

第4周 高能天体和宇宙学

一、 选择题

(一) 红移，消光与红化

1. 遥远天体发出的电磁辐射由于宇宙自身膨胀而频率降低、波长变长，表现为光谱的谱线朝红端（波长更长方向）移动了一段距离，该现象称为宇宙学红移。请问在可见光的 g 波段（波长范围 400 ~ 550nm），我们可以探测到红移为 3 的年轻星系产生的哪条谱线（不考虑相对论效应）？【2025 年预赛 25】
(A) Ly α (121.6nm) (B) MgII(279.8nm)
(C) [OII](372.7nm) (D) H β (486.8nm)
2. 视向速度为 1000 km/s 的超高速恒星对应的红移/蓝移是多少？【2023 年预赛 31】
(A) 3 (B) 0.3 (C) 0.03 (D) 0.003
3. 退行速度为 150000 km/s 的遥远星系对应的红移/蓝移是多少？（提示：是否要考虑相对论效应？）【自命题】
(A) 0.53 (B) 0.73 (C) 0.93 (D) 1.13
4. 在恒星光谱中，显示出波长等于 422.7nm 的钙线向光谱的紫端移动了 0.07nm。此恒星沿视线方向的运动速度为 () 千米/秒。【2003 年预赛 32 题】
(A) 25 (B) 50 (C) 70 (D) 600
5. 几条氢吸收线的实验室静止波长分别为 410nm、434nm、486nm 和 656nm。天文学家对一个遥远的星系进行了光谱观测，观测结果显示这些相同谱线的波长分别为 492nm、521nm、583nm 和 787nm。请问这个星系的退行速度是 () 倍光速？【2020 年预赛 24 题】
(A) 0.16 (B) 0.18 (C) 0.20 (D) 0.2
6. 无论是在美丽的夏季星空照片中，还是到极黑暗的地方用肉眼观察，我们都能看到一些暗色的条带穿插在明亮的银河之中。造成银河上出现这些暗色条带或者区域的原因是 ()。
(A) 暗色的地方恒星比较少 (B) 星际物质消光
(C) 银心黑洞吞噬光线 (D) 地球大气消光

(二) 宇宙微波背景辐射，哈勃定律与宇宙膨胀

1. 第一个建立了热大爆炸宇宙学模型的科学家是 () 【2022 年预赛 26】
(A) 伽莫夫 (B) 爱因斯坦 (C) 哈勃 (D) 奥本海默
2. 在红移 $z=1$ 时宇宙的尺度因子是现在的 ()。【2022 年预赛 32】
(A) 10 倍 (B) 十分之一 (C) 一半 (D) 2 倍
3. 假设宇宙匀速膨胀，已知今天的哈勃常数 $H_0=70 \text{ km/s/Mpc}$ ，请问宇宙的年龄大约为？【2023 年预赛 28】
(A) 1 亿年 (B) 10 亿年 (C) 100 亿年 (D) 1000 亿年
4. 下列哪个选项不是大爆炸宇宙学理论的证据？ () 【2020 年预赛 22】
(A) 哈勃定律 (B) 暴胀理论
(C) 轻元素的比例 (D) 宇宙微波背景辐射
5. 宇宙微波背景辐射的谱线轮廓形状是 ()。
(A) 幂律谱 (B) 抛物线 (C) 正弦曲线 (D) 黑体谱

(三) 高能天体

1. 位于银河系中心的超大黑洞质量大约是太阳的 () 倍。 【2014 年预赛 16】
(A) 400 (B) 4 万 (C) 400 万 (D) 4 亿
2. 首先提出“黑洞蒸发”理论的天文学家是 ()。【2018 年预赛 21】
(A) 爱因斯坦 (B) 爱丁顿 (C) 钱德拉塞卡 (D) 霍金
3. 日前我国的硬 X 射线调制望远镜（慧眼卫星，HXMT）首次认证了快速射电暴 FRB200428 的高能对应体，证明了该快速射电暴来源于 ()。【2022 年预赛 14】
(A) 地外文明 (B) 黑洞吸积辐射
(C) 高度磁化中子星 (D) 激变双星
4. 已知银河系中心黑洞质量大约为 400 万倍太阳质量 $M_\odot$ ，距离太阳系有 26000 光年， G 为引力常数， c 为光速，这个黑洞的史瓦西半径是 ()。【2024 年预赛 9】
(A) $1.54 \times 10^2 \text{ GM}_\odot / c$
(B) $1.54 \times 10^2 \text{ GM}_\odot / c^2$
(C) $8 \times 10^6 \text{ GM}_\odot / c^2$
(D) $4 \times 10^6 \text{ GM}_\odot / c$

