

第十七届国际天文与天体物理奥林匹克竞赛

数据分析试题

巴西·里约热内卢 2024 年 8 月 22 日

D1. 巡天光度对比 (75 分)

你是一名天文学家，参与了诸如斯隆数字巡天 (SDSS) 和暗能量巡天 (DES) 等大型光度巡天项目，这两个项目都将你的机构——巴西国家天文台 (Observatório Nacional) 作为参与单位。SDSS 在 2000 年代使用了位于美国阿帕奇点的 2.5 米望远镜，而 DES 则在 2013 年至 2019 年间使用了位于智利托洛洛山的 4 米望远镜。尽管它们主要覆盖天空的不同半球，但它们都有一个共同的赤道区域，称为 Stripe 82，你可以利用它来比较和校准不同数据集 (如 SDSS 和 DES) 的光度数据。

从 Stripe 82 下载了以下包含天体位置和亮度的表格用于分析。然而，由于电脑上的文件系统损坏，文件名被打乱，现在无法确定哪个表格属于哪次巡天。

表 1 和表 2 在下面并排出现，每个源都有一个标识号、赤道坐标以及其在 g 波段的星等 (m_g) 及其误差 ($\text{err } m_g$)。

| 表 1 | | | | | 表 2 | | | | |
|-----------------|----------|----------|---------|-------------------|-----------------|----------|----------|---------|-------------------|
| ID ₁ | RA | Dec | m_g | $\text{err } m_g$ | ID ₂ | RA | Dec | m_g | $\text{err } m_g$ |
| | (deg) | (deg) | (mag) | (mag) | | (deg) | (deg) | (mag) | (mag) |
| 1 | 0.047255 | 0.000406 | 21.7649 | 0.0120 | 1 | 0.006167 | 0.066874 | 21.9020 | 0.0576 |
| 2 | 0.064741 | 0.021568 | 21.1111 | 0.0067 | 2 | 0.018660 | 0.007450 | 21.8039 | 0.0529 |
| 3 | 0.064911 | 0.026395 | 21.3931 | 0.0084 | 3 | 0.047853 | 0.061487 | 21.3007 | 0.0418 |
| 4 | 0.098343 | 0.054871 | 21.3934 | 0.0088 | 4 | 0.050870 | 0.015659 | 21.1678 | 0.0388 |
| 5 | 0.022256 | 0.039129 | 21.9933 | 0.0157 | 5 | 0.051270 | 0.020812 | 21.2524 | 0.0401 |
| 6 | 0.006188 | 0.066928 | 21.5490 | 0.0088 | 6 | 0.057414 | 0.075999 | 21.8884 | 0.0578 |
| 7 | 0.083945 | 0.074259 | 21.9395 | 0.0126 | 7 | 0.064745 | 0.021583 | 21.3634 | 0.0422 |
| 8 | 0.076715 | 0.079496 | 21.4808 | 0.0089 | 8 | 0.064910 | 0.026419 | 21.6428 | 0.0488 |
| 9 | 0.057422 | 0.076006 | 21.8897 | 0.0127 | 9 | 0.071102 | 0.091058 | 21.9259 | 0.0751 |
| 10 | 0.024412 | 0.087688 | 21.8341 | 0.0126 | 10 | 0.074946 | 0.002792 | 21.3258 | 0.0410 |
| 11 | 0.044723 | 0.091782 | 21.8868 | 0.0172 | 11 | 0.076709 | 0.079474 | 21.5303 | 0.0476 |
| 12 | 0.071089 | 0.091053 | 21.4390 | 0.0098 | 12 | 0.092635 | 0.077395 | 21.6995 | 0.0513 |
| | | | | | 13 | 0.098343 | 0.054854 | 21.6542 | 0.0499 |
| | | | | | 14 | 0.099332 | 0.093711 | 21.8802 | 0.0577 |

(a) (5 分) 从这些表格中，哪一张是 SDSS 巡天的表格，哪一张是 DES 巡天的表格？假设这两次巡天在探测器响应、曝光时间和观测站特性方面是等效的。

(b) (35 分) 使用表格中的数据，在标记为图 1 的半对数纸上，以横轴 (线性刻度) 表示星等 (m_g)，以纵轴 (对数刻度) 表示星等的误差 ($\text{err } m_g$)。估计每个数据集的角系数 A (斜率) 和线性系数 B (y 轴截距)。不需要计算相关的误差。

(c) (5 分) 信噪比 (S/N) 大致是亮度误差的倒数, $S/N \sim 1/\text{err } m_g$. 使用前一部分计算的线性拟合结果, 在亮度 $m_g = 21.5 \text{ mag}$ 时, 每个巡天达到的 S/N 是多少?

(d) (15 分) 表 1 中的天体如果与表 2 中的天体在 1 角秒以内, 则可认为是同一个天体. 通过查看两个表中天体的赤经 (RA) 和赤纬 (Dec), 识别出共同的天体, 并写出一个包含匹配 ID 的新表, ID_1 和 ID_2 .

