6.32 \times 10^{19} \text{ m}$ 。

【2023 决赛 07】

《流浪地球 2》的上映为观众带来了一场科幻盛宴，获得票房和口碑的双丰收，也使得

“洛希极限”“太阳氦闪”等科学名词为大家所熟知。事实上，理论推测认为，太阳氦闪发生于太阳演变为红巨星之后，随着红巨星核心收缩，核心温度可高达 10^8K ，导致核心简并态的氦点燃结合成碳。它是一个非常短暂的失控热核聚变过程。而目前，我们的太阳处于主序星阶段，其核心主要发生两类氢核聚变反应：pp 反应链和 CNO 循环。这两种反应的最终结果都是 4 个氢核合成 1 个氦核，并释放能量。正是由于上述两种过程使得太阳源源不断地辐射着能量，让我们在地球上感受到光明和温暖。

(1) 根据太阳常数计算太阳单位时间内辐射的总能量，即太阳光度 L_{\odot} 。

(2) 计算太阳有效温度 T_{eff} 。

(3) 图 1 为 1 个太阳质量恒星在赫罗图上的演化轨迹，其中横坐标为恒星的有效温度（单位为 K），纵坐标为恒星光度（单位为 L_{\odot} ）。结合图 1 简述太阳的一生都有哪些演化阶段？并谈一谈太阳由主序星演化至红巨星，其有效温度、光度、体积如何变化？

(4) 假如太阳演化到红巨星阶段并发生氦闪（图 1 红色圆点所示位置），此刻我们的地球会被太阳吞没吗？

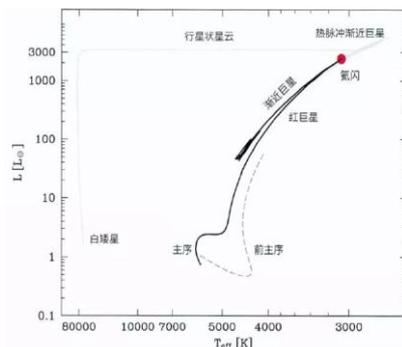


图1 1个太阳质量恒星在赫罗图上的演化轨迹。

解：(1) 已知日地平均距离和太阳常数，可得太阳单位时间内辐射的总能量： $L_{\odot} = 4\pi R^2 A = 3.844 \times 10^{26} \text{J/s}$

(2) 依据斯特藩 - 玻尔兹曼定律，太阳光度： $L_{\odot} = 4\pi r_{\odot}^2 \sigma T_{\text{eff}\odot}^4$ ，因此有效温度： $T_{\text{eff}\odot} = \sqrt[4]{L_{\odot}/(4\pi r_{\odot}^2 \sigma)} \approx 5777\text{K}$ 。

(3) 根据 1 个太阳质量恒星在赫罗图上的演化轨迹，可知太阳一生经过的主要阶段有：前主序星-主序星-红巨星-行星状星云-白矮星。依据图 1 可知，太阳由主序星演化至红巨星，其有效温度减小，而光度增大。依据斯特藩-玻尔兹曼定律，可以得到演化为红巨星的太阳相较于主序星阶段拥有更大的体积。

(4) 发生氦闪时，太阳的有效温度 $T_{\text{eff}} = 3100\text{K}$ （读图估算范围 $3000 - 3200\text{K}$ ），光度 $L = 2400L_{\odot}$ （读图估算范围 $2000L_{\odot} - 3000L_{\odot}$ ）。因此： $\frac{4\pi r_{\odot}^2 \sigma T_{\text{eff}\odot}^4}{4\pi r^2 \sigma T_{\text{eff}}^4} = \frac{L_{\odot}}{2400L_{\odot}}$ 半径： $r = \frac{\sqrt{2400} L_{\odot} T_{\text{eff}\odot}^2}{T_{\text{eff}}^2} = 1.1884 \times 10^{11} \text{m} = 0.79\text{au}$ （半径范围 $0.678\text{au} - 0.945\text{au}$ ）。由于 $r < 1\text{au}$ ，所以忽略太阳大气层对地球的影响，此时我们的地球尚未被太阳吞没。

