

天文奥赛实测合集

1. (2008CNAO决赛理论实测第18题) 流星雨

代号为XYZ的某流星群为反太阳源的一部分（辐射点位于黄道上，与太阳的黄经差为180°）某位同学在6月22日晚对其进行了目视观测。

观测地点坐标为东经112.5°，北纬23.5°。目视极限星等5.8。在北京时间19:30至23:30期间观测到44颗流星，记录如下：

北京时间	星等	群属	速度	北京时间	星等	群属	速度
19:47:15	4	群内	2	22:19:58	-2	偶发	4
20:15:18	2	偶发	1	22:27:10	3	群内	1
20:23:20	2	群内	2	22:27:53	5	群内	1
20:23:55	5	群内	2	22:28:41	4	群内	1
20:24:00	4	群内	3	22:28:50	5	群内	1
20:26:11	0	群内	2	22:29:17	4	群内	2
20:26:33	3	群内	1	22:29:30	0	偶发	5
20:27:23	5	群内	2	22:30:46	5	群内	1
20:27:39	-1	群内	1	22:30:57	5	群内	2
20:28:41	1	群内	1	22:31:09	4	群内	1
20:29:04	2	群内	2	22:31:28	3	群内	2
20:30:23	3	群内	2	22:31:40	4	偶发	5
20:30:54	4	群内	2	22:32:25	5	群内	2
20:31:39	5	群内	1	22:32:59	4	群内	1
20:32:10	2	群内	2	22:33:41	1	群内	2
20:36:01	5	群内	2	22:34:13	-2	群内	2
20:39:30	3	群内	1	22:34:48	0	群内	2
20:49:12	4	群内	2	22:35:28	4	群内	2
20:55:43	5	群内	2	22:36:39	3	群内	2
20:59:06	1	偶发	5	22:36:53	5	群内	2
21:17:35	2	群内	3	22:49:15	-3	偶发	4
22:15:41	5	群内	2	23:02:49	5	群内	2

请根据以上数据完成下面问题（低年组只需完成a,b,c；高年组需完成a,b,c,d,e）：

a) 完成下面目视流星观测报表表格：

C	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	总	星等
XYZ												数目	
偶发													

b) 画出XYZ流星雨在本观测时段观测流量随时间变化的曲线（横坐标UTC，纵坐标为流量）。

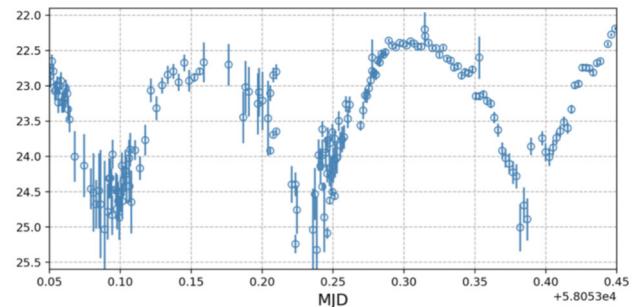
c) 从数据中我们可以推测出该流星群的极大时间大约发生在何时？

d) 假设由于遮挡、视力等因素的影响，该同学漏掉了40%的流星，请计算ZHR值。

e) 流星雨的r值是指该流星雨的群内流星星等每暗一等，流星数目增加的倍数，这是衡量某个流星体群成员大小分布的重要参数。请根据观测数据计算该流星雨的r值。

2. (2018年国家队选拔赛问题5) 星际来客

奥陌陌('Oumuamua)是已知的第一颗经过太阳系的星际天体. 它于2017年10月18日在距离地球约0.2AU处被泛星1号望远镜发现, 并在极端双曲线的轨道上运行. 为了详细研究这颗小天体的性质, 天文学家们利用多台望远镜, 获得了如下图所示的光变曲线, 其中横轴为约化儒略日(MJD), 纵轴为g波段星等.



在这里, 我们认为奥陌陌的周期性光变来源于其自转; 奥陌陌的形状可以被认为是椭球形($2a \times 2a \times 2b$), 它绕着自己的短轴进行自转. 先前观测表明, 奥陌陌轨道的近日距 q 为0.25AU, 离心率 e 为1.19.

1. (高低年组) 利用一条平滑的虚线拟合奥陌陌的光变趋势, 并计算奥陌陌的自转周期.

2. (高低年组) 请计算奥陌陌的光变幅度, 估算椭球体长短轴之比 b/a .

3. (高低年组) 假设奥陌陌反照率为0.04, 在MJD = 58053当天, 奥陌陌的星历如下表所示:

日期	赤经	赤纬	地心距/AU	日心距/AU	距角/°	相位/°
2017 10 26	00 06 10.5	+04 48 35	0.4270	1.3821	150.6	20.7

请根据上表内容, 采用你第二问中得到的长短轴之比 b/a , 计算奥陌陌的短轴长 $2a$. 提示: 相位引起的星等减暗值可以近似取作: $\Phi(\beta) = \beta \cdot 0.04 \text{ mag}^\circ$; g波段下, 太阳视星等为-26.4等.

4. (高低年级组) 估计奥陌陌的密度, 并加以评论.

5. (仅低年级组) 计算奥陌陌离开太阳系引力范围后, 在星际空间内穿行的速度; 它需要多少年才能穿过4光年的距离 (这一距离是比邻星到我们的距离) ?

6. (仅高年级组) 计算奥陌陌进入太阳系引力范围前, 在星际空间内穿行的速度; 假设太阳系附近空间中恒星的平均间距为2 pc, 每颗恒星的引力范围为10 AU, 则在奥陌陌探访太阳系之前, 它大约在星际空间内穿行了多长时间? 这一时间长度和宇宙年龄的比值是多少?

3. (2019年国家队选拔赛实测1) 盖亚时代

近年来, 盖亚卫星(GAIA) 源源不断地向地面传回了高精度的天体测量数据, 相关的研究成果已经深远地影响了我们对银河系的结构和演化历史的认识. 在本题中, 你需要对某一星场的盖亚数据进行分析.

图1展示了某一 $0.8^\circ \times 0.8^\circ$ 天区内所有亮于16等的恒星. 你应该很容易看得出一个疏散星团状的结构, 这就是我们的研究对象NGC 7789 (你甚至可能在秋天观测过它). 显然, 并不是所有恒星都属于这个星团, 所以在正式的分析之前, 你需要选出这里面的所有成员星, 而一个有效的方法就是利用恒星的自行(见图2).