(e) (15 分) 使用 (d) 部分的匹配表, 用毫米 (线性) 纸张标记为图 2, 将各巡天的 g 波段星等以表格 1 为 x 轴, 表格 2 为 y 轴绘制出来. 在水平和垂直方向上为每个点绘制误差棒, 使用双倍的 $\text{err } m_g$ 值 (称为 2σ 不确定度). 从你的图中, 识别出适合两个巡天之间光度校准的恒星, 并写出它们在表格 1 中的对应 ID.

D2. Shapley 假说 (75 分)

球状星团是星系中最古老的组成部分之一. 大约一个世纪前, Harlow Shapley 研究了银河系中球状星团的分布情况, 以确定太阳到银河系中心的距离, 他假设球状星团在银河系中心对称分布. 下表显示了银河系中一些已知球状星团的位置和距离模数. 表中的前三列分别显示了星团名称、银经 (l) 和银纬 (b). 第四列显示了距离模数 (即视星等与绝对星等之差), 这些数值已经过消光校正. 基于表中的数据回答问题.

(a) (25 分) 计算每个球状星团与太阳的距离 (以秒差距为单位) 以及它们的笛卡尔坐标 (x, y, z) . x 轴指向银河系中心, y 轴指向银河系旋转方向. 该坐标系为右手法则.

(b) (15 分) 从给定的数据中, 估计球状星团分布中心到太阳的距离及其不确定性.

(c) (30 分) 为了检验 Shapley 假设即球状星团在银河中心对称分布的有效性, 为每个方向 (x, y, z) 的分布制作五个区间 (即对数据进行排序并分成五个等量区间) 的直方图. 在直方图上用实线标出这三个分布的四分位数 (Q_1, Q_2, Q_3) 的值.

提示: 三个四分位数将排序后的样本分成四个部分, 每个部分包含 25% 的数据, 其中第二和第三部分表示四分位距.

(d) 使用四分位数, 根据以下公式计算三个分布的对称性因子值:

$$\Phi_x = \frac{|Q_{1,x} + Q_{3,x} - 2Q_{2,x}|}{Q_{3,x} - Q_{1,x}}, \quad \Phi_y = \frac{|Q_{1,y} + Q_{3,y} - 2Q_{2,y}|}{Q_{3,y} - Q_{1,y}}, \quad \Phi_z = \frac{|Q_{1,z} + Q_{3,z} - 2Q_{2,z}|}{Q_{3,z} - Q_{1,z}}.$$

根据下表中显示的对称因子值, 将 x, y 和 z 方向的三个分布分类. 因此, 在答题纸上, 如果分析的样本符合 Shapley 假说则写 True (T), 否则写 False (F).

| 对称性因子值 | 对称性分类 |
|------------------------|-------|
| $0 \leq \Phi \leq 0.1$ | 对称 |
| $0.1 < \Phi \leq 0.2$ | 准对称 |
| $\Phi > 0.2$ | 不对称 |

| 名称 | <i>l</i> (度) | <i>b</i> (度) | 距离模数 (mag) |
|--------------|--------------|--------------|------------|
| NGC 6522 | 1.025 | -3.926 | 14.3 |
| NGC 6401 | 3.450 | 3.980 | 14.4 |
| NGC 6342 | 4.898 | 9.725 | 14.5 |
| NGC 6553 | 5.253 | -3.029 | 13.6 |
| NGC 6440 | 7.729 | 3.801 | 14.6 |
| Ter 12 | 8.358 | -2.101 | 13.6 |
| VV-CL160 | 10.151 | 0.302 | 14.2 |
| 2MASS-GC01 | 10.471 | 0.100 | 12.6 |
| NGC 6517 | 19.225 | 6.762 | 14.8 |
| NGC 6402 | 21.324 | 14.804 | 14.8 |
| NGC 6712 | 25.354 | -4.318 | 14.3 |
| NGC 6426 | 28.087 | 16.234 | 16.6 |
| NGC 5466 | 42.150 | 73.592 | 16.0 |
| NGC 7089 | 53.371 | -35.770 | 15.3 |
| NGC 288 | 151.285 | -89.380 | 14.8 |
| NGC 2298 | 245.629 | -16.006 | 15.0 |
| NGC 4590 | 299.626 | 36.051 | 15.1 |
| NGC 4372 | 300.993 | -9.884 | 13.8 |
| NGC 362 | 301.533 | -46.247 | 14.7 |
| BH 140 | 303.171 | -4.307 | 13.4 |
| NGC 5927 | 326.604 | 4.860 | 14.6 |
| Patchick 126 | 340.381 | -3.826 | 14.5 |
| NGC 5897 | 342.946 | 30.294 | 15.5 |
| NGC 6380 | 350.182 | -3.422 | 14.9 |
| Djor 1 | 356.675 | -2.484 | 15.0 |