三、附录

梅西叶星表——可重点记忆有专门名称的天体。摘自百度百科。

编号	NGC	赤经	赤纬	视大小 V'	视星	星座	类型	距地距
----	-----	----	----	----------	----	----	----	-----

		(2000)	(2000)		等		或名 称	离 (光 年)
M 1	1952	05 34.5	+22 01	6×4'	8.4	金牛座	蟹状 星云	7200
M 2	7089	21 33.5	- 00 49	13	6.5	宝瓶座	球状 星团	36900
M 3	5272	13 42.5	+28 23	16	6.4	猎犬座	球状 星团	32200
M 4	6121	16 23.6	- 26 32	26	5.9	天蝎座	球状 星团	7100
M 5	5904	15 18.6	+02 05	17	5.6	巨蛇座	球状 星团	25000
M 6	6405	17 40.1	- 32 13	25	5.3	天蝎座	疏散 星团	1900
M 7	6475	17 53.9	- 34 49	80	4.1	天蝎座	疏散 星团	800
M 8	6523	18 03.8	- 24 23	90×40	6.0	人马座	礁湖	3900

							星云	
M 9	6333	17 19.2	- 18 31	9	7.7	蛇夫座	球状 星团	26000
M 10	6254	16 57.1	- 04 06	15	6.6	蛇夫座	球状 星团	14700
M 11	6705	18 51.1	- 06 16	14	6.3	盾牌座	疏散 星团	5540
M 12	6218	16 47.2	- 01 57	15	6.7	蛇夫座	球状 星团	18200
M 13	6205	16 41.7	+36 28	17	5.8	武仙座	球状 星团	23500
M 14	6402	17 37.6	- 03 15	12	7.6	蛇夫座	球状 星团	35100
M 15	7078	21 30.0	+12 10	12	6.2	飞马座	球状 星团	31100
M 16	6611	18 18.8	- 13 47	7	6.4	巨蛇座	老鹰 星云	5490

M 17	6618	18 20.8	- 16 11	11	7.0	人马座	ω星 云	4200
M 18	6613	18 19.9	- 17 08	9	7.5	人马座	疏散 星团	6300
M 19	6273	17 02.6	- 26 16	14	6.8	蛇夫座	球状 星团	22000
M 20	6514	18 02.3	- 23 02	28	9.0	人马座	三叶 星云	5600
M 21	6531	18 04.6	- 22 30	13	6.5	人马座	疏散 星团	4350
M 22	6656	18 36.4	- 23 54	24	5.1	人马座	球状 星团	10300
M 23	6494	17 56.8	- 19 01	27	6.9	人马座	疏散 星团	4500
M 24	6603	18 18.4	- 18 25	90	4.6	人马座	疏散 星团	16000
M	4725	18 31.6	- 19 15	40	6.5	人马座	疏散	2000

25							星团	
M 26	6694	18 45.2	- 09 24	15	8.0	盾牌座	疏散 星团	4900
M 27	6853	19 59.6	+22 43	8×6	7.4	狐狸座	哑铃 星云	820
M 28	6626	18 24.5	- 24 52	11	6.8	人马座	球状 星团	15000
M 29	6913	20 23.9	+38 32	7	7.1	天鹅座	疏散 星团	3000
M 30	7099	21 40.4	- 23 11	11	7.2	摩羯座	球状 星团	41000
M 31	224	00 42.7	+41 16	178×63'	3.4	仙女座	仙女 座星 系	230000 0
M 32	221	00 42.7	+40 52	8×6	8.1	仙女座	椭圆 星系	230000 0
M	598	01 33.9	+30 39	73×45	5.7	三角座	漩涡	250000

