

分光双星视向速度研究

沈良照

(中国科学院北京天文台)

提 要

经历了一百年的发展,这一领域早已成为恒星物理学的基本支柱之一。本文分十二个方面介绍近几年来的一些进展,兼及某些存在问题与展望;最后提及这方面研究在我国的发展和前景,认为关键在于努力建成恒星视向速度的实测基础。

1989年是发现分光双星一百周年^[1]。本文试对近来一些进展作一概括,主要着眼于得出分光谱的研究,但未涉及无缝光谱工作。前几年笔者曾介绍过某些国际进展^[2]。北京天文台和云南天文台的合作概况可见文献^[3]。

一、进 展

1. 分光双星分光谱

1978年在加拿大 Dominion Astrophysical Observatory(DAO)台刊上发表了978对分光双星的《分光双星分光谱第七表》^[4]。由 Batten 等学者新编注的《分光双星分光谱第八表》,刊载1469对分光双星基本上到1987年中期为止的结果,已经在1989年中期出版^[107]。《第八表》刊载分光双星数比《第七表》增加了约50%,而《第七表》则比1967年出版的《第六表》增加了大约30%。另外,据法国出版的分光谱第15补编^[9],1982—1986年5年期间平均每年发表81组分光谱。

分光谱的进展有种种情况。例如 35Com^[7]是首次发表分光谱,DM Per^[8]是已有解的更新,五车二^[9]是文献[4]的单谱分光谱更新为双谱分光谱, α CrB^[10]、 β Ari^[11]是已知单谱解更新为双谱分光谱,EE Peg^[12,13]是已知单谱解先更新为双谱解,后又求得三谱分光谱。发表了单谱分光谱的 η CasA^[14],别人重新分析数据后认为分光谱是虚假的^[15],而1986—1987年特高精度重新观测表明此星并没有显著的视向速度变化^[16]。HD 25799,原先以为是轨道周期10.67天的单谱分光双星^[17],经后人重新观测视向速度并结合测光,分析认为它像是一颗周期0.9122天的非径向脉动单星^[18]。反之,例如IAU视向速度标准星HD 184467,经用DAO视向速度仪观测,已确认为双谱分光双星^[19];仔细分析多年资料,发现世界第一架视向速度仪采用的参考基准四星之一HR152是单谱分光双星^[20];IAU视向速度标准星大角,特高精度观测表明其视向速度具有周期640天以上、幅度 $500\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的变化,这是由于对流元

1989年7月24日收到。

1989年11月20日收到修改稿。

运动, 自转效应, 还是由于分光双星轨道运动? 尚需继续探索^[100]。

2. 分光解文章系列

Griffin 以“光电视向速度分光解”为总标题, 自 1975 年起在英国双月刊 *The Observatory* 上发表文章, 到 1989 年 10 月号已达第 88 篇^[21], 其中包括 S 型星中首次得出分光解的 HR 1105^[22], 轨道偏心率大到 0.904 ± 0.004 的 HD 210647^[23] 等。部分统计表明, 其中周期 3—3000 天的分光双星数随周期愈长而愈多^[24], 这种分布和以前所知不同, 为研究双星的起源和演化提供了新线索。Griffin 的另一系列“北银极附近的光分双星”至少已发表了第 16 篇文章^[25]。这类文章系列还有很多, 如文献[26—29]等。

3. 恒星基本参量的测定

求恒星质量和半径的最可靠方法之一是分光双星双谱分光解和食双星测光解相结合。从事这种研究的学者有 Popper^[30]、Lacy^[31]、Imbert^[27] 等。范例之一是 Andersen 等的 AI Phe 工作^[32], 不仅精测了两子星质量, 其误差小于本值的 0.4% (误差绝对和相对值都小于前些年对 YZ Cas 的精确测定, 参见文献[2]), 还求得了金属丰度, 在赫罗图上和理论值对比, 得到两子星氦含量 $Y = 0.27 \pm 0.02$, 年龄 $(4.1 \pm 0.4) \times 10^8$ 年, 反映了用密近双星实测来检验恒星演化理论的较新动向。Hill 等人研究 V380 Cyg^[33], 求得其年龄约 8×10^6 年, 并推测它将在约 5×10^5 年后开始子星间的质量转移; 不久前又发表了对 44 Boo ABC 的基本参量、视差和周期变化的细致研究^[34]。在 DAO 的年度报告中还反映 Hill 在大规模重测至少 70 对分光双星的视向速度, 其中很大部分是食双星^[5], 选星之广确实引人注目。

分光双星双谱分光解结合干涉双星轨道解而测定两子星质量和视差的研究, 继 1971 年发表的角宿一之后, 近几年来又有 ϕ Cyg^[35]、五车二^[9]、 χ Dra^[36] 等, 其中有的工作还试估或讨论自转数据、化学组成、年龄及演化等方面, 五车二两子星质量比的争议需要继续研讨^[37-38]。