表3中展示了这一视场中40颗恒星的坐标、自行(单位: 毫角秒/年, mas/yr)、视向速度(单位: km/s)和视差(单位: 毫角秒, mas), 请逐步完成下列分析:

- (1)根据视场内恒星的自行信息, 在表3中选出属于NGC 7789 的成员星, 用 \checkmark 号标注.
- (2)分别求出成员星赤经、赤纬的中位数, 并以这个值作为星团的中心.
- (3)求出成员星到星团中心角距离的中位数(单位:角分), 并以这个值作为星团的视半径.
- (4)求出成员星视差的中位数(单位:毫角秒), 并以这个值作为星团的视差.
- (5)根据星团视差和视半径, 求出星团的半径(单位:秒差距, pc).
- (6)求出成员星视向速度中正数第三和倒数第三之间的差值, 并以这个差值的一半作为星团的速度弥散(单位: km/s).
- (7)假设星团半径内恒星密度分布均匀, 请通过位力定理(Virial Theorem), 求出星团的动力学质量(单位:太阳质量 M_\odot).

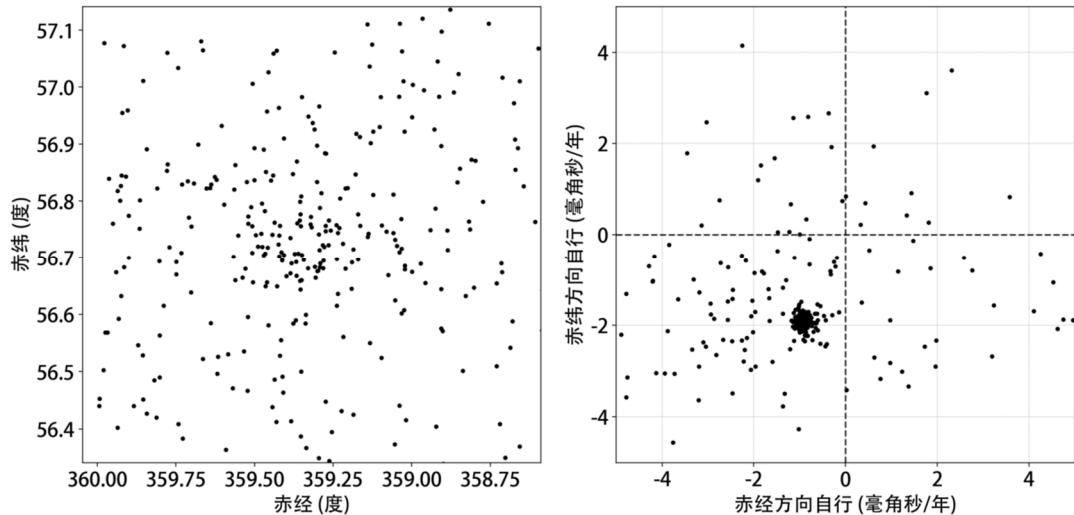


图1

图2

表3 NGC 7789视场内40颗恒星的天体测量数据

赤经			赤纬			赤经自行	赤纬自行	视向速度	视差	成员星
hh	mm	ss.s	dd	mm	ss.s	mas/yr	mas/yr	km/s	mas	
23	56	11.3	56	43	16.5	-0.78	-1.84	-44.53	0.4529	
23	58	04.8	56	45	36.2	-3.65	-1.43	-60.92	0.5486	
23	56	23.1	56	31	25.9	-1.0	0.0	-92.75	0.1388	
23	57	16.9	56	46	19.9	-0.87	-1.93	-54.28	0.3807	
23	58	34.0	56	49	21.9	-3.73	-3.06	-65.37	0.199	
23	57	29.5	56	42	23.5	-0.95	-2.03	-53.29	0.4086	
23	57	24.2	56	39	36.1	-0.89	-2.22	-58.19	0.4158	
23	57	12.1	56	40	31.8	-0.87	-2.05	-55.86	0.4315	
23	59	53.9	56	34	5.2	1.48	-0.14	-7.66	0.3258	
23	55	19.0	56	37	55.0	-3.14	0.2	-37.63	0.3375	
23	59	36.8	56	57	32.1	-3.19	-2.9	-27.44	0.2705	
23	59	52.4	56	34	6.7	-0.44	-2.46	-59.53	1.6158	
23	56	7.7	56	42	58.5	-1.66	-1.91	-53.17	0.438	
23	56	32.4	57	2	10.6	-0.75	-1.83	-54.98	0.4838	
23	57	12.4	56	50	0.7	-1.09	-1.66	-52.87	0.4186	
23	57	24.9	56	23	12.8	-0.37	2.67	-7.84	0.21	
23	55	21.0	56	30	6.0	-2.22	-2.79	-47.34	0.8834	
23	56	6.4	57	0	38.2	-1.08	-1.99	-53.44	0.444	
23	58	58.6	57	2	0.9	-2.47	-1.43	-84.02	0.2589	
23	56	5.5	56	55	19.8	1.81	0.26	7.35	0.3296	
23	57	51.6	56	38	56.6	-0.97	-2.0	-53.83	0.5633	
23	57	52.0	56	42	25.6	1.14	-0.83	-52.02	0.5272	
23	54	44.8	56	32	31.4	-0.89	-2.35	-57.74	0.4585	
23	56	39.3	56	45	24.2	-1.07	-1.97	-53.47	0.4778	
23	57	27.9	56	40	3.8	-0.41	-2.41	-54.6	0.4936	
23	56	17.8	56	40	7.7	-0.65	-2.05	-53.47	0.523	
23	56	12.7	56	43	55.8	-1.14	2.56	-0.54	1.3013	
23	57	41.6	56	57	49.8	-3.94	-3.05	-54.13	0.3573	
23	56	5.4	56	41	7.0	-1.6	-2.79	-76.4	0.4136	
23	55	23.3	56	51	25.9	-0.22	-0.71	-27.64	0.5417	
23	56	33.8	57	6	36.6	-4.13	-3.04	6.69	1.192	
23	57	15.6	56	56	13.2	-0.47	-1.8	-50.22	0.4675	
23	57	50.1	56	43	5.3	-0.94	-1.89	-54.68	0.4265	
23	56	44.5	56	42	53.5	-0.89	-1.86	-53.17	0.4387	
23	58	14.8	56	39	35.5	-0.33	-0.82	-39.42	0.4998	
23	59	41.2	56	57	18.3	-2.02	-2.15	-89.52	0.3774	
23	54	25.8	56	45	47.9	-3.85	-0.22	-17.01	0.4076	
23	58	2.8	56	47	20.9	-0.85	-1.97	-56.26	0.4122	
23	57	44.8	56	45	44.0	-0.6	-1.89	-49.24	0.4057	
23	57	10.1	56	47	16.6	-0.88	-1.77	-52.96	0.4691	

4. (2020年国家队甄选考试实测1)银河系球状星团

在接下来的题目中, 你将重复一项九十年前的重要工作, 不过具体样本略有不同. 表1给出了银河系中19个球状星团的性质:

