

# 第十四届国际天文与天体物理奥林匹克竞赛

## 团队赛试题

哥伦比亚 波哥大(线上) 2021年11月17-18日

### 团队射电天文学

在你开始做这个问题之前, 请阅读单独信封中的一般说明.

#### 使用21厘米HI线数据测量英仙臂

##### 背景介绍

我们的目标是根据中性氢21厘米发射线的视线速度, 从运动学上估计出银河系(部分)英仙臂(图1)的银心距.

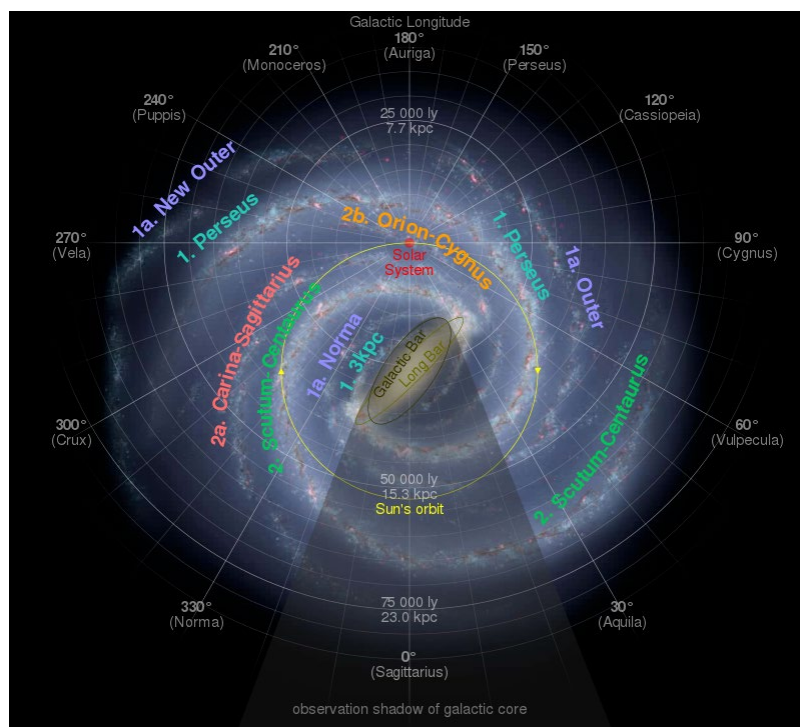


图1: 银河系各臂的距离-银河系经度图

[https://en.wikipedia.org/wiki/Perseus\\_Arm#/media/File:Milky\\_Way\\_Arms\\_ssc2008-10.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Perseus_Arm#/media/File:Milky_Way_Arms_ssc2008-10.svg)

对于这个问题, 我们将使用加拿大银道面巡天(CGPS, 图2)的一个子集, 在这个子集中, 各个射电望远镜的指向都可以产生由所有银河系中性氢沿着射电望远镜的视线发射的21厘米线谱.

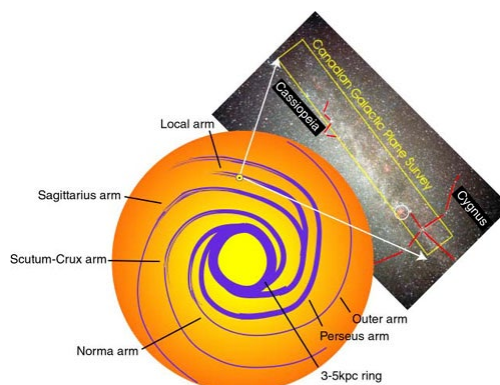


图2: 加拿大银河系平面调查 <http://www.ras.ualgary.ca/CGPS>

通过将21厘米发射线的多普勒频移转化为视线速度,就有可能识别出对应于不同星系臂的发射成分. 这种识别可以重建每个臂相对于银河系中心的形状.

在与射电望远镜指向相对应的光谱中, 英仙臂可以很容易地被识别出来, 因为它往往是沿着每条视线的最亮特征.

射电望远镜观测的参考系可以被认为是太阳, 与银心(GC)的距离为 $R_0$ . 望远镜沿着由银经 $l$ 和固定的银纬 $b = 0$ 定义的视线(LOS)进行指向. 在这个LOS上, 望远镜捕捉到了来自英仙臂的中性氢气体团的发射, 它与太阳的距离是 $r$ . 让我们假设太阳和气体团都在围绕银心的精确圆形轨道上. 此外, 可以假设太阳和气体团都在银河系旋转曲线平坦的区域. 测量的(多普勒)速度表示为 $v_{\text{LOS}}$ , 它等于气体团沿视线的速度.