4. 包含造父变星的分光双星

DL Cas^[39-40]、SU Cyg^[41-42]、AW Per^[93]、W Sgr^[95] 等已经求出分光解。Z Lac^[94] 虽已确认是分光双星, 但资料还不足以求解。这一领域成果不少, 但由于很难找到双谱分光双星兼食双星, 想要这样来测定造父变星的质量和半径仍是当前的一个理想。

5. W UMa 型双星

由于现代化探测器和交叉相关软件的应用, 这类双星的视向速度研究蓬勃开展 (其中很多都结合测光分析)。DAO 的 Hill 研编的软件取得了丰硕的成果, 如 St. Andrews 大学天文台的一系列结果^[43] 和 F-K 型相接与近乎相接双星的演化研究^[44], 44 Boo^[34]、XY Leo^[45-47]、子星质量比空前接近 1 (为 0.92 ± 0.03) 的 VZ Psc^[48]、OO Aql^[49], 以及上海天文台陆文贤对 U Peg^[50-51]、AA UMa^[52-53] 等 W UMa 型双星的研究等。

6. 共生星

Garcia 和 Kenyon 设法去掉光谱中的发射线, 用交叉相关软件, 经 6 年努力, 测成了 EG、Z And、UV Aur、TX CVn、CI Cyg、AG Dra、RWHya、AG Peg 和 AX Per 中 M 型巨星子星的视向速度曲线, 求得了这些共生星的单谱分光解^[96]。EG And^[54] 和 TX CVn^[55] 的分光解都另有专文发表, 前者是视向速度新观测和文献资料相结合而改进分光解的工

作, 后者得出该星是由一颗 K5 III 恒星和一颗大概是小质量的 B9 气壳星所组成, 轨道周期约 199 天。

7. 星族 II 双星

尽管星族 II 中缺乏分光双星的旧概念已经改变^[66], 有人发表了 40 对星族 II 双星的分光解^[67], 但球状星团中寻找分光双星仍是难题, 在 M3 中找到了一例^[67], ω Cen 中发现了食双星^[102], 可是都待测求分光解。金属丰度 [Fe/H] 为 -2.3 的 BD + 13° 3683^[68] 和高速 G0 VI 双星 HD 113083^[68] 都已得出分光解, 后者是双谱。

8. 主序前分光双星

对猎户四边形附近的双谱分光双星 Parenago 1540 的研究^[69] 得出其周期为 33.7 天, 结合测光和锂线等观测, 确认两颗子星都是主序前星, 推得它们的质量各约为 2.25 和 1.7 M_{\odot} , 年龄各约 1×10^6 和 5×10^6 年。Popper 研究食双星 EK Cep^[60], 认为其中质量为 $(1.12 \pm 0.01) M_{\odot}$ 的子星可解释为是一颗主序前星。随着双谱分光解发表^[4] 而很快解决了“早期演化黑洞问题”的著名食双星 BM Ori, 也包含一颗主序前子星^[60]。Mathieu 等在三处恒星形成区的 53 个赤裸金牛 T 型星中发现了 6 对分光双星, 得出其中 5 对的分光解^[61], 文章认为可能是新生双星周期较长, 轨道椭圆, 星周物质多, 后来演变成周期缩短至数天以内, 轨道圆形的赤裸金牛 T 型双星。Andersen 等发现金牛 T 型星 AK Sco 为双谱分光双星, 周期 13.6 天, 偏心率 0.47, 认为它大概是由一对质量均约为 1.5 M_{\odot} 的 F5 主序前恒星所组成, 星周尘云很密^[62]。

9. 大质量分光双星

Plaskett 星, 即 HD 47129 = HR 2422 = V640 Mon, O8V + O8f, 由于光谱复杂奇特, 第二子星的视向速度曲线未能测定(文献[4]的注解至今值得一读)。1987 年 Stickland 发表了用 IUE 卫星所测视向速度曲线和新单谱分光解^[63], 假定两子星质量 M_1 和 M_2 相等, 并采用偏振法所得轨道倾角粗略值 71° , 按照纯 IUE 解可得 $M_1 = M_2 \approx 54 M_{\odot}$, 用全部视向速度数据圆轨解则有 $M_1 = M_2 \approx 59 M_{\odot}$ 。由验算可知, 《中国大百科全书·天文学》(1980)一书的“恒星质量”条目中此星两子星的质量应各约为 58 M_{\odot} ; 该条目中把实为单谱分光双星的此星误写成双谱, 笔者在此谨作更正!