序号	球状星团编号	B波段视星等 m_B	$B - I$	视直径 d (')
1	NGC 5139	4.46	1.83	10.00
2	NGC 104	4.83	2.02	6.34
3	NGC 6752	6.06	1.59	3.82
4	NGC 6656	6.08	2.40	6.72
5	NGC 5904	6.37	1.67	3.54
6	NGC 6205	6.46	1.54	3.38
7	NGC 6397	6.46	1.76	5.80
8	NGC 6121	6.66	2.45	8.66
9	NGC 6093	8.17	1.95	1.22
10	NGC 4372	8.34	2.60	7.82
11	NGC 6441	8.42	2.89	1.14
12	NGC 6712	9.27	2.74	2.66
13	NGC 6496	9.52	—	2.04
14	NGC 6101	9.84	—	2.10
15	NGC 6569	9.89	3.03	1.60
16	NGC 6558	10.37	2.57	4.30
17	NGC 6139	10.39	3.26	1.70
18	NGC 5946	10.90	2.87	1.78
19	NGC 4147	10.91	1.38	0.96

(1)现在假设所有的球状星团的实际大小(角直径)和B波段光度都一样(当然, 这个假设是错的), 根据这个假设, 我们看到不同大小、不同亮度的球状星团是因为它们到我们的距离不一样. 假设球状星团的典型直径为 D pc, 典型B波段绝对星等为 M_B , 请推导出你期待的球状星团视直径(d , 单位为角分)与B波段视星等(m_B)之间的关系.

(2)根据表格数据, 绘制B波段视星等与视直径的散点图. 请将坐标轴的名称, 刻度标注清晰, 并对合适的物理量取对数坐标.

(3)对绘制的数据进行线性拟合, 写出你得到的关系式, 并在图上标示出来. 你得到的斜率和(1)的结果一致吗(Yes/No)? 你得到的线性关系更陡吗(Yes/No)?

(4)考虑该结果的物理含义(提示: 色指数).

(5)表中的球状星团均使用NGC编号, 你能写出其中两个天体的常用名吗? 请使用国际常用名, 如NGC 6093 = M80.

5. (2017年国家队选拔考实测1) 光变曲线

天文学家们利用斯皮策空间望远镜在4.5 μm 的波段上拍摄到了类太阳恒星巨蟹座55(55 Cnc,质量: $0.95M_\odot$)的光变曲线,并从光变曲线中认证了围绕这颗恒星运转的一颗行星55 Cnc e,并发现其有相当高的温度.

图1即为在这颗行星围绕其宿主恒星运转一个周期内整个系统的光变曲线(实际周期0.7365天,这里的轨道相位范围为0~1;黑色数据点为按相位叠加的若干个周期内多次测光的结果),纵坐标表示在该波段上整个系统的亮度相对于宿主恒星亮度(F_\star)的起伏, p.p.m.的含义为百万分之一.

在这里,我们假设行星轨道为圆轨道,行星轨道平面与视线方向夹角为0;本题目中不考虑该恒星的其他行星的影响.

(1)(低年组)恒星被行星掩食最深处的相位为多少?行星完全被恒星遮挡住的时候,相位的范围是多少?除了两次掩食所在的位置,曲线的波动意味着什么?

(2)(高、低年组)请计算出55 Cnc e的轨道半长轴 a (单位:au).

(3)(高、低年组)请根据光变曲线,计算出恒星的半径 R_\star (单位:太阳半径 R_\odot),以及其相对于55 Cnc e的轨道半长轴的比值.

(4)(低年组)假设恒星视圆面为一个亮度均匀的圆盘,请根据恒星被行星掩食最深时的亮度起伏,估算行星半径 R_p 相对于 R_\star 的比值,并计算 R_p (单位:地球半径 R_\oplus).

(5)(高年组)恒星视圆面实际上并非亮度均匀,根据灰大气模型的近似,恒星视圆面上距恒星中心 r 处的辐射流量为:

$$I\left(\frac{r}{R_\star}\right) = I(0) \cdot \left(\frac{2}{5} + \frac{3}{5} \sqrt{1 - \frac{r^2}{R_\star^2}} \right), I(0) \text{为恒星视圆面中心处辐射流量.}$$

请根据上述公式,结合恒星被行星掩食最深时的亮度起伏,估算行星半径 R_p 相对于 R_\star 的比值,并计算 R_p (单位:地球半径 R_\oplus). 如果你不会计算,你可以按照低年组第4问的做法来处理,但是只能拿到一半的分数.

(6)(高年组)假设行星表面按温度不同,可划为两个区域:亮面温度为 T_{\max} ,暗面温度为 T_{\min} ,已知宿主恒星光球层温度为5400 K,请根据光变曲线,假定恒星和行星均为绝对黑体,估算行星亮面和暗面的温度.

提示:温度为 T 的黑体,其辐射强度在波长 λ 上的分布满足于普朗克公式:

$$B_\lambda(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1}$$

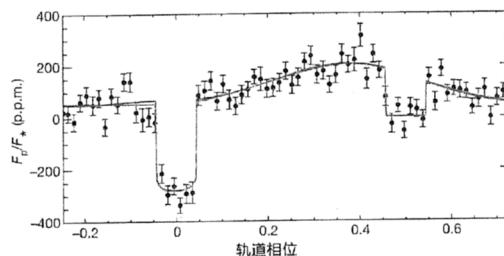


图1 55 Cnc e系统的光变曲线

6. (2017年国家队选拔考实测2) 自行

较近的恒星自行测量较为容易,而较远的恒星自行测量误差通常很大. 不过对较远的一群恒星可以测量其平均自行.

表1中给出了使用相隔约7年的两次地面巡天的数据得到的某100平方度视野内的恒星平均自行的赤经、赤纬分量(假设已完美修正系统误差),单位为毫角秒/年(mas/yr). 其恒星选区在图2左栏的颜色-星等图上纵排列. 其中 g 为恒星的 g 波段星等, i 为恒星的 i 波段星等.

图2右栏则是年龄为13亿年,金属丰度为 $[Fe/H] = -1.5$ 的恒星在赫罗图上的位置. 这些参数和银晕中恒星的参数相近. M_g 为 g 波段的绝对星等.

若假设银晕中恒星运动基本处于平衡态,则其中的恒星平均速度必为0 (相对银河系质心惯性系). 表2给出了某一距离下银晕恒星平均自行的理论值.

(1)请在图2右栏中标出:

①主序; ②亚巨星支; ③水平支.

占选区内恒星多数的是: ()

A、主序星 B、红巨星 C、白矮星

D、亚巨星 E、水平支巨星

(2)在坐标纸上画出不同选区恒星的平均自行,并(在同一张图上)利用表2数据画出不同距离下平均自行的理论值.

(3)计算距离为1 kpc,相对太阳切向速度为100 km/s的恒星的自行(单位: mas/yr).

(4)分别通过以下两组数据估算选区中恒星的平均距离,并填入表1. (可以用尺子)

①图2左、右两栏;

②表1的自行值(选区1~5)和表2.

