

普通天文学
第五次作业

1. 类星体的氢发射线静止波长 $\lambda_{\text{emit}} = 121.6 \text{ nm}$ ，观测波长 $\lambda_{\text{obs}} = 133.76 \text{ nm}$ 。求红移 z 是多少？用哈勃定律 $V = H_0 \times D$ ($H_0 = 70 \text{ km/s/Mpc}$) 计算该类星体的退行速度 V 和距离 D (仅用非相对论多普勒效应)。

参考答案：

计算红移：

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = 0.1$$

计算退行速度 V 和 D ，由多普勒效应可得：

$$V = zc = 3 \times 10^4 \text{ km/s}$$

距离 D ：

$$D = \frac{V}{H_0} \approx 429 \text{ Mpc}$$

宇宙年龄：

$$t_H = \frac{1}{H_0} = 4.42 \times 10^{17} \text{ s}$$

大约为140亿年。

2. 旋涡星系光度 $L \propto V_{\text{max}}^4$ (V_{max} 为最大旋转速度)。已知近邻星系 A 的距离 $D_A = 20 \text{ Mpc}$ ，最大旋转速度 $V_A = 150 \text{ km/s}$ ，视星等 $m_A = +11.0$ ，以及遥远星系 B 的最大旋转速度 $V_B = 300 \text{ km/s}$ ，视星等 $m_B = +14.5$ 。利用星系 A 较准，求星系 B 的距离 D_B 。

参考答案:

已知两个星系的最大旋转速度, 根据Tully-Fisher关系可以得到两者光度比:

$$\frac{L_A}{L_B} = \left(\frac{V_A}{V_B}\right)^4 = \frac{1}{16}$$

已知A星系的距离和视星等, 可以转换为绝对星等 (注意距离的单位是pc) :

$$m - M = 5 \log_{10}(D) - 5$$

得到 $M_A = -20.505$

已知A和B的光度比, 可以计算B的绝对星等为:

$$M_B = M_A + 2.5 \log_{10}\left(\frac{L_A}{L_B}\right) = -23.515$$

因此可以算出B的距离

$$m - M = 5 \log_{10}(D) - 5$$

得到 $D_B \approx 401 \text{ Mpc}$

3. 一个类星体的喷流中有一个物质团块, 它以真实速度 $v=0.98c$ 运动。该喷流的运动方向与我们观测视线的夹角为 θ 。视横向速度 v_t 与真实速度 β 和夹角 θ 的关系式为 $v_t = \frac{\beta c \sin \theta}{1 - \beta \cos \theta}$, 这里的 $\beta = \frac{v}{c}$ 。计算当夹角 θ 为何值时, v_t 达到其最大值? 最大值是多少?

参考答案:

对 v_t 表达式求导并令其等于0:

$$\frac{dv_t}{d\theta} = \beta c \frac{\cos \theta - \beta}{(1 - \beta \cos \theta)^2} = 0$$

得到 $\theta = \arccos \beta = 11.48^\circ$

此时 $v_t = \frac{\beta c}{\sqrt{1 - \beta^2}} = 4.92c = 14.77 \times 10^8 \text{ m/s}$

显著超过光速。

4. 宇宙距离阶梯中的各种距离测量方法名称有其适用范围，以及在不同尺度上如何校准测量距离。

宇宙距离阶梯核心分层与测距方法

(按观测距离由近及远排序)

距离范围	测量方法	适用范围与技术特点
1 AU 级	雷达波测距法	太阳系内行星/卫星的精确测量 (如月球激光测距误差≤毫米)
≤200 pc	三角视差法	银河系近邻恒星 (盖亚卫星已扩展至数千pc精度)
≤10,000 pc	主序星拟合/脉泽源	银河系内恒星团 (如毕星团距离校准)
≤25 Mpc	造父变星法	邻近星系 (仙女座M31: 778 kpc) 需多波段消光修正
≤200 Mpc	Ia型超新星	星系团尺度 (红移z~0.05), 依赖前期校准光源
≥1 Gpc	哈勃定律 (红移法)	宇宙学尺度 (z>0.1), 需BAO/CMB校准哈勃常数H ₀

关键校准链条的依赖关系

(自下而上逐级传递)

1. 地基校准:
- 雷达波测距 (1 AU) → 校准三角视差法零点误差
2. 邻近宇宙校准:
- 三角视差法 (200 pc) → 校准造父变星周光关系零点

• 造父变星 (25 Mpc) → 校准Ia型超新星峰值光度
3. 宇宙学尺度校准:
- Ia型超新星 (200 Mpc) → 为BAO提供标准尺标

• BAO (>1 Gpc) → 结合CMB数据求解哈勃常数H₀

5. 什么是奥伯斯佯谬？宇宙学原理包含哪两个基本假设？（简单回答即可）。

参考答案：奥伯斯佯谬：如果宇宙空间上无限大，时间上不变化，且恒星分布是均匀的，那么在任何方向上天空的亮度应该是完全相同的（假设所有的恒星与太阳一样）。

两个假设：1.宇宙在大尺度 (>100 Mpc) 上是均匀的；2.宇宙是各向同性的。