

# 2020年广东省天文知识竞赛复赛(实测理论)模拟练习

各年级组共3题, 90分钟完成

## 1. (低年组) 恒星观测

某晚观测发现, 一颗赤经 $\alpha = 1^{\text{h}}20^{\text{m}}05^{\text{s}}$ , 赤纬 $\delta = 5^{\circ}15'10''$ 的恒星通过子午圈的时刻为21:33, 当时其地平高度为 $55^{\circ}10'08''$ . 之后测得一颗坐标未知的恒星上中天的时刻为22:03, 当时其地平高度为 $43^{\circ}20'25''$ , 问:

- (1) 观测地的地理纬度是多少?
- (2) 这颗坐标未知的恒星的赤经和赤纬分别是多少?

## 2. 假星

小明决定拍摄一张带地景的猎户东升星野照片, 使用镜头的焦距为24 mm, 参数为ISO 3200, f/2.8, 曝光时间20秒. 他的朋友小刚想和他开个玩笑, 于是带了一个闪光灯, 来到小明拍摄方向上距离小明2千米远的地方. 在小明拍摄时, 小刚用闪光灯闪了一下光, 于是在小明的照片上制造了一颗假星. 已知这个闪光灯的闪光持续时间为1/250秒, 其闪光亮度如下: 使用它对于距离闪光灯和相机都是1.5米的物体拍照时, 摄影条件(包括感光度、光圈等)与在日光下使用大约1/2000秒的曝光时间对同一物体拍照是一样的.

请估算在小明照片上假星的星等.

## 3. (高年组) 用FAST观测太阳

五百米口径球面射电望远镜(FAST)是坐落于中国贵州省的单口径望远镜. 望远镜的直径是500 m, 但在观测时的有效接受区域直径300 m.

考虑使用FAST观测来自太阳光球层的热辐射, 中心频率3 GHz, 带宽0.3 GHz.

- (1) 计算1小时观测能接收到来自太阳的总能量.
- (2) 估计将一张试卷翻面需要的能量. 提示: 典型的纸张面密度为 $80 \text{ g m}^{-2}$ .
- (3) 哪个能量更大?

瑞利-金斯公式:  $B_{\nu} = \frac{2k_{\text{B}}T}{c^2} \nu^2$ , 可以用来计算单位面积单位立体角单位频率的功率.

## 4. (低年组) 测量星等

测量恒星的星等时, 需要考虑背景天光亮度、大气消光等诸多因素. 大气消光的计算方法为:  $m = m_0 + K \cdot X$ , 其中 $m$ 为当恒星的天顶距为 $z$ 时它的大气内星等,  $m_0$ 为它的大气外星等,  $K$ 为大气消光系数,  $X$ 称为“大气质量”, 也就是我们观测到的这颗星的星光所穿过的大气厚度与天顶处大气厚度的比值. 通常可以将大气视作一层层均匀的平行平面, 当地平高度 $h \geq 15^{\circ}$  (即 $z \leq 75^{\circ}$ )时, 有:  $X \approx 1/\sin h$ .

观测一颗 $m_0 = 13.2$ 等的标准星A, 每次曝光的时间都是50秒, 探测器记录下的光子计数如下表:

地平高度	A星+背景天光的总流量计数	背景天光流量计数
$90^{\circ}$	824512	100902
$85^{\circ}$	824800	100434
$70^{\circ}$	820523	100030
$60^{\circ}$	824320	112111
$45^{\circ}$	804126	113223
$30^{\circ}$	752515	113121

- (1) 在曝光时间相同的情况下，我们可以通过仪器读数计算出观测到的A星的大气内“仪器星等”为:  $m = -2.5 \lg N$ . 完成下表，并通过作图求消光系数 $K$  (以 $x$ 为横坐标,  $m$ 为纵坐标).

地平高度	A星流量计数 $N$	$x$ (大气质量)	$m$ (仪器星等)
90°			
85°			
70°			
60°			
45°			
30°			

- (2) 求这颗标准星的大气外仪器星等 $m_0'$ . 找出这套系统测量出的仪器星等与标准星等的差值 $C$ ,  $C$ 称为本套系统的“定标常数”.
- (3) 同一晚上用这套设备观测了另外一颗地平高度为57°的恒星B, 50秒曝光得到的总计数为500000个, 求它的大气外星等.

## 5. (高年组) 寻找暗物质

低表面亮度星系(LSB)是一种弥散星系. 当从地球观测时, 这种星系的表面亮度至少比周围的夜天光低一个星等. 星系中的一部分物质是以中性氢气体和恒星为代表的“重子物质”, 而大部分是不可见的暗物质. 本题我们将研究某个星系中的暗物质的质量对星系的旋转曲线的影响, 并描述该星系中暗物质的相关情况.