(5)已知该视野中心银经 275° ,银纬 74° . 请反推表2所使用的太阳速度. (可近似认为太阳速度朝向银经 90° ,银纬 0° 方向.)

(6)用第4问中方法1的距离计算太阳的运动速度. 这个结果是否可靠?为什么? (可画图说明)

(7)矮星系在进入大星系的潮汐范围后就会在其轨道前方和后方延伸出长长的“尾巴”. 银河系内最明显的潮汐“尾巴”(来自人马座矮星系)就恰好穿过我们的巡天视野. 观测表明这个潮汐“尾巴”到我们的距离大约是35~40 kpc,同时其中恒星在赫罗图上的位置与图2右栏很相似. 请用已有数据估算这条“尾巴”在银心参考系中的速度下限. 除去自行测量的误差的因素外,为什么只能得到下限?

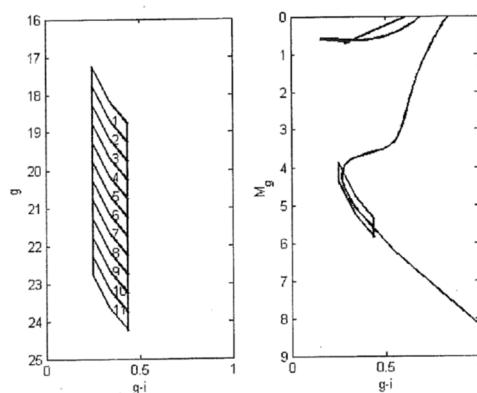


图2

选区	$\mu_\alpha \cos \delta$ (mas/yr)	μ_δ (mas/yr)	恒星数N	自行误差 (mas/yr)	距离(1) (kpc)	距离(2) (kpc)
1	-4.78	-6.85	2534	0.18		
2	-3.94	-5.43	3303	0.14		
3	-3.10	-4.40	4528	0.11		
4	-2.36	-3.57	6168	0.09		
5	-2.00	-2.63	7806	0.09		
6	-1.67	-1.81	10003	0.09		
7	-1.49	-1.33	12089	0.09		
8	-1.54	-0.81	13427	0.11		
9	-1.65	-0.56	13361	0.14		
10	-1.62	-0.44	9067	0.19		
11	-1.66	0.01	3396	0.36		

表1

距离(kpc)	$\mu_\alpha \cos \delta$ (mas/yr)	$\mu_\alpha \cos \delta$ (mas/yr)
20.00	-1.344	-1.975

表2

7. (2016年国家队选拔考实测1) 测量超新星1987A的距离

SN1987A是一颗著名的超新星,它的编号表明它是1987年观测到的第一颗超新星. 图1中的左、右部分分别是SN1987A爆发后和爆发前所拍摄的,其中箭头所指示的为SN1987A.

1994年是哈勃望远镜首次能够拍摄SN1987A的时间,在此之前它一直不能正常工作. 图2是哈勃望远镜在SN1987A爆发的1278天后拍摄的. 图3是图2的局部放大,也是本题需要被用来测量的图. 在这两个图中有3个圆环,其中关于2个外环的来源目前天文学家还存在争议,但对其中的小内环的来源大多数天文学家则有着基本的共识,在本题中我们主要使用这个内环来进行我们的分析和计算.

关于这个小内环,因为它离SN1987A太远,所以不可能是超新星爆发时所喷发的物质,天文学家们认为它是SN1987A的前身星在超新星爆发数千年前喷发的物质环,这个环上各点的物质被SN1987A超新星爆发产生的强紫外辐射后发亮然后缓慢变暗,虽然在图2拍摄时物质环上的各点发光的亮度峰值已经过去了许多天,但是这个物质环的发光仍然明亮可见.

在本题中,我们做如下假设.

假设1:物质环是一个以SN1987A为中心的完美圆,图3中的物质环之所以呈现成椭圆形状是因为该物质环所在的平面与哈勃望远镜的视线垂直面有一个不为零的倾角 i (见图4). 在图4中, A点是物质环上距离我们最近的一点, B点是距离我们最远的一点. 虽然物质环上的A点和B点是同时被超新星的紫外辐射所照亮的,但是在地球观测者看来A点是先于B点被照亮的,这是解决本题的关键.

假设2:因其运动速度远小于光速,所以物质环可以被视为静止不动.

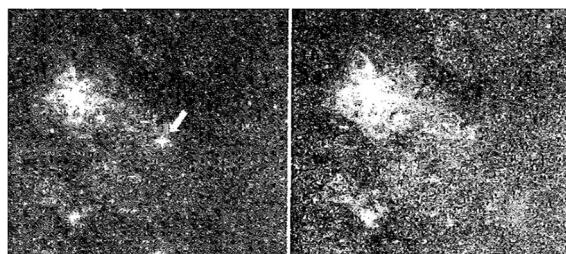


图1

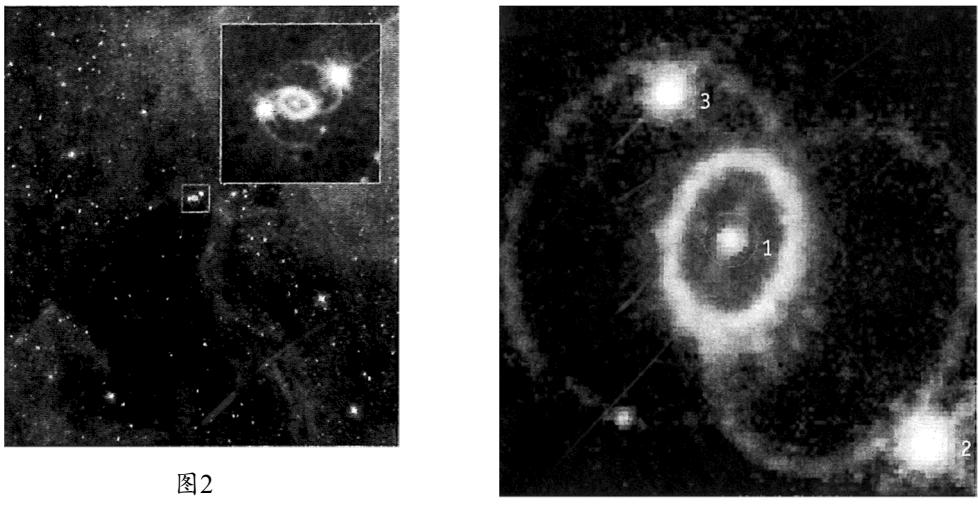


图2

图3

图5是以超新星爆发为时间原点的物质环(不含超新星本身)整体发光的测光数据,这个数据是由另一个空间望远镜(IUE) 获取的,在分析这个数据时我们需要用到另一个假设.

假设3:从地球上看,当物质环上距离我们最远的一点(即图4中的B点)被超新星的紫外辐射照亮时,物质环整体发光的亮度(即图5中的测光值)达到峰值. 而且假定,图5的测光数据只包含了物质环被紫外辐射照射后的发光测量值.