包含 Wolf-Rayet 子星的分光双星常因光谱复杂而分析较难。例如近来发表的食双星 V444Cyg (O6 + WN5.5) 一文^[64], 由 O 型星得质心视向速度为 $22 \pm 5 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$, 而由 W 型星据不同谱线所得各为 100 ± 8 与 $-40 \pm 12 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$, 差别之大惊人。作者认为, $100 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 是根据 He II $\lambda 5411$ 发射线而来, 受到远离我们而去并流向 W 星的星周物质速度和屏蔽效应的影响很大; $-40 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 则来自 N IV $\lambda 5203$ 发射线, 有混线影响; 只有 $22 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 所据 O III $\lambda 5592$ 吸收线可认为是在 O 型星光球中形成, 而且并无混线; 对比起来, $22 \pm 5 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 最能代表 V444Cyg 的质心视向速度。O 型和 W 型子星的质量下限由一些谱线所得各为 37.5 与 11.3 M_{\odot} , 由另一种选线方式所得则为 29.6 与 9.8 M_{\odot} 。这类问题需要认真探究。阿根廷和美国学者合作观测研究双谱分光双星 HD165921 (= V3903 Sgr, O7V + O9V), 得出两子星质量下限各为 19.2 ± 1.0 和 $13.6 \pm 0.6 M_{\odot}$ ^[65]。此星轨道周期 1.744 天, 很亮 ($V = 7.00 - 7.45$), 是一疏散星团的成员, 值得进行测光研究, 以探索是否能测定这一对 O 型星可贵的质量数

据, 以及校验恒星质光与质谱关系。

对于周期 96.4 天的单谱食双星 HR14 即 AP Psc(旧称 5Cet; K2Ⅲ), 李宗云等^[103]利用文献数据求测光解, 认为它是相接双星, 并用 Fick 天文台分光解^[75]算得主星质量为 $(94 \pm 2)M_{\odot}$, 较冷较暗的伴星质量为 $(14.9 \pm 0.2)M_{\odot}$ 。主星是目前观测到的(双星中)质量最大的恒星吗? 它是否确立了质量远超过 $30M_{\odot}$ 的晚型星的存在? 这项研究是否发现了一类新的相接双星, 即(特)大质量晚型相接双星? 型似 AP Psc 的密近双星的过去和未来演化如何? 这项工作是否对现有双星演化理论提出了挑战? 这些问题需要继续研讨。

10. 寻找棕矮星或大质量行星

加拿大学者用氟化氢吸收线技术以平均误差 $13\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的精度观测一批恒星的视向速度变化达 6 年, 发现 γ Cep 显示出变幅 $25\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、周期 2.7 年的变化, 认为大概是由于有大约 1 到 9 倍木星质量的伴天体围绕它运行, 这个伴天体可能是大质量行星; 观测和分析还在继续进行^[66]。

美国、瑞士等学者用视向速度仪长年精测一批星, 争取建立 IAU 视向速度标准星新系统, 发现其中的 HD 114762 为周期 (84.05 ± 0.08) 天的单谱分光双星; 如 M_c 为伴星质量而且假定它比主星质量小得多, 可推算得 $M_c \sin i \approx (0.011 \pm 0.001)M_{\odot}$, 其中 i 为这双星的轨道面倾角。由于稳定主序星的质量下限在 $0.08M_{\odot}$ 左右, 棕矮星的设想质量范围约为 0.08 至 $0.02M_{\odot}$, 大质量行星的质量上限大约在 $0.02M_{\odot}$ 附近, 因而 HD114762 的未测得伴天体是主序星的概率很小 (i 小于约 8°), 它是棕矮星或大质量行星的可能性则较大^[69]。

顺便要提到, Heintz 研究轨道周期 16.2 年的目视双星 Wolf 424, 即 FL Vir, 得出两子星的质量各为 (0.06 ± 0.01) 和 $(0.05 \pm 0.01)M_{\odot}$ ^[108], 由于这是用目视双星轨道解结合其三角视差(该双星离我们不到 5pc)所测定的质量, 我们不妨称之为棕矮星的优先候选对象。

11. 包含射电脉冲星的“分光双星”和食双星

由于这种双星轨道解的原理和分光双星类似, 文献[4]把 PSR 1913+16 也列入表中。这里作一简介。1974 年至今已发现这类双星至少 14 对。最初 7 对的数据表可见文献[67], 参见[68]。第 8 对是球状星团 M4 中的毫秒脉冲星及其伴星^[69]。然后是出现在射电食双星中的毫秒脉冲星 PSR 1957+20^[70], 其后文章甚多。紧接着发表的是在球状星团 47 Tuc 中发现了两颗毫秒脉冲星 PSR 0021-72A 和 0021-72B 各自都是双星成员, 其中 A 的轨道周期短到 1924.3 ± 0.3 秒, 偏心率为 0.33^[71], 因而有人提出 A 是十分有用的引力物理天然实验室^[72]。1989 年 4 月发表了在球状星团 M15 中发现的一颗脉冲周期为 30 毫秒的脉冲星 PSR 2127+11C, 也是出现在双星之中^[73]。