33							星系	0
M 34	1039	02 42.0	+42 47	35	5.5	英仙座	疏散 星团	1390
M 35	2168	06 08.9	+24 20	28	5.3	双子座	疏散 星团	2600
M 36	1960	05 36.1	+34 08`	12	6.3	御夫座	疏散 星团	4110
M 37	2099	05 52.4	- 32 33	24	6.2	御夫座	疏散 星团	4170
M 38	1912	05 28.7	+35 50	21	7.4	御夫座	疏散 星团	4610
M 39	7092	21 32.2	+48 26	32	5.2	天鹅座	疏散 星团	864
M 40	-	12 22.4	+58 05	/	8.4	大熊座	光学 双星	/
M 41	2287	06 47.0	- 20 44	38	4.6	大犬座	疏散 星团	2500

M 42	1976	05 35.4	- 05 27`	85×60	4.0	猎户座	猎户座大星云	1500
M 43	1982	05 35.6	- 05 16	20×15	9.0	猎户座	弥漫星云	1500
M 44	2632	08 40.1	+19 59	95	3.7	巨蟹座	鬼星团	520
M 45	-	03 47.0	+24 07	110	1.6	金牛座	昴星团	410
M 46	2437	07 41.8	- 14 49	27	6.0	船尾座	疏散星团	6000
M 47	2422	07 36.6	- 14 30	30	5.2	船尾座	疏散星团	1800
M 48	2548	08 13.8	- 05 48	54	5.5	长蛇座	疏散星团	1500
M 49	4472	12 29.8	+08 00	9×7	8.4	室女座	椭圆星系	5900

M 50	2323	07 03.2	+08 20	16	6.3	麒麟座	疏散 星团	2600
M 51	5194	13 29.9	+47 12	11×7	8.4	猎犬座	漩涡 星系	2100
M 52	7654	23 24.2	+61 35`	13	7.3	仙后座	疏散 星团	3800
M 53	5024	13 12.9	+18 10	13	7.6	后发座	球状 星团	56400
M 54	6715	18 55.1	- 30 29	9	7.6	人马座	球状 星团	49000
M 55	6809	19 40.0	- 30 58	19	6.3	人马座	球状 星团	19000
M 56	6779	19 16.6	+30 11	7	8.3	天琴座	球状 星团	33000
M 57	6720	18 53.6	+33 02	1.4×1.0	8.8	天琴座	环状 星云	2300
M	4579	12 37.7	+11 49	5×4	9.7	室女座	漩涡	410000

58							星系	00
M 59	4621	12 42.0	+11 39	5×3	9.6	室女座	椭圆 星系	410000 00
M 60	4649	12 43.7	+11 33	7×6	8.8	室女座	椭圆 星系	590000 00
M 61	4303	12 21.9	+4 28	6×6	9.7	室女座	漩涡 星	410000 00
M 62	6266	17 01.2	+30 07	14	6.5	蛇夫座	球状 星团	20600
M 63	5055	13 15.8	+43 33	10×6	8.6	猎犬座	漩涡 星系	240000 00
M 64	4826	12 56.7	+21 41	9×5	8.5	后发座	睡美 人 (黑 眼) 星系	150000 00
M	3623	11 18.9	+13 06	8×2	9.3	狮子座	漩涡	270000

65							星系	00
M 66	3627	11 20.2	+12 59	8×2.5	8.9	狮子座	漩涡 星系	270000 00
M 67	2682	08 51.3	+11 48	17	6.1	巨蟹座	疏散 星团	2710
M 68	4590	12 39.5	-26 45	10	7.8	长蛇座	球状 星团	31400
M 69	6637	18 31.4	-32 21	3	7.6	人马座	球状 星团	24000
M 70	6681	18 43.2	-32 17	3	7.9	人马座	球状 星团	65000
M 71	6838	19 53.8	+18 47	7.2	8.2	天箭座	球状 星团	13300
M 72	6981	20 53.5	-12 32	6.6	9.3	宝瓶座	球状 星团	59000
M 73	6994	20 59.8	-12 38	2.8	9.0	宝瓶座	疏散 星团	/