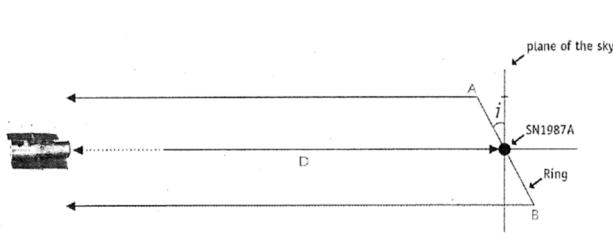


图4

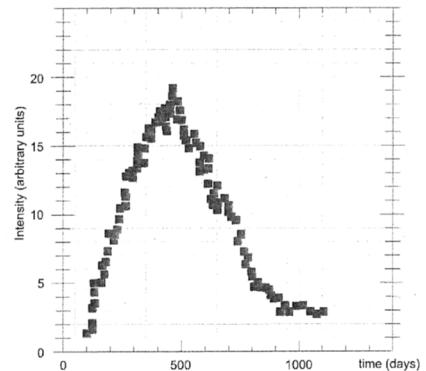


图5

在以上背景资料的基础上,请进行如下的测量和计算:

(1)计算物质环的视直径 a .

图3中1、2、3分别代表3颗恒星,表1中列出它们之间的角距离,请利用图3测量并填写表1中的空格. 然后测量并计算物质环的角直径 a (即物质环的真直径对我们的张角,以弧度为单位).

	图3中的距离 (mm)	角距离 (角秒)	比例尺 (角秒/mm)	平均比例尺度 (角秒/mm)
星2与星1间距		3.0		
星3与星1间距		1.4		
星3与星2间距		4.3		

表1

(2)计算物质环所在平面的倾角 i .

如前所述,倾角 i 的定义是物质环所在平面与视线垂直面间的夹角(见图4). 请通过图3的测量值计算倾角 i .

(3)计算物质环的直径 d .

定义 d 为物质环的真实直径(即图4中A点与B点的间距),请仔细考虑从地球所观测到的物质环发光的物理图像,通过对图5相关物理量的测量,结合(2)所获得的结果,计算物质环的直径 d (以米为单位).

(4)利用以上结果,计算SN1987A的距离 D (见图4).

8. (2016年国家队选拔考实测2) 视差

三角视差是测量天体距离的有效方法之一. 表2中给出了利用VLBI(甚长基线干涉仪)观测昴星团中编号为 hii_625 的恒星的数据. 提示:黄道坐标系与赤道坐标系的转换公式为 $\sin \beta = \cos \varepsilon \sin \delta - \sin \varepsilon \cos \delta \sin \alpha$, $\cos \beta \cos \lambda = \cos \delta \cos \alpha$. 其中, α 为赤经, δ 为赤纬, λ 为黄经, β 为黄纬, ε 为黄赤交角.

	Julian Date	hh mm ss (RA)	err_RA(s)	$^{\circ} \ ' \ ''$ (Dec)	err_Dec(")
1	2456018.36	03 45 21.2035163	0.0000042	+23 43 38.340643	0.000179
2	2456060.25	03 45 21.2039877	0.0000072	+23 43 38.336247	0.000143
3	2456144.01	03 45 21.2048741	0.0000025	+23 43 38.328707	0.000068
4	2456185.93	03 45 21.2050142	0.0000009	+23 43 38.323798	0.000027
5	2456227.79	03 45 21.2049262	0.0000040	+23 43 38.318108	0.000077
6	2456310.56	03 45 21.2046021	0.0000093	+23 43 38.305108	0.000249
7	2456396.32	03 45 21.2050618	0.0000059	+23 43 38.295017	0.000099
8	2456445.27	03 45 21.2056562	0.000081	+23 43 38.290298	0.000182

表2

请根据数据解决下列问题:

(1)计算每次观测 hii_625 的黄纬 β .

(2)计算每次观测 hii_625 的黄经 λ .

(3)在坐标纸上描绘 hii_625 的黄经随时间的变化趋势,并解释造成黄经变化的原因.

(4)画出从地球轨道上(假设为正圆)任一位置观测 hii_625 视差的示意图,并推导 hii_625 黄经 λ 的表达式. 地球的日心黄经可以表示为 θ ,日地距离为 r , hii_625 到太阳的距离为 D .

(5)计算 hii_625 的距离.

9. (2015年国家队选拔赛实测1) KID8005892长周期高偏心率系统

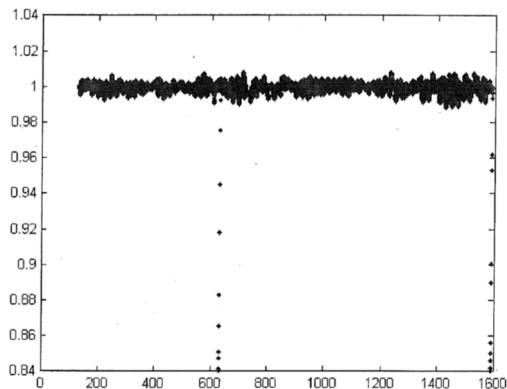


图1

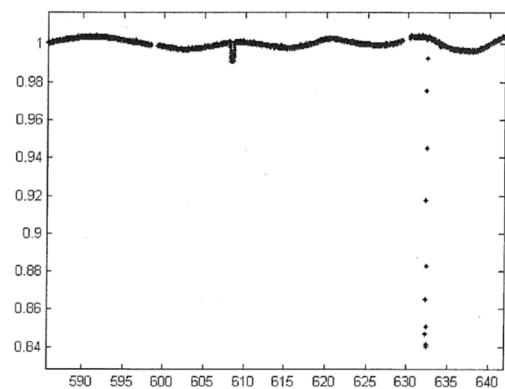


图2

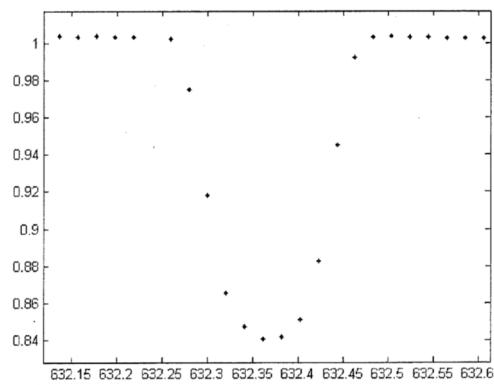


图3

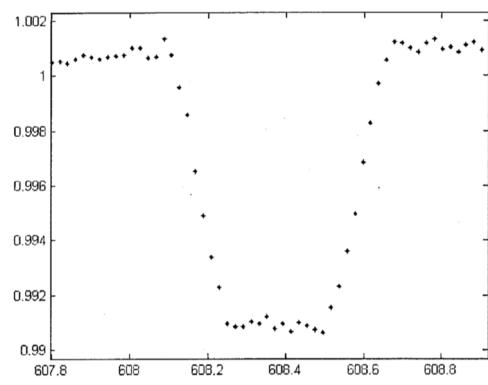


图4

图1-图4为开普勒卫星观测到的长周期高偏心率系统KID8005892. 横坐标为时间,单位为天; 纵坐标.为相对亮度. 开普勒空间望远镜每30分钟曝光一次.