经 14 年的观测积累并周密分析, PSR[1913+16] 的新研究不仅更牢靠地确证了引力辐射的存在, 还把其中脉冲星和伴星的质量由 1984 年美国国家射电天文台第 8 次讨论会上报告的 1.42 ± 0.03 和 $1.40 \pm 0.03M_{\odot}$ 分别改进为新测定值 1.442 ± 0.003 和 $1.386 \pm 0.003M_{\odot}$ ^[101]。

12. 小望远镜作出的贡献

美国 Iowa 州立大学 Fick 天文台用 60cm 反射镜折轴视向速度仪(色散 $2.6 \text{ \AA} \cdot \text{mm}^{-1}$)从 1976 年起主要对大批晚型 HR 亮星作了大量观测^[74], 发表了一系列分光双星分光解, 如 HR 2692、3725、5911 等 6 对双星^[75], 五车二^[9]等, 不久前又报告了 HR 106、539、1481...8131,

8987 共 18 对分光双星的初步结果^[76]。英国 St. Andrews 天文台用 0.5 米望远镜光栅摄谱仪(色散 $30 \text{ \AA} \cdot \text{mm}^{-1}$)对 Be 星兼分光双星 zeta Tau 进行照相视向速度观测,发表了改进的单谱分光解^[77],又发现 η Tau 等 Be 星为分光双星^[109]。加拿大 British Columbia 大学用 0.42 米望远镜折轴光谱仪(2 级光谱色散 $17 \text{ \AA} \cdot \text{mm}^{-1}$)和 Reticon 装置(每个二极管 $S/N \geq 200$)观测 omicron And B(B 星等约 4.0 至 4.5)的视向速度,发现它是双谱分光双星,并得出双谱分光解^[78]。

以上所述,只是抽样介绍了部分情况。实际上像活动色球双星、激变双星、X 射线双星、包含种种脉动变星(不仅是经典造父变星)的双星、包含 Ap 或 Am 星以及其他表层化学组成特殊星的双星、主序最下端的双星、疏散星团中的分光双星……,这里都未能适当反映(顺便补充一点,有人发现晚型特殊光谱的钡星和 CH 星之中分光双星比例很大,并求出了不少星的分光解^[110];但钡星的起源问题存在争议^[111];至少有一部分 CH 星是极端晕族星;前几年一项光谱研究认为,亚巨 CH 星及其白矮伴星可能是由双星子星间质量转移而形成的^[112])。分光双星的视向速度研究毕竟是庞大的领域,发展迅速,千变万化,随着任何一篇综述的形成,不少分支的面貌又将改善更新。

二、问题与展望

1. 天体物理问题

分光双星的实测视向速度,除了反映双星轨道运动外,还可能反映子星自转、脉动、大气运动、星周物质运动等,也可能蒙受星食和子星间潮汐作用^[45]等因素的影响。所以,需要深入探讨如何正确分析视向速度实测数据的问题。

同一颗星的不同谱线可能反映恒星大气的不同层次(参见 BW Vul 脉动研究文献^[79])以及其他因素的差异。选用哪些谱线才能最好地反映双星子星的轨道运动,也是个重要问题。

由同一双星的子星 1 和 2 分别求分光解所得的公共质心视向速度 V_{01} 与 V_{02} ,有时相差显著^[52],甚至相差很远^[64];由不同的谱线选取方式所得同一子星的 V_0 可能相差悬殊^[64]。为什么?应该如何解决?

这类问题提得还很不够,深入的分析似乎还很少。观测和理论水平的提高将会引出更多的新问题。

2. 课题

在这一领域的广阔题材中,这里想要强调的是,分光双星、食双星基本参量的更可靠更精确的测定,恒星大气、活动、结构和演化等理论的更加完善,将使实测和理论的对比愈来愈富有意义。

在选星方面,笔者主张,需要下更大的功夫研究亮星(亮于目视星等约 8 等的恒星)。明亮分光双星的有意义问题非常丰富,而许多亮星、特亮星缺乏现代化高水准的观测和分析。例如 $\alpha' \text{ Cru}$ 的最新分光解^[80]还是来自 1978 年 29 和 $49 \text{ \AA} \cdot \text{mm}^{-1}$ 的卡焦棱镜摄谱仪照相观测,测点分布也有欠缺,很需要用现代化技术重新观测,包括寻测伴星谱线和研究主星是否是脉动变星。北半天球最亮的双星五车二,虽然有了 80 年代发表的双谱分光解^[9],但要解决两