下表是低表面亮度星系UGC4325的一些数据. 如果假定这个星系是完全侧向我们的. 相对于到星系中心的距离 $r$ , 我们定义如下参数.

$r$ (kpc)	$\lambda_{\text{obs}}$ (nm)	$V_{\text{gas}}$ (km/s)	$V_*$ (km/s)
0.70	656.371	2.87	20.97
1.40	656.431	6.75	32.22
2.09	656.464	14.14	40.91
2.79	656.475	20.18	46.75
3.49	656.478	24.08	50.10
4.89	656.484	28.08	47.94
6.25	656.481	29.25	45.47
7.10	656.481	27.03	47.78
9.03	656.482	25.90	45.32
12.05	656.482	21.03	42.30

$\lambda_{\text{obs}}$ : H $\alpha$ 线的观测波长, 宇宙哈勃膨胀的影响已经被排除在外.

$V_{\text{gas}}$ : 由HI表面密度导致的气体质量 $M_{\text{gas}}$ 产生的速度对星系总的旋转速度的贡献.

$V_*$ : R波段测光得到的恒星质量 $M_*$ 产生的速度对星系总的旋转速度的贡献.

来自气体 $V_{\text{gas}}$ 和恒星 $V_*$ , 产生的速度对星系总的旋转速度的贡献, 被定义为星系盘在不考虑任何外部因素影响的情况下, 由于对应机制作用产生的速度. 这些速度是通过观测重子物质的密度分布计算得出的.

半径为 $r$ 范围内的星系所含的暗物质质量 $M_{\text{DM}}(r)$ 可以用暗物质贡献的旋转速度 $V_{\text{DM}}$ 、半径 $r$ 和引力常数 $G$ 表示为:  $M_{\text{DM}}(r) = \frac{r V_{\text{DM}}^2}{G}$ .

现有的观测旋转速度  $V_{\text{obs}}$  的最佳约束模型为:  $V_{\text{obs}}^2 = V_{\text{gas}}^2 + V_*^2 + V_{\text{DM}}^2$ .

对于到星系中心为  $r$  的位置, 该位置的旋转速度  $V_{\text{obs}}$  取决于这个范围内的星系质量  $M(r)$ .

根据星系密度分布模型, 质量密度  $\rho_{\text{DM}}(r)$  与半径  $r$  的关系为:  $\rho_{\text{DM}}(r) = \frac{\rho_0}{1 + \left(\frac{r}{r_C}\right)^2}$ , 其

中  $\rho_0$  和  $r_C$  分别为该星系的中心密度和核半径.

根据密度分布, 暗物质的质量  $M_{\text{DM}}(r)$  随半径  $r$  变化的关系由下式表述:

$$M_{\text{DM}}(r) = 4\pi\rho_0 r_C^2 [r - r_C \arctan(r/r_C)]$$

### 暗物质质量和星系的旋转曲线

- (1) 地球上  $\text{H}\alpha$  的实验室发射波长  $\lambda_{\text{emit}}$  为 656.281 nm. 计算在距离  $r$  上观测到的星系旋转速度  $V_{\text{obs}}$  以及基于暗物质的旋转速度  $V_{\text{DM}}$ , 单位 km/s. 通过表中给出的不同距离  $r$ , 计算动力学总质量  $M(r)$  和暗物质质量  $M_{\text{DM}}(r)$ , 单位为太阳质量.
- (2) 在坐标纸上画出星系的旋转曲线. 在同一坐标系中分别画出  $V_{\text{obs}}$ 、 $V_{\text{DM}}$ 、 $V_{\text{gas}}$ 、 $V_*$  随  $r$  的变化, 标出计算出的速度点并用平滑曲线连接. 依据观测到的旋转速度, 对不同物质的贡献进行排序.

### 暗物质的贡献

- (3) 使用值较小和较大的  $r$  估算  $\rho_0$  和  $r_C$ . 注意当  $x$  值很大时,  $\arctan(x) \approx \pi/2$ , 当  $x$  很小时,  $\arctan(x) \approx x - x^3/3$ .
- (4) 把  $M_{\text{DM}}(r) = 4\pi\rho_0 r_C^2 [r - r_C \arctan(r/r_C)]$  看作一个线性方程, 中心密度  $\rho_0$  可以通过线性拟合得出. 画合适的坐标图用于拟合另一个  $\rho_0$  的值, 单位为  $M_{\odot}/\text{kpc}^3$ . 如果你在之前的部分里没有得到  $r_C$  的值, 那么在这里使用  $r_C = 3.2 \text{ kpc}$  进行估算.
- (5) 计算暗物质密度的对数值  $\ln[\rho_{\text{DM}}(r)]$ , 在坐标纸上通过画图呈现该星系中暗物质随半径  $r$  的变化趋势.