(1)通过图1、2求系统偏心率 e 的下限; 假设轨道倾角 $i = 0$. 提示:对椭圆有近似公式:

$$A/S = \frac{(1-e)^{3/2}}{2}, A \text{为由一条过焦点、平行于短轴的直线分割椭圆后较小区域的面积, } S \text{是椭圆面积, } e \text{为偏心率.}$$

圆面积,

(2)由图2估算两星半径比.

(3)由图3估算两星表面温度比. 该系统中,高温星半径大还是小?说明理由.

(4)该系统是行星系统还是双星系统? .

(5)请简要解释能否通过图3、4求出更确切的偏心率 e .

10. (2015年国家队选拔考实测2) 早期宇宙中的类星体

天文学家发现了一颗类星体,其编号为J010013.02+280225.8,利用位于美国亚利桑那州的口径为8.4 m的大双筒望远镜(LBT),得到了它的光学波段光谱(如图5所示).

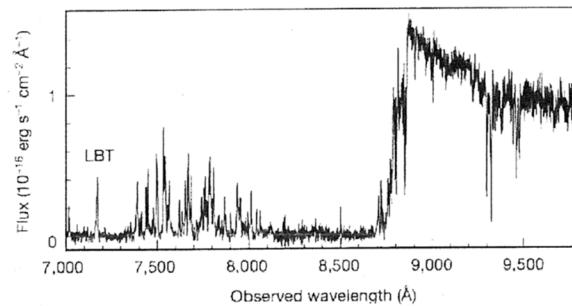


图5

(1)在J010013.02+280225.8的光学波段光谱当中,我们能找到Ly α 的发射线. 在物理课上,

你可能了解过氢原子光谱的里德伯公式: $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right)$.

其中, λ 为氢原子谱线的波长, $R = 1.09737 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ 记作里德伯常量, n 与 n' 可以理解为氢原子中电子跃迁前后的能级. 对于巴耳末系(包含我们熟知的H α 、H β 等谱线), n 取2; 而对于莱曼系而言, n 取1. 请你计算出Ly α 线的静止波长(rest-frame wavelength), 并读出J010013.02+280225.8谱线中Ly α 线的波长.

(2)计算这颗类星体的红移 z .

(3)图6所展示的是J010013.02+280225.8光学与近红外波段结合起来的光谱, 使用了LBT拍摄的光学波段数据和Magellan及Gemini拍摄的近红外波段数据. 其中还包含了一张Mg II线附近的谱线图(图中PL是指没有谱线时满足幕率关系(Power law)的连续光谱). 由于多普勒效应, 谱线发生展宽现象. 请在图6(1)中标出Mg II线的半高全宽(FWHM, 即在函数的一个峰当中, 函数值等于峰值一半的两个点之间的宽度)的两个端点, 并求出FWHM的值(用展宽对应的速度作为单位).

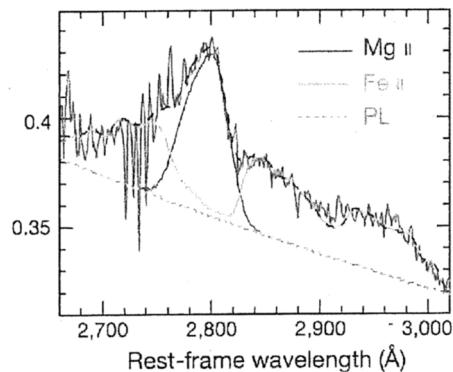


图6(1)

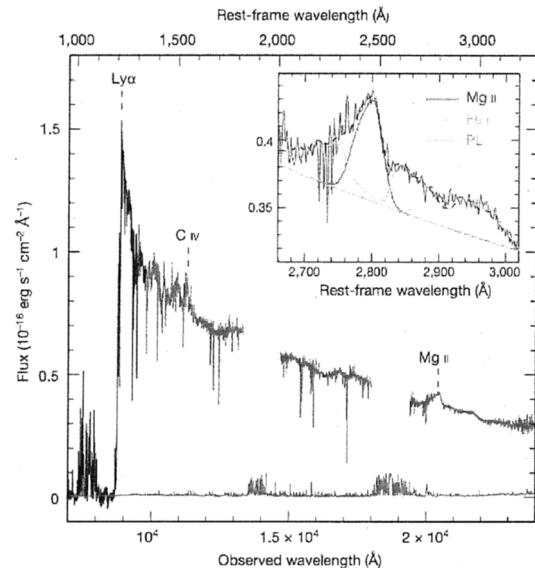


图6(2)

(4)利用如下经验公式,可以求出类星体中心黑洞的质量.

$$\lg\left(\frac{M_{\text{BH}}}{M_{\odot}}\right) = 0.505 + 0.62 \times \lg\left(\frac{L_{3000}}{10^{44} \text{ ergs}^{-1}}\right) + 2 \lg\left(\frac{\text{FWHM}}{\text{km s}^{-2}}\right)$$

其中, M_{BH} 为黑洞质量, L_{3000} 指的是在静止波长3000 Å处类星体的光度, 为 $3.15 \times 10^{47} \text{ erg s}^{-1}$. 现在, 请你用这种办法求出黑洞的质量, 用 M_{\odot} 作为单位即可.

(5)在图6 (2)中, 类星体的近红外波段光谱分成J (1.1– 1.4 μm)、 H (1.5–1.8 μm)、 K (2.0–2.4 μm)等波段. 请简要解释分段的原因.

11. (2018年IOAA数据分析2) 双星系统中的致密天体

在阿帕奇天文台的“星系演化实验” (APOGEE)中, 天文学家在御夫座(Auriga) 天区发现了一个不同寻常的双星系统. 在以下这些题目中, 你将要分析数据, 并自己重现他们的发现.

研究团组致力于用径向速度(radial velocity, RV)方法找出双星系统中的致密恒星. 他们研究了APOGEE存档的“单一”恒星的光谱, 并测量了这些数据中恒星径向速度的视变化. 针对其中大约200颗有着最高加速度的恒星, 研究人员比对了超新星自动化全天巡天(ASAS-SN)获得的光度变化数据, 来分析哪些有可能存在凌星(transit)、椭球变星(ellipsoidal variation)或者恒星黑子(starspot)等现象. 此后, 他们找出了一颗径向速度变化很大、光度变化也很大的恒星, 名为2M05215658+4359220.