数据集

对于这个问题, 我们附上一个.csv文件(21cmsurvey\_full.csv, Excel和其他电子表格软件可读), 其中包含21厘米HI线亮度温度( $T_b$ )与视线速度( $V_{\text{LOS}}$ )在一系列银经(对于银纬 = 0)的数据.

第1行: 视线速度  $v_{\text{LOS}}$  (173个值, 单位:  $\text{km s}^{-1}$ ).  
第1列(第1行后): 银经  $l$  (1024值, 单位:  $^\circ$ ).  
第2-1025行: 21厘米HI亮度温度  $T_b$  (单位: K). 每一行产生由 $l$ (行名-第1列)定义的指向的光谱. 因此有1024个光谱. 每个光谱有173个  $T_b$  测量值, 对应每个  $v_{\text{LOS}}$ .

	A	B	C	D	E	F	G
1	longitude	17.499242	16.674782	15.850322	15.025862	14.201402	13.376942
2	142.195	7.6806355	-3.6773872	10.236036	12.072731	2.6496887	-5.4096527
3	142.2	-2.3566856	-17.443382	10.948601	15.752264	-5.6430779	-4.0766678
4	142.205	-7.2586327	-16.816818	11.409309	14.382421	-8.1247673	-2.1908302
5	142.21	-4.8997993	-1.3861237	8.1782017	0.1741447	-6.5460701	2.8831139
6	142.215	1.4211311	17.361675	3.865963	-19.79607	-5.4956512	10.672174
7	142.22	10.801174	29.229548	6.5995045	-28.279266	-6.2942162	17.140533
8	142.225	15.174841	25.408731	12.852865	-18.843937	-8.4810486	11.249598
9	142.23	11.863876	11.36631	13.676001	-3.8985252	-8.6407623	-3.4193878
10	142.235	1.5808449	-5.765934	4.6522408	3.5158234	-6.70578	-18.493797
11	142.24	-3.855526	-13.573421	-5.8457909	0.7269974	-4.1995239	-23.408031
12	142.245	-1.1465569	-7.5473442	-7.0313492	-3.400959	-1.7116928	-18.352516
13	142.25	5.9913673	8.6634827	2.0968399	-1.6011238	4.3635292	-6.9637794
14	142.255	9.1303349	24.567169	13.166147	4.2713852	13.448717	4.9778061

第一部分

1.1 对足够数量的不同的银经值做出  $v_{\text{LOS}}$  与  $T_b$  的光谱图(至少20个图), 涵盖整个观测范围. 确定英仙座气体团在每个图中经度的视线速度峰值. 确保对数据集进行均匀采样.

注意: 以第一个或最后一个经度的图为指导, 在中间经度的图中找出正确的峰值.

1.2 为什么在  $v_{\text{LOS}} = 0$  附近的发射线(我们将其与我们的本星臂联系起来)的亮度温度低于英仙臂的发射线?

第二部分

**2.1** 从  $v_{\text{LOS}}$ 、 $v_{\odot}$  和  $l$  推导出计算  $R$  的表达式。你可以假设:

- 太阳系和英仙臂气体团沿视线具有纯切向速度，径向分量可以忽略不计;
- 平坦的银河系旋转曲线，即

$$|v| = |v_{\odot}|,$$

其中  $v$  是气体团的速度。

### 第三部分

**3.1** 利用你之前发现的  $v_{\text{LOS}}$  值，绘制英仙臂的银经  $l$  与  $R$  (相对于银心的半径，以 kpc 为单位) 的关系图。找到英仙臂在给定经度范围内的平均距离。同时报告你的结果中的标准差。请使用以下数值:

$$v_{\odot} \approx 225 \text{ km s}^{-1}$$

$$R_0 \approx 8 \text{ kpc}$$

### 第四部分

**4.1** 数据还显示了来自银河系诺玛臂的 21 厘米发射线，这是银河系的外臂。这种发射线在银经为  $145^\circ$  的地方看得最清楚。对诺玛臂重复上述练习，找出它与 GC 的距离。使用至少 5 个数据点来确定诺玛臂与银心的距离(在这些银经上)。