

恒星天文学

戴文赛

科学出版社

恆 星 天 文 学

戴 文 赛 编 著

科 学 出 版 社

1 9 6 5

内 容 简 介

本书根据编著者十年来在南京大学天文系讲授“恒星天文学”这门课程和在恒星天文学方面进行的一些研究工作的经验而写成的。本书提供了现代有关银河系和其他恒星系统的结构和运动的知识。全书共分七章,即恒星距离的测定,恒星的空间分布,星团,银河系的结构,恒星的运动,银河系的自转,星系动力学基础等;书末还附有十五个附录,包括一些参考性和补充性的次要内容。

本书可作为高等学校天文专业的教材,也可作为天文科研人员的参考书。

恒 星 天 文 学

戴文赛 编 著

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街117号

北京市书刊出版业营业许可证书出字第061号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1965年11月第一版 开本:850×1168 1/32

1965年11月第一次印刷 印张:10 9/16

精装:1—680 插页:3

平装:1—570 字数:269,000

统一书号:13031·2197

本社书号:3344·13—5

定价:[科六] 精装本 2.10 元
平装本 1.60 元

序

本书是根据编著者十年来在南京大学天文系教“恒星天文学”这门课程,和在恒星天文方面进行一些研究工作的经验而编写的,可作为高等学校天文专业的教材,也可作为天文研究人员的参考书。对于一般读者,本书提供了现代有关银河系和其他恒星系统的结构和运动的知识,要求阅读本书的读者具备一定的天文基础知识,例如,具备南京大学天文系所编的“天文学教程”全部和“天体物理学方法”¹⁾头三章所包括的基础知识。

编写本书时所参考的较重要的、综合性的文献列于本书后面“主要的参考文献”内,它们都是教科书、专著和综合评述、进展介绍;个别问题的参考文献则列于正文中作为脚注,它们都是专门期刊中的论文。引用得最多的七种期刊的名称用简写,其全名如下:

- | | |
|------------|--|
| A. Ж. | <i>Астрономический журнал</i> |
| A. J. | <i>Astronomical Journal</i> |
| Ann. d'Ap. | <i>Annales d'Astrophysique</i> |
| Ap. J. | <i>Astrophysical Journal</i> |
| B. A. N. | <i>Bulletin of the Astronomical Institute
of the Netherlands</i> |
| M. N. | <i>Monthly Notices of Royal Astronomical
Society</i> |
| Zs. f. Ap. | <i>Zeitschrift für Astrophysik</i> |

本书后面的十五个附录包括一些次要的内容,有些是参考性的,有些是补充性的。另外一些次要的内容仍留在本文内,但用小字印出。第一次阅读本书或把本书用作教材时,还可以考虑删去

1) 两书都由上海科学技术出版社出版。

§ 7.2, § 7.3, § 7.8, § 7.9 等节.

本书在编写和修改过程中,承曲钦岳、朱慈盛、赵家炳、董彝等四位同志提出了许多很好的意见,特在此表示谢意.

戴 文 赛

1964 年 8 月

目 录

序.....	iii
緒 論.....	1
第一章 恆星视差的测定.....	9
§ 1.1. 三角视差.....	9
§ 1.2. 分光视差.....	15
§ 1.3. 平均视差.....	18
§ 1.4. 星际视差.....	29
§ 1.5. 星羣视差.....	30
§ 1.6. 力学视差.....	32
§ 1.7. 造父视差.....	36
§ 1.8. 星团、星协和河外星系距离的测定.....	40
第二章 恆星的空间分布.....	46
§ 2.1. 光度函数.....	46
§ 2.2. 恆星统计积分方程.....	51
§ 2.3. 卡普坦-玻克数值方法.....	57
§ 2.4. 瓦沙基泽-奥尔特方法.....	62
§ 2.5. 星际消光.....	67
§ 2.6. 银河系內的弥漫物质.....	82
第三章 星团.....	91
§ 3.1. 银河星团.....	91
§ 3.2. 球状星团.....	105
§ 3.3. 维里定理和星团质量的测定.....	116
§ 3.4. 星协.....	122
§ 3.5. 星团的稳定性.....	127
第四章 银河系的结构.....	137
§ 4.1. 银极位置的测定.....	137
§ 4.2. 次系和星族.....	142