5. 宇宙线是来自外太空的高能次原子粒子的总称，其最主要的成分是（ ）。
【2025 年预赛 21】
(A) 电子 (B) 中子 (C) 质子 (D) 中微子
6. 在 2021 年的美国电影《不要抬头》(Don't look up) 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 年预赛 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
7. 哪种类型的超新星可以作为测量星系距离的标准烛光？（ ）【2017 年预赛 30】
(A) Ia (B) Ib (C) Ic (D) II
8. 超新星爆发后光度会缓慢下降，这个过程中光度能量的主要来源是（ ）。
【2017 年预赛 33】
(A) 核裂变 (B) 核聚变
(C) 放射性元素衰变 (D) 周围物质散射超新星爆发时的光
9. 人类最近一次观测到银河系内的超新星爆发是在（ ）年。【2018 年预赛 15】
(A) 1054 (B) 1604 (C) 1987 (D) 2018

(四) 暗物质与暗能量

1. 在标准宇宙学模型 (Λ CDM) 中，暗能量 (Dark Energy) 的主要物理效应是（ ）。【自命题】
(A) 提供额外的引力，帮助维系星系团的稳定
(B) 产生排斥力，导致宇宙加速膨胀
(C) 作为宇宙早期的“种子”，促使结构形成
(D) 通过电磁相互作用加热星系际介质
2. 在目前的宇宙总质能构成中，普通物质 (重子物质)、暗物质和暗能量的占比排序正确的是（ ）。【自命题】
(A) 暗能量 > 暗物质 > 普通物质
(B) 暗物质 > 暗能量 > 普通物质
(C) 普通物质 > 暗物质 > 暗能量
(D) 三者比例大约相等
3. 20 世纪 70 年代，天文学家薇拉·鲁宾 (Vera Rubin) 通过观测旋涡星系的

(), 为暗物质的存在提供了决定性的证据【自命题】

- (A) 恒星光谱红移
- (B) 核心黑洞质量
- (C) 星系转动曲线
- (D) 超新星爆发频次

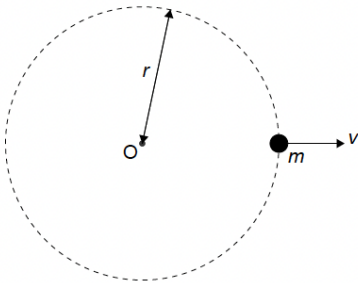
4. “宇宙常数”通常被用作解释暗能量的最简单模型, 它最初是由哪位科学家为了维持“静态宇宙”而提出的?【自命题】

- (A) 爱因斯坦
- (B) 弗里德曼
- (C) 哈勃
- (D) 勒梅特

二、计算题

【IB 物理 HL 2023 Nov Paper 3 第 20 题】

宇宙可以被看作充满了密度均匀的尘埃。一个质量为 m 的粒子, 在距离中心点 O 为 r 处时, 其速度为 $v = H_0 r$ (其中 H_0 为哈勃常数)。假设只有半径为 r 的球体内部的质量会对该粒子产生引力作用。



(a)(i)证明: 如果要求该粒子恰好能够到达无穷远处 (即脱离引力束缚), 宇宙的密度 ρ 必须满足:

$$\rho = \frac{3H_0^2}{8\pi G}$$

(ii)使用 $H_0 = 68 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ 估算该密度值。

(b)在包含暗能量的宇宙模型中, 描述临界密度的意义。

【IB 物理 HL 2023 May Paper 3 第 18 题】

(a) 证明: 当红移 $z = 1.74$ 时, 宇宙当时的尺寸与现在尺寸的比值为 0.365。

(b) (i) 证明：宇宙微波背景（CMB）辐射的温度 T 与尺度因子 R 成反比。

(b) (ii) 已测得该星际云处的 CMB 温度为 7.4K 。计算 CMB 目前的温度值。