2.1. 下表展示的是恒星2M05215658+4359220在APOGEE光谱观测的三个径向速度测量值. 这里我们假设它的径向速度的变化是由一颗看不见的伴星引起的. 恒星的自行可以忽略.

表3: APOGEE测量的恒星2M05215658+4359220的径向速度值

观测序号	约化儒略日 MJD	径向速度 RV (km/s)	误差 Uncertainty (km/s)
1	56204.9537	-37.417	0.011
2	56229.9213	34.846	0.010
3	56233.8732	42.567	0.010

(D2.1.1) 利用这些数据和一个简单的线性模型, 来初步估算恒星的视最大加速度:

$$a_{\max} = \frac{\Delta RV}{\Delta t} \bigg|_{\max} \quad (\text{其中单位为} \text{ km s}^{-1} \text{ day}^{-1})$$

(D2.1.2) 请利用这些数据, 初步估计那颗看不见的伴星的质量.

2.2. 在发现了这颗特殊恒星之后, 天文学家展开了后续观测, 使用的设备是位于美国亚利桑那州霍普金斯山弗雷德劳伦斯惠普尔天文台(FLWO) 的1.5米多目标反射光栅摄谱仪(TRES). 以下表格展示的就是用这个设备得到的径向速度测量值.

表4: TRES测量的恒星2M05215658+4359220 的径向速度值

约化儒略日 MJD	径向速度 RV (km/s)	误差Uncertainty (km/s)
58006.9760	0	0.075
58023.9823	-43.313	0.075
58039.9004	-27.963	0.045
58051.9851	10.928	0.118
58070.9964	43.782	0.075
58099.8073	-30.033	0.054
58106.9178	-42.872	0.135
58112.8188	-44.863	0.088
58123.7971	-25.81	0.115
58136.6004	15.691	0.146
58143.7844	34.281	0.087

(D2.2.1) 在画图纸上绘制TRES径向速度(RV)和时间的关系图, 记为图4 (Figure 4). 绘制一个合适的正弦曲线来拟合给定的数据. 根据你的绘图, 估算其轨道周期(P_{orb}) 和径向速度的半变幅(K , 即正弦曲线的振幅).

(D2.2.2) 如果这颗恒星在以圆轨道运转, 求这颗恒星的轨道半径(r_{orb})的最小值, 分别用太阳半径 R_{\odot} 和天文单位au表示.

(D2.2.3) 双星系统的质量函数可以定义为:

$$f(M_1, M_2) = \frac{(M_2 \sin i_{\text{orb}})^3}{(M_1 + M_2)^2}$$

其中下标“1”代表主星, “2”代表它的伴星. 参数 i_{orb} 是双星系统的轨道(orb)倾角. 这个质量函数也可以用可观测量表示. 计算这个系统的质量函数, 以太阳质量 M_{\odot} 为单位.

2.3 基于对APOGEE、TRES光谱和GAIA视差测量的详细分析, 天文学家得出如下恒星参数.

表5: 恒星2M05215658+4359220 的部分物理参数

有效温度 T_{eff} (K)	表面重力 $\log g$ (cm/s^2)	视差 π 毫角秒 mas	测量的径向自转速度 $v_{\text{rot}} \sin i$ (km/s)	热辐射流量 F (W m^{-2})
4890 ± 130	2.2 ± 0.1	0.272 ± 0.049	14.1 ± 0.6	$(1.1 \pm 0.1) \times 10^{-12}$

测光观测表明, 它的光变曲线的周期与轨道周期相同, 因此我们可以假定它的自转周期和轨道周期相等: $P_{\text{rot}} = P_{\text{orb}} = P$, 且轨道倾角和恒星自轴倾角(rot)满足 $i_{\text{orb}} = i_{\text{rot}} = i$.

(D2.3.1) 计算能看见的那颗恒星的光度(L_1 , 单位为 L_{\odot})、半径(R_1 , 单位为 R_{\odot})、轨道倾角正弦值($\sin i$), 以及质量(M , 单位为 M_{\odot}). 每个量都要给出误差.

(D2.3.2) 从以下选项中, 选出这颗恒星的正确类型:

- (1) 蓝巨星(Blue Giant),
- (2) 黄主序星(Yellow main sequence star),
- (3) 红巨星(Red Giant),
- (4) 红主序星(Red main sequence star),
- (5) 白矮星(White Dwarf).

(D2.3.3) 基于双星系统的质量函数 $f(M_1, M_2)$, 在你的图画纸中画出伴星质量 M_2 (纵轴)相对于主星质量 M_1 (横轴)的曲线, 记为图5 (Figure 5).

这里你需要根据(D2.3.1)中推导出的($\sin i$)作图, 并考虑其误差, 把根据其上限($\sin i + \Delta \sin i$)和下限($\sin i - \Delta \sin i$)计算所得的曲线也画在图上.

(D2.3.4) 在你画的图5中, 画出一个垂直阴影区域, 覆盖范围 $[M_1 - \Delta M_1, M_1 + \Delta M_1]$, 再画两条水平的虚线, 纵坐标取值分别为白矮星和中子星的质量上限. 那颗看不见的伴星 M_2 , 它的质量可能是多少? 它可能是一个什么天体?

12. (2018年APAO高低年组实测1) 经度与纬度

地球的自转和公转会使天体发生周日视运动和周年视运动. 每晚, 天体都会穿过观测地点的子午圈. 由此, 当天体的天顶距最小即上中天时, 我们可以通过计算上中天的时间来得到观测站的经纬度.

表6给出了某个天文台的一些观测数据, “ T ”是中天时间(北京时间), “ Z ”是天顶距, “ D ”是中天时天体相对于天顶的位置, 其中“N”表示天体在天顶的北侧, “S”表示天体在天顶的南侧. “RA”和“DEC”是视位置的赤经、赤纬. 由于大气折射的影响, 地基观测站测得到天顶距与真实的天顶距会有少许的差异, 所以观测数据需要足够多, 并且应分布在子午圈的不同位置.

6.1计算每次观测的经度“ λ ”和纬度“ φ ”(精确到小数点后4位), 把结果填入下表中.

你可以用下面的公式计算经度 λ :

$$\lambda = [\text{RA} - 16.0372^{\text{h}} - (T - 8)^{\text{h}} \times (1 + 1/365.2422) + 24^{\text{h}}] \times 15^{\circ}$$

其中, RA是赤经, 16.0372^{h} 是观测的起始日期(在格林尼治)真太阳时与平太阳时的时间差, $(T - 8)^{\text{h}}$ 是中国的标准时间与格林尼治的时差, $(1 + 1/365.2422)$ 是真太阳时与平太阳时之间的换算, 24^{h} 是为了经度的结果为正值而引入的修正量.