子星质量比的争议,更深入地研究这对黄巨星的色球和星冕活动,探讨这一X射线双星兼射电双星的演化,需要重新进行高水平的视向速度等观测项目,加以周密分析。角宿一(α Vir)最新的双谱分光解发表于1972年^[4],其主星脉动变幅的长期变迁^[81],提出了重求分光解和细致研究脉动、非同步快速自转、恒星活动、星周物质、拱线运动等相互交织的课题,这就要求进行高水平的新观测。有HR星号而尚缺分光解的可能的分光双星数量很大,需要很大规模的视向速度观测以求分光解,或加以否定。其中像马腹一(β Cen)这样的特亮星,虽然标为分光双星,却既无可靠的分光解,也未见有人加以否定。实际上,分光解第八表的编著者也在强调研究亮星的重要性^[115]。

3. 技术

高分辨率高信噪比探测器件像Reticon、CCD以及光纤等技术的发展创新和推广应用(例如文献[113—114]等),将促进恒星视向速度的测定向更暗对象和更高精度发展,将把更多的单谱分光双星测为双谱双星,推动恒星基本参量的研究测定等课题的进展。视向速度和其他技术的提高,使人们检测出聚星中更多的子星,例如除了少数分光三合星像EE Peg^[13]以外,有的学者已经用CFHT 3.6米镜折轴Reticon装置($S/N \sim 600$, $1.97 \text{ \AA} \cdot \text{mm}^{-1}$)测出Am型4等星88 Tau A为分光五合星^[82]。视向速度仪的精度、灵敏度、观测速率、应用的广度等功能将更为提高。各种光谱型恒星的视向速度观测和归算处理将更加自动化和高效化(包括光谱底片自动测量仪和计算机软件的发展等,法国Haute Provence天文台、加拿大DAO等在这方面的进展引人注目)。超高精度视向速度测定技术的发展推广(如文献[16,66,100]等),空间望远镜的光谱等观测,天体测量卫星的定位、视差等资料,结合干涉、测光等其他研究,将大为更新人们对恒星包括分光双星的认识深度和广度。

三、我国对这一领域的贡献

1. 回顾

清光绪十五年(1889年),美国哈佛大学天文台发现分光双星。1929年,张钰哲先生的 ζ Sco^[83]、 η CrB^[84]等双星的分光解文章在美国刊物上发表。1948年,他在美国刊物上发表了AH Vir^[85]等双星的分光解。1984年以来,陆续发表了我国少数学者参加工作所得的分光解,对象包括HR 362^[86]、五车二^[9]、 ψ Ori^[87]、U Peg^[50]、29 Ari^[88]、BV与BW Dra^[89]、AA UMa^[62]、 θ Dra^[104]、HD 8357^[90]等,其中主要是陆文贤在DAO从事视向速度观测的结果。从张钰哲先生20年代以来的所有这些工作,都是辛勤劳动的可贵成绩,但也都是利用外国的视向速度数据发表的研究文章。

2. 建立我们的恒星视向速度实测基础

(1) 照相视向速度:北京天文台恒星室部分成员,先用兴隆站施密特镜有缝摄谱仪 $17 \text{ \AA} \cdot \text{mm}^{-1}$ 试观测角宿一和标准星大角,再和云南天文台合作,用1米望远镜折轴摄谱仪逐年以色散 6.0 和 $11.7 \text{ \AA} \cdot \text{mm}^{-1}$ 观测明亮分光双星和一批IAU视向速度标准星,用目视比长仪测量底片,但所得分光解的视向速度半变幅偏小^[3];1984年以来用PDS仪测量底片并在试用进口软件求视向速度。另一方面,用国内观测的视向速度做分光解以外的研究有zeta Aur

等食双星、Be 星 EW Lac^[105]、zeta Tau^[106]、造父变星 RT Aur^[91]等。(2) 光电视向速度：云南天文台和北京天文台都已在试验研制视向速度仪。(3) CCD 视向速度：1989 年，北京天文台和云南天文台合作，用 1 米镜折轴 CCD 装置观测了角宿一的 Si III $\lambda\lambda 4552, 4567, 4574$ 三重线谱区和标准星大角，色散 $2.8 \text{ \AA} \cdot \text{mm}^{-1}$ ，参加了国际联测研究。

3. 展望未来

分光双星数量巨大，课题广阔。实际上这一领域使用的望远镜大到 6 米^[92]，5 米，3.6 米，小到半米以下^[78]，都发表了有意义的结果。在我国，2.16 米望远镜光纤联结 CCD 光谱仪等设备不久可望实现，恒星光谱软件的开发和各种有关新技术的探索正在不断开展。积若干年之思虑，笔者认为我国研制 1.5 米级恒星视向速度专用或恒星光谱专用望远镜当是良策。我们在利用国外观测资料的同时，如能扎实地建好恒星光谱特别是恒星视向速度的国内实测基础，并显著提高选题和分析水平，就一定会在分光双星研究的第二个世纪中作出较大的贡献。