§ 4.3. 本星羣·····	149
§ 4.4. 银河系的旋臂·····	152
§ 4.5. 银核、银盘、银晕·····	159
§ 4.6. 银河系结构概况·····	162
第五章 恆星的空间运动·····	167
§ 5.1. 恆星的自行·····	167
§ 5.2. 恆星的视向速度·····	172
§ 5.3. 太阳运动速度和向点的测定·····	180
§ 5.4. K 效应·····	188
§ 5.5. 恆星速度的橢球分布·····	193
§ 5.6. 速度弥散度的计算方法·····	202
§ 5.7. 次系的运动特性·····	207
第六章 银河系的自转·····	212
§ 6.1. 银河系自转的理论·····	212
§ 6.2. 加姆函数及其应用·····	220
§ 6.3. 银河系自转的理论(续)·····	223
§ 6.4. 银河系质量的测定·····	231
第七章 星系动力学基础·····	238
§ 7.1. 规则力和不规则力·····	239
§ 7.2. 恆星的互相接近·····	241
§ 7.3. 恆星系统的弛豫时间·····	245
§ 7.4. 星系动力学基本方程·····	249
§ 7.5. 星系的流体力学方程·····	255
§ 7.6. 速度分布函数已知时基本方程的解·····	259
§ 7.7. 恆星在星系中的运动轨道·····	269
§ 7.8. 规则力場中不稳定的星系·····	275
附录一 泊松分布·····	283
二 分布函数作观测误差改正的方法·····	285
三 恆星统计积分方程的数学解·····	288
四 恆星统计积分方程的一些应用·····	290

五	考慮到消光物质集聚成云而得到的恆星統計积分方程.....	295
六	利用河外星系决定各天区的星际消光值.....	297
七	利用銀河星团决定星际消光值.....	299
八	暗星云平均消光值的决定.....	300
九	星协膨脹速度的决定.....	305
十	自行和視向速度長期变化公式的推导.....	307
十一	二流理論对卡普坦图的說明.....	309
十二	橢球理論对卡普坦图的說明.....	311
十三	三变量的正态分布和恆星速度弥散度計算公式的推导.....	314
十四	三次方程的三角解.....	324
十五	銀河系較差自轉公式展开为三角級数.....	326
	主要的参考文献.....	332

緒 論

恆星天文学是天文学的一个分支，它对用天体测量学方法所获得的恆星的赤经、赤纬、三角视差、自行等基本数据，以及用天体物理学方法所获得的各种星等、色指数、光谱型、光度型、视向速度、分光视差等基本数据，运用统计学方法和本身特有的方法进行分析，以研究恆星在空间里的分布和运动，因而得出各种恆星系统的结构和动力学特性，并进一步得出有关恆星和恆星系统的起源和演化的结论。广义的恆星天文学包括获得恆星的各种基本数据的方法和技术，因而同天文学中的另外两个分支——天体测量学和天体物理学——交叉。过去常把通过大量恆星数据的统计分析而研究恆星的空间分布和空间运动的科学，称为“恆星统计学”或“统计天文学”。有时恆星统计学专指恆星空间分布的研究，恆星运动的研究则称为“恆星运动学”。二十世纪初期又建立了把恆星运动和恆星空间分布的研究联系起来的“星系动力学”，也称为“恆星动力学”。它运用力学理论来说明恆星分布和运动的观测结果，研究由整个恆星系统的引力所决定的恆星运动的一般性质。

天体物理学中研究恆星的结构、物理特性和化学组成的部分称为“恆星物理学”。恆星物理学和恆星天文学有交叉的地方，但是也有明显的分工。交叉的地方就是上面提到的各种星等、色指数、光谱型、视向速度、分光视差等物理量的测定，在文献中这些工作有时被列入恆星天文范围内，有时则被列入“实测天体物理学”或恆星物理学范围内。但恆星的温度、密度、磁场强度等物理量以及化学组成的测定，光谱型的解释，变星光度变化原因和光谱变化原因、爆发和抛射物质的原因、内部结构和能量来源等的研究，则是恆星物理学的对象，而不是恆星天文学的对象。恆星天文着重于大量恆星所组成的集体的研究，进行分光观测时主要为了获得大

量恒星的光谱型、分光视差、视向速度等。恒星物理则着重于个体的研究，就某一类型的正常恒星选出一两个典型进行详尽的光谱分析，以了解这一类恒星的物理特性和化学组成，对于较特殊的恒星则进行经常的光度测量和分光观测，详尽分析光度变化和光谱变化，以了解这种星的结构和为什么特殊，在演化中占什么地位。恒星天文和恒星物理通过不同途径以达到同一目标——了解恒星和各种恒星系统的结构和演化，因而为掌握宇宙规模的物质发展规律提供重要资料。