M 74	628	01 36.7	+15 47	10.2 ×9.5	9.4	双鱼座	旋涡 星系	370000 00
M 75	6864	20 06.1	-21 55	6.8	8.5	人马座	球状 星团	78000
M 76	651	01 42.4	+53 34	2.6×1.5	10.1	英仙座	行星 状星 云	8000
M 77	1068	02 42.7	-00 01	7×6	8.9	鲸鱼座	塞佛 特 (棒 旋) 星系	470000 00
M 78	2068	05 46.7	+00 04	8×6	8.3	猎户座	反射 星团	1600
M 79	1904	05 24.2	+24 31	4	7.7	天兔座	球状 星团	43000
M	6093	16 17.1	+22 59	4	7.3	天蝎座	球状	37000

80							星团	
M 81	3031	09 55.8	+60 04	26×14	6.9	大熊座	旋涡 星云	140000 00
M 82	3034	09 56.2	+69 24	11×5	8.4	大熊座	不规 则星 系	140000 00
M 83	5236	13 37.7	-29 32	11×10	7.6	长蛇座	棒旋 星系	160000 00
M 84	4374	12 25.1	+12 53	5×5	9.1	室女座	椭圆 星系	410000 00
M 85	4382	12 25.4	+18 11	7×4	9.1	后发座	椭圆 星系	410000 00
M 86	4406	12 26.2	+12 57	8×7	8.9	室女座	椭圆 星系	200000 00
M 87	4486	12 30.8	+12 23	7×7	8.6	室女座	椭圆 星系	590000 00
M	4501	12 32.0	+14 25	8×4	9.6	后发座	旋涡	410000

88							星系	00
M 89	4552	12 35.7	+12 33	2×2	9.8	室女座	椭圆 星系	410000 00
M 90	4569	12 36.8	+13 10	8×2	9.5	室女座	旋涡 星系	410000 00
M 91	4584	12 35.4	+14 30	3×2	10.2	后发座	棒旋 星系	410000 00
M 92	6341	17 17.1	+43 08	12	6.4	武仙座	球状 星团	25500
M 93	2447	07 44.6	-23 53	25	6.0	船尾座	疏散 星团	3600
M 94	4736	12 50.9	+41 07	11×9	8.2	猎犬座	旋涡 星系	160000 00
M 95	3351	10 44.0	+11 42	6×6	9.7	狮子座	棒旋 星系	290000 00
M 96	3368	10 46.8	+11 49	7×4	9.2	狮子座	旋涡 星系	290000 00

M 97	3587	11 14.9	+55 01	3.4×3.3	9.9	大熊座	夜泉 星云	1800
M 98	4192	12 13.8	+14 54	10×3	10.1	后发座	旋涡 星系	360000 00
M 99	4254	12 18.8	+14 25	5×5	9.9	后发座	旋涡 星系	410000 00
M 100	4321	12 22.9	+15 49	7×6	9.3	后发座	旋涡 星系	410000 00
M 101	5457	14 03.2	+54 21	27×26	7.9	大熊座	旋涡 星系	190000 00
M 102	5866	15 06.5	+55 46	5×2	10.0	天龙座	旋涡 星系	/
M 103	581	01 33.1	+60 42	7	7.4	仙后座	疏散 星团	7990
M 104	4594	12 40.0	-11 37	9×4	8.0	室女座	旋涡 星系	460000 00
M	3379	10 47.9	+12 35	2×2	9.3	狮子座	椭圆	300000

105							星系	00
M 106	4258	12 19.0	+47 18	18×8	8.4	猎犬座	旋涡 星系	210000 00
M 107	6171	16 32.5	-13 03	3	7.9	蛇夫座	球状 星团	19800
M 108	3556	11 11.6	+55 40	8×2	10.0	大熊座	旋涡 星系	230000 00
M 109	3992	11 57.6	+53 23	7×5	9.8	大熊座	棒旋 星系	270000 00
M 110	205	00 40.3	+41 41	17×10	8.5	仙女座	椭圆 星系	230000 0