参 考 文 献

- [1] Batten, A. H., *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 100 (1988), 160.
- [2] 沈良照, 北京天文台台刊副刊, (1983), No. 6, 33.
- [3] 高为是, 北京天文台台刊副刊, (1983), No. 6, 39.
- [4] Batten, A. H., Fletcher, J. M. and Mann, P. J., *Publ. Dominion Astrophys. Obs.*, 15 (1978), 121.
- [5] Aikman, G. C. L. and Hesser, J. E., *Bull. Am. Astr. Soc.*, 21 (1989), 180.
- [6] Pédoussaut, A., Carquillat, J. M., Ginestet, N. et Vigneau, J., *Astron. Astrophys. Suppl.*, 75 (1988), 441.
- [7] Griffin, R. F., Beavers, W. I. and Eitter, J. J., *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 100 (1988), 358.
- [8] Hilditch, R. W., Skillen, I., Carr, D. M. and Aikman, G. C. L., *M.N.R.A.S.*, 222 (1986), 167.
- [9] Shen, L. -Z., Beavers, W. I., Eitter, J. J. and Salzer, J. J., *A. J.*, 90 (1985), 1503.
- [10] Tomkin, J. and Popper, D. M., *A. J.*, 91 (1986), 1428.
- [11] Tomkin, J. and Tran, H., *A. J.*, 94 (1987), 1664.
- [12] Popper, D. M., *Ap. J.*, 244 (1981), 541.
- [13] Lacy, C. H. and Popper, D. M., *Ap. J.*, 281 (1984), 268.
- [14] Abt, H. A. and Levy, S. G., *Ap. J. Suppl.*, 30 (1978), 273.
- [15] Morbey, C. L. and Griffin, R. F., *Ap. J.*, 317 (1987), 343.
- [16] McMillan, R. S. and Smith, P. H., *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 99 (1987), 849.
- [17] Blaauw, A. and van Albada, T. S., *Ap. J.*, 137 (1963), 797.
- [18] Morris, S. L., Bolton, C. T., Fernie, J. D. and Percy, J. R., *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 100 (1988), 954.
- [19] McClure, R. D., *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 95 (1983), 201.
- [20] McClure, R. D., Griffin, R. F., Fletcher, J. M., Harris, H. C. and Mayor, M., *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 97 (1985), 740.
- [21] Griffin, R. F., *The Observatory*, 109 (1989), 180.
- [22] Griffin, R. F., *ibid.*, 104 (1984), 224.
- [23] Griffin, R. F., *ibid.*, 104 (1984), 148.
- [24] Griffin, R. F., in *Interacting Binaries*, ed. by P. P. Eggleton, and J. E. Pringle, p. 1, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, (1985).
- [25] Griffin, R. F., *J. Astrophys. Astron.*, 9 (1988), 205.
- [26] Harvey, A. S., Stickland, D. J., Howarth, I. D. and Zuiderwijk, E. J., *The Observatory*, 107 (1987), 205.
- [27] Imbert, M., *Astron. Astrophys. Suppl.*, 67 (1987), 161.
- [28] Duquennoy, A. and Mayor, M., *Astron. Astrophys.*, 195 (1988), 129.
- [29] Popper, D. M., *A. J.*, 95 (1988), 1242.
- [30] Popper, D. M., *A. J.*, 95 (1988), 190.
- [31] Lacy, C. H., Gülmen, Ö., Güdür, N. and Sezer, C., *A. J.*, 97 (1989), 822.

