**第十一届国际天文与天体物理奥林匹克竞赛**

**数据分析试题**

泰国 普吉 2017年11月12日21日

**1. 测量大麦云的距离**

天文学家致力于通过三角视差法精确测量银河系内造父变星的距离, 但始终未果. 所有已知的银河系内造父变星的距离尺度都大于250 pc, 由此导致测量结果存在10%的不确定度, 为此引入视差的误差范围: 0.2毫角秒. 依巴谷卫星测量了200颗紧邻造父变星的视差, 但仍然具有很大的不确定度. 近日, 哈勃空间望远镜获得了10颗误差范围在10%以内的造父变星的视差. 这些造父变星的周期范围为3.7至35.6天, 距离范围为300至560 pc.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | *P*  (day) | *V*  (mag) | *K*  (mag) | *A*V  (mag) | *A*K  (mag) | *I*  (mag) | 视差  (mas) | 误差  (mas) |
| RT Aur | 3.728 | 5.464 | 3.925 | 0.20 | 0.02 | 4.778 | 2.40 | 0.19 |
| FF Aql | 4.471 | 5.372 | 3.465 | 0.64 | 0.08 | 4.510 | 2.81 | 0.18 |
| X Sgr | 7.013 | 4.556 | 2.557 | 0.58 | 0.07 | 3.661 | 3.00 | 0.18 |
| Gem | 10.151 | 3.911 | 2.097 | 0.06 | 0.01 | 3.085 | 2.78 | 0.18 |
| l Car | 35.551 | 3.732 | 1.071 | 0.52 | 0.06 | 2.557 | 2.01 | 0.20 |

表1: 5颗银河系造父变星的周期、平均视星等和视差

表1中给出了周期*P*, V、K、I三个波段的平均视星等*V*、*K*和*I*, V、K两个波段的消光*A*V和*A*K, 视差parallax (单位为毫角秒mas)和视差的误差(单位为毫角秒mas). 表中所有平均视星等的测量误差忽略不计.

**(a)** 通过观测, 天文学家发现造父变星的周期和光度存在周光关系, 即*L* *P*. 但实际使用中, 上述关系常用绝对星等随周期的对数的变化来表示. 本题中, 请用修正后的周光关系解答.

根据表1中的数据, 把解题和画图过程中会用到的各物理量的名称和计算结果写在答题纸上, 并在坐标纸上通过描点和线性拟合, 分别画出V波段和K波段的修正周光关系图. 不同波段的关系图画在不同坐标纸上. 根据线性拟合的结果, 得到斜率的最佳拟合值和误差范围(解题过程中你可能用到的近似为:).

恒星的周光关系在不同波段是存在差异的, 这可以用颜色的差异来解释因此, 修正后的周光关系又可以看作是“周期对数-绝对星等-颜色”关系. 颜色变化的表现是红化效应, 它会引起消光, 而消光值是一个与波长有关的函数. 消光值可能由于不同的造父变星的金属丰度不同或者前景星际介质或尘埃不同而改变.

为此, 我们引入一个新的不依赖红化的平均视星等值, 称为“Wesenheit”. 这个星等值可以不考虑单个恒星的消光值, 而是通过恒星的颜色信息有效地避开消光, 从而得到恒星在对应波段的平均视星等. 以VI波段为例, 这个平均视星等值*W*VI在VI波段的定义式为, 其中, *R*V是红化率. 对于VI波段, *R*V取2.45.

**(b)** 根据表1中给出的数据, 利用平均视星等*W*VI, 描点并画出新的不依赖红化的周光关系图. 根据你画出的图得出线性拟合对应的斜率及误差范围.

**(c)** 接下来, 我们将用(a)和(b)两问中分别得出的周光关系, 通过大麦云中的造父变星的周期和星等, 计算大麦云的距离.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | *P*  (day) | *V*corr  (mag) | *W*VI  (mag) |
| HV12199 | 2.63 | 16.08 | 14.56 |
| HV12203 | 2.95 | 15.93 | 14.40 |
| HV12816 | 9.10 | 14.30 | 12.80 |
| HV899 | 30.90 | 13.07 | 10.97 |
| HV2257 | 39.36 | 12.86 | 10.54 |

表2: 大麦云中造父变星的周期、经过消光修正的平均视星等*V*corr和利用新方法得到的平均视星等*W*VI

表2中给出了周期、经过消光改正后的平均视星等*V*corr和利用新方法得到的平均视星等*W*VI. 计算每个天体的距离模数, 并根据所有信息计算大麦云中各天体对应不同距离模数的距离(以秒差距为单位)和各波段的标准差, 用英语说明你使用的计算标准差的方法是什么. 请判断你得到的两种距离在统计学上是否相同? 判断你得到的两种距离对应的标准差在统计学上是否相同? 如果标准差不同, 哪种更准确? *V*更好还是*W*VI更好?

**2. 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) | obs  (nm) | *V*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 |

obs: H线的观测波长, 宇宙哈勃膨胀的影响已经被排除在外.

*V*gas: 由HI表面密度导致的气体质量*M*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*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*DM(*r*)可以用暗物质贡献的旋转速度*V*DM、半径*r*和引力常数*G*表示为: .

现有的观测旋转速度*V*obs的最佳约束模型为: .

对于到星系中心为*r*的位置, 该位置的旋转速度*V*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DM(*r*)与半径*r*的关系为: , 其中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*DM(*r*)随半径*r*变化的关系由下式表述:



**暗物质质量和星系的旋转曲线**

**(a)** 地球上H的实验室发射波长emit为656.281 nm. 计算在距离*r*上观测到的星系旋转速度*V*obs以及基于暗物质的旋转速度*V*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*DM(*r*), 单位为太阳质量.

**(b)** 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*obs、*V*DM、*V*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**

**(c)** 使用值较小和较大的*r*估算0和*r*C. 注意当*x*值很大时, arctan(*x*) /2, 当*x*很小时, arctan(*x*) *x* – *x*3/3.

**(d)** 把看作一个线性方程, 中心密度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0的值, 单位为*M*/kpc3. 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 kpc进行估算.

**(e)** 计算暗物质密度的对数值ln[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.