No.	λ (°)	φ (°)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

6.2计算经度和纬度的平均值, 以(°)为单位, 把结果表示为 $\langle \lambda \rangle = \dots, \langle \varphi \rangle = \dots$

6.3计算每次观测得到的纬度 φ 与 $\langle \varphi \rangle$ 的差值($\Delta \varphi = \varphi - \langle \varphi \rangle$). $\Delta \varphi$ 的单位是角秒(").

画出 $\Delta \varphi$ 与天顶距正切值($\tan(Z)$)的关系图. $\tan(Z)$ 为X轴, $\Delta \varphi$ 为Y轴.

6.4对上一问画出的图进行线性拟合, 算出斜率 A (单位是角秒(")). 由此得出大气折射的模型, $\Delta \varphi = A \cdot \tan(Z)$, A 的结果请保留小数点后一位.

No.	T			Z			D	RA			DEC		
	h	m	s	°	'	"		h	m	s	°	'	"
1.	22	5	47.580	31	13	58.23	N	13	1	31.052	56	16	20.70
	$=22.9655^{\text{h}}$							$=13.02529^{\text{h}}$					
2.	22	21	12.780	45	3	12.33	S	13	16	58.873	-20	2	26.52
	$=22.35355^{\text{h}}$							$=13.28302^{\text{h}}$					
3.	22	28	28.992	30	2	20.99	S	13	24	16.311	-5	1	9.93
	$=22.47472^{\text{h}}$							$=13.40453^{\text{h}}$					
4.	22	36	15.264	16	58	52.11	N	13	32	3.805	42	0	56.66
	$=22.60424^{\text{h}}$							$=13.53439^{\text{h}}$					
5.	22	39	23.544	23	53	22.50	N	13	35	12.642	48	55	35.34

	=22.65654 ^h							=13.58685 ^h					
6.	22	41	49.884	46	6	26.22	N	13	37	39.326	71	9	14.62
	=22.69719 ^h							=13.62759 ^h					
7.	22	47	17.016	16	43	37.88	S	13	43	7.436	8	17	50.18
	=22.78806 ^h							=13.71873 ^h					
8.	23	1	31.692	24	3	34.11	S	13	57	24.400	0	57	45.03
	=23.02547 ^h							=13.95678 ^h					

表6

13. (2018年APAO低年组实测2) 食双星

利用丽江天文台的2.4 m望远镜观测了一颗食双星的视向速度. 表7-a中给出了处理过的部分数据. 观测时间是儒略日, v_1 和 v_2 分别是星1和星2的视向速度, 速度的单位是km/s, 双星的绕转轨道是圆轨道.

7.1计算绕转轨道周期(以天为单位).

7.2在一张图中画出两颗子星的视向速度曲线(X轴是相位, 相位的零点为JD2457888.63199, 这是观测食双星的最小时间).

7.3计算食双星整体的视向速度(如果结果为负, 表示在靠近观测者. 如果结果为正, 表示在远离观测者.)

7.4计算两颗星的质量比 q ($q = M_2 / M_1$, M_1 和 M_2 分别代表星1和星2的质量, 1和2的编号与 v_1 和 v_2 是对应的).

Observational Time (JD)	V_1 (km/s)	V_2 (km/s)
2458203.01601	-300.6	75.7
2458203.03151	-340.5	94.2
2458203.04772	-353.0	104.1
2458203.07990	-283.0	90.8
2458203.11140	-140.7	57.5
2458203.12645	-48.8	-41.4
2458203.14290	41.2	-142.9
2458203.17350	194.9	-175.9
2458203.18924	231.5	-191.0
2458203.20481	253.8	-197.3
2458203.22072	247.4	-181.6
2458203.23636	219.5	-170.8
2458203.26764	120.1	-94.9
2458203.28372	-40.2	-42.9
2458203.29952	-210.3	-3.8
2458203.31535	-247.2	40.2

表7-a

14. (2018年APAO高年组实测2) 黑洞

类星体光谱是幂律谱($f \sim \lambda^{-a}$, 如果波长间隔不是特别大的话, 可以近似为直线)与可能存在的发射线的叠加. 其中 f 是流量, λ 是波长.

我们可以从光谱中得到发射线的谱线宽度. 通过宽发射线的宽度可以得出黑洞外分子云的轨道速度. 通过一系列的光谱观测, 我们可以得到一些波长的连续谱流量和发射线流量. 连续谱主要是黑洞附近的吸积盘产生的. 根据两条光变曲线中, 相近的峰值或谷值, 我们可以得到连续谱与发射线之间的时间延迟. 静止坐标的时间延迟等于光线从黑洞附近向外传递到会产生宽发射线的分子云的时间

间. 如果测得了绕黑洞旋转的分子云的距离和轨道速度, 就可以得出中心黑洞的质量.

图7是一颗类星体的光谱. 波长的单位是埃. 两条强发射线分别是 H_{β} 线和[O III]线. 类星体是用丽江天文台2.4 m望远镜的光谱仪拍摄的.

表7-b中给出了几个月内检测的5100埃连续谱和 H_{β} 发射线的流量. 第1列是观测时间, $T =$ 儒略日JD – 2457035.5. 第2列和第3列分别是连续谱和 H_{β} 线的流量.

7.1测算类星体的红移(z).

7.2利用表7-b中给出的数据, 画出连续谱和 H_{β} 线的光变曲线. 根据它们的相近结构, 计算它们二者之间在静止坐标系下的时间延迟. 结果以天为单位.

7.3假设 H_{β} 线是绕黑洞旋转的分子云产生的. H_{β} 线的半高全宽反映了分子云的轨道运动. 请计算分子云的轨道速度. 结果以km/s为单位.

7.4计算黑洞质量. 结果以kg为单位.

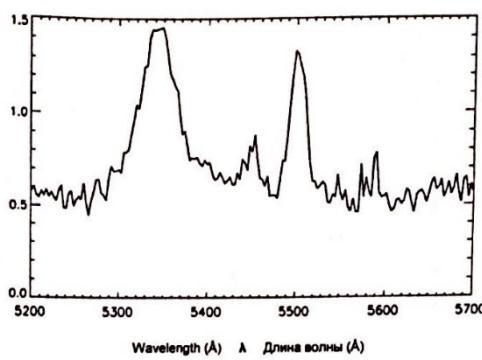


图7

T	$f(5100 \text{ \AA})$	$f(H_{\beta})$	T	$f(5100 \text{ \AA})$	$f(H_{\beta})$
14.0	5.7	4.2	54.0	5.1	4.1
18.0	4.7	3.7	58.8	4.4	3.8
26.0	4.2	2.8	62.8	3.4	3.0
28.0	3.9	2.7	65.8	3.1	2.6
33.0	4.5	2.5	68.8	2.8	2.1
35.0	5.0	2.3	72.0	3.0	1.6
37.0	5.2	2.5	76.0	3.4	1.3
45.0	6.0	3.5	81.8	3.8	1.7
50.0	6.3	3.9	90.0	4.5	2.3

表7-b