- [32] Andersen, J., Clausen, J. V., Gustafsson, B., Nordström, B. and VandenBerg, D. A., *Astron. Astrophys.*, 196 (1988), 128.
- [33] Hill, G. and Batten, A. H., *Astron. Astrophys.*, 141 (1984), 39.
- [34] Hill, G., Fisher, W. A. and Holmgren, D., *Astron. Astrophys.*, 211 (1989), 81.
- [35] McAlister, H. A., *A. J.*, 87 (1982), 563.
- [36] Tomkin, J., McAlister, H. A., Hartkopf, W. I. and Fekel, F. C., *A. J.*, 93 (1987), 1236.
- [37] Fekel, F. C., Moffett, T. J. and Henry, G. W., *Ap. J. Suppl.*, 60 (1986), 551.
- [38] Ayres, T. R., *Ap. J.*, 331 (1988), 467.
- [39] Harris, H. C., Welch, D. L., Kraft, R. P. and Schmidt, E. G., *A. J.*, 94 (1987), 403.
- [40] Mermilliod, J. C., Mayor, M. and Burki, G., *Astron. Astrophys. Suppl.*, 70 (1987), 389.
- [41] Imbert, M., *Astron. Astrophys. Suppl.*, 58 (1984), 529.
- [42] Evans, N. R., *Ap. J. Suppl.*, 66 (1988), 343.
- [43] Hilditch, R. W., King, D. J. and McFarlane, T. M., *M.N.R.A.S.*, 237 (1989), 447.
- [44] Hilditch, R. W., King, D. J. and McFarlane, T. M., *M.N.R.A.S.*, 231 (1988), 341.
- [45] Hrivnak, B. J., Milone, E. F., Hill, G. and Fisher, W. A., *Ap. J.*, 285 (1984), 683.
- [46] Hrivnak, B. J., *Ap. J.*, 290 (1985), 696.
- [47] Barden, S. C., *Ap. J.*, 317 (1987), 333.
- [48] Hrivnak, B. J., and Milone, E. F., *A. J.*, 97 (1989), 532.
- [49] Hrivnak, B. J., *Ap. J.*, 340 (1989), 458.
- [50] Lu, W. -x., *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 97 (1985), 1086.
- [51] 翟迪生, 陆文贤, *天文学报*, 29 (1988), 9.
- [52] 陆文贤, *天体物理学报*, 8 (1988), 26.
- [53] 王如友, 陆文贤, *天体物理学报*, (待发表).
- [54] Munari, U., Margoni, R., Iijima, T. and Mammano, A., *Astron. Astrophys.*, 198 (1988), 173.
- [55] Kenyon, S. J. and Garcia, M. R., *A. J.*, 97 (1989), 194.
- [56] Andersen, J., in *Reports on Astronomy*, Trans. IAU, 20A, ed. by J. -P. Swings, p. 360. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, (1988).
- [57] Pryor, C. P., Latham, D. W. and Hazen, M. L., *A. J.*, 96 (1988), 123.
- [58] Jasniewicz, G. and Mayor, M., *Astron. Astrophys.*, 170 (1986), 55.
- [59] Marschall, L. A. and Mathieu, R. D., *A. J.*, 96 (1988), 1956.
- [60] Popper, D. M., *Ap. J.*, 313 (1987), L81.
- [61] Mathieu, R. D., Walter, F. M. and Myers, P. C., *A. J.*, 98 (1989), 987.
- [62] Andersen, J., Lindgren, H., Hazen, M. L. and Mayor, M., *Astron. Astrophys.*, 219(1989), 142 .
- [63] Stickland, D. J., *The Observatory*, 107 (1987), 68.
- [64] Underhill, A. B., Yang, S. and Hill, G. M., *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 100 (1988), 741.
- [65] Niemela, V. S. and Morrison, N. D., *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 100 (1988), 1436.
- [66] Campbell, B., Walker, G. A. H. and Yang, S., *Ap. J.*, 331 (1988), 902.
- [67] Dewey, R. J., Maguire, C. M., Rawley, L. A., Stokes, G. H. and Taylor, J. H., *Nature*, 322 (1986), 712.
- [68] Segelstein, D. J., Rawley, L. A., Stinebring, D. R., Fruchter, A. S. and Taylor, J. H., *Nature*, 322 (1986), 714.
- [69] Lyne, A. G., Biggs, J. D., Brinklow, A., Ashworth, M. and McKenna, J., *Nature*, 332 (1988), 45.
- [70] Fruchter, A. S., Stinebring, D. R. and Taylor, J. H., *Nature*, 333 (1988), 237.
- [71] Ables, J. G., Jacka, C. E., McConnell, D., Hamilton, P. A., McCulloch, P. M. and Hall, P. J., *IAU Cir. No. 4602*, (1988).
- [72] Wijers, R. A. M. J., *Astron. Astrophys.*, 209 (1989), L1.
- [73] Anderson, S., Gorham, P., Kulkarni, S., Prince, T. and Wolszczan, A., *IAU Cir. No. 4772*, (1989).
- [74] Beavers, W. I. and Eitter, J. J., *Ap. J. Suppl.*, 62 (1986), 147.
- [75] Beavers, W. I. and Salzer, J. J., *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 97 (1985), 355.
- [76] Beavers, W. I. and Eitter, J. J., *Bull. Am. Astr. Soc.*, 20 (1988), 737.
- [77] Jarad, M. M., *Ap. S. S.*, 139 (1987), 83.
- [78] Hill, G. M., Walker, G. A. H., Dinshaw, N. and Yang, S., *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 100 (1988), 243.
- [79] Furenlid, I., Young, A., Meylan, T., Haag, C. and Crinklaw, G., *Ap. J.*, 319 (1987), 264.
- [80] Thackeray, A. D. and Wegner, G., *M.N.R.A.S.*, 191 (1980), 217.
- [81] Chapellier, E., *Astron. Astrophys. Suppl.*, 64 (1986), 275.

- [82] Burkhart, C. and Coupry, M. F., *Astron. Astrophys.*, 200 (1988), 175.
- [83] Chang, Y. C., *Ap. J.*, 70 (1929), 182.
- [84] Chang, Y. C., *Ap. J.*, 70 (1929), 185.
- [85] Chang, Y. C., *Ap. J.*, 107 (1948), 96.
- [86] Beavers, W. I., Salzer, J. J. and Shen, L. -Z., *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 96 (1984), 179.
- [87] Lu, W. -x., *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 97 (1985), 428.
- [88] Lu, W. -x., *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 98 (1986), 468.
- [89] Batten, A. H. and Lu, W. -x., *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 98 (1986), 92.
- [90] 刘学富, 谭徽松, 天体物理学报, 6 (1986), 132.
- [91] 邓李才, 紫金山天文台台刊, 7 (1988), 1.
- [92] Scholz, G. and Lehmann, H., *Astronomische Nachrichten*, 309 (1988), 33.
- [93] Welch, D. L. and Evans, N. R., *A. J.*, 97 (1989), 1153.
- [94] Gieren, W. P., *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 101 (1989), 160.
- [95] Babel, J., Burki, G., Mayor, M., Waelkens, C. and Chmielewski, Y., *Astron. Astrophys.*, 216 (1989), 125.
- [96] Garcia, M. R. and Kenyon, S. J., in IAU Colloquium No. 103, ed. by J. Mikolajewska, M. Friedjung, S. J. Kenyon, and R. Viotti, p.27 (1988).
- [97] Latham, D. W., Mazeh, T., Carney, B. W., McCrosky, R. E., Stefanik, R. P. and Davis, R. J., *A. J.*, 96 (1988), 567.
- [98] Lindgren, H., Ardeberg, A. and Zuiderwijk, E., *Astron. Astrophys.*, 218 (1989), 111.
- [99] Latham, D. W., Mazeh, T., Stefanik, R. P., Mayor, M. and Burki, G., *Nature*, 339 (1989), 38.
- [100] Irwin, A. W., Campbell, B., Morbey, C. L., Walker, G. A. H. and Yang, S., *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 101 (1989), 147.
- [101] Taylor, J. H. and Weisberg, J. M., *Ap. J.*, 345 (1989), 434.
- [102] Margon, B. and Cannon, R., *The Observatory*, 109 (1989), 82.
- [103] 李宗云, 梁鉴澄, 丁月蓉, 天文学报, 29 (1988), 374.
- [104] 陆文贤, 沈良照, 蒋兆基, 天体物理学报, 8 (1988), 99.
- [105] 郭玉莲, 曹惠来, 高为是, 天体物理学报, 7 (1987), 37.
- [106] Guo, Y. -l. and Gao, W. -s., *Be Star Newsletter*, No. 16, (1987), 7.
- [107] Batten, A. H., Fletcher, J. M. and MacCarthy, D. G., *Publ. Dominion Astrophys. Obs.*, 17 (1989), 1.
- [108] Heintz, W. D., *Astron. Astrophys.*, 217 (1989), 145.
- [109] Jarad, M. M., Hilditch, R. W. and Skillen, I., *M.N.R.A.S.*, 238 (1989), 1085.
- [110] McClure, R. D. and Woodsworth, A. W., *Bull. Am. Astr. Soc.*, 20 (1988), 648.
- [111] Malaney, R. A. and Lambert, D. L., *M. N. R. A. S.*, 235 (1988), 695.
- [112] Smith, V. V. and Lambert, D. L., *Ap. J.*, 303 (1986), 226.
- [113] Furenlid, I. and Cardona, O., *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 100 (1988), 1001.
- [114] Matthews, J. M. and Gieren, W. P., *ibid.*, 100 (1988), 1008.
- [115] Batten, A. H. and Fletcher, J. M., *The Observatory*, 109 (1989), 186.

(责任编辑 刘金铭)

Radial Velocity Studies of Spectroscopic Binaries

Shen Liangzhao

(*Beijing Astronomical Observatory, Academia Sinica*)

Abstract

In Part I a review is given of some recent advances in this area leading to spectroscopic orbits. It is subdivided into 1. Orbital solutions, 2. Series of papers giving spectroscopic orbits, 3. The determination of basic stellar quantities, 4. Binary cepheids, 5. WUMa binaries, 6. Symbiotic binaries, 7. Population II binaries, 8. Pre-main-sequence spectroscopic binaries, 9. Massive spectroscopic binaries, 10. The search for brown dwarfs/giant planets, 11. Binary radio pulsars, and 12. Contribution from small telescopes. Part II is concerned with some problems and prospects, including the importance of proper astrophysical analysis of the observed radial velocities and the need of paying more attention to bright stars. And Part III stresses the necessity of good radial velocity determinations to be performed in our country to keep abreast of world progress.