除了天体物理和天体测量以外，恒星天文学同天文学的其它分支也有或多或少的关系。星系动力学在一些问题上所用的方法和天体物理学类似。本世纪四十年代才发展起来的射电天文学，已被证明是研究银河系结构的一种有力方法，因而同恒星天文学有密切关系。银河系连续无线电辐射和 21 厘米单色无线电辐射的观测，提供了研究银河系内弥漫物质分布的重要资料，对解决银河系旋臂的结构、银晕的结构等问题有很大帮助。近年来也利用射电天文方法研究银核，以及决定银极位置和银心方向。

上面提过，恒星天文学根据对银河系和银河系内各种较小的恒星系统的结构和运动特性的研究结果，而进一步研究恒星和各种恒星系统的起源和演化。这样，恒星天文学同天体演化学也有密切关系。事实上，四十年代开始以来，在恒星演化研究上所获得的巨大进展，是与星团、星协、次系、星族、速度弥散度等恒星天文问题的研究的进展分不开的。过去把河外星系当作恒星天文学的一个研究对象，但由于这方面研究从五十年代开始以来有了巨大的发展，目前研究者倾向于把河外星系的研究当作天文学中的一个独立分支，称为“河外星系天文学”，但它和恒星天文学仍然有密切关系。河外星系的观测结果是宇宙学的基础，因此恒星天文学也与宇宙学有关系。

和自然科学的任何分支一样，恒星天文学同哲学以及认识论也有关系。恒星天文学一百多年来越来越快的发展表明，我们周

围的恒星世界是客观存在的,其结构和发展规律是可以认识的,而且认识是逐渐深入的,由粗浅到精确,由片面到全面。关于我们太阳在银河系中的地位的認識的发展是一个很好的例子。从古代地心学说把太阳当为绕地运行的一个天体,到日心学说把太阳当做宇宙中心,这是一次飞跃。十七、八世纪中逐渐认识到太阳属于一个庞大的恒星系统——银河系,是这个系统里千万万个恒星中的一个,但却错误地认为太阳位于这个系统的中心。到了1918年,沙普利(H. Shapley)通过球状星团空间分布的研究才第一次认识到太阳不位于银河系中心,而是比较靠近边缘。恒星天文研究中出现了一系列实例,说明了对客观世界的认识如果停留在表面,不透过表面而深入到问题的本质,则将陷于主观片面,得出错误的结论。例如,假若忽略了“能见条件”,便将以为白矮星、亚矮星、鲸鱼UV型变星的数目都不大;但如果记住它们的光度都比较小,因此能见范围也小,便将得出在银河系中它们的总数目很大的结论。过去,对恒星天文的许多问题,由于未考虑星际消光而得出了很错误的结论。例如,把太阳当作恒星世界的中心,一个重要原因就是未考虑星际消光。又如沙普利由球状星团的分布得出太阳离银心23000秒差距,比真值大了一倍多也是由于未考虑星际消光而导致的。目前,多数研究者认为银心距离约等于10000秒差距。在任何时候,这段距离是客观存在的,并等于某一真值;测量结果总会和它有一段差距,但由于考虑问题越来越全面,测量结果便会逐渐接近这个真值。

十六世纪末期,意大利学者布鲁诺提出了关于恒星世界的结构的一些猜想,正确地认为恒星都是遥远的太阳。十八世纪中,英国学者赖特(Thomas Wright)、德国哲学家康德、法国物理学家朗伯(J. Lambert)、瑞典学者瑞登堡(E. Swedenborg)都提出了有关恒星世界的结构的看法,正确地说明了银河现象,指出了太阳属于一个扁圆形的庞大的恒星系统,以及在这个系统以外还有其它类似的系统存在。

恒星天文作为一门科学可以说是由威廉·赫歇耳(William Herschel, 1738—1822)通过对恒星进行了大量的观测和研究工作而建立起来的。赫歇耳生于德国, 20岁时迁到英国居住。先以音乐为职业, 天文工作只在业余时间进行。他克服了各种困难自己制造出各种大小的望远镜, 用以观测天象。他先后发现了天王星、土卫一和土卫二、天王卫三和天王卫四, 但是他最重要的贡献是在恒星天文学方面。首先, 他于1783年首次成功地通过恒星自行的分析而定出了太阳运动速度和向点, 证明了太阳不是静止的, 而是和所有恒星一样不断地在空间里运动着。在这以前, 布莱得雷(J. Bradley)于1748年, 麦耶尔(T. Mayer)于1760年, 朗伯于1761年, 都指出过太阳可能在运动着, 恒星的自行可能仅仅是太阳运动的反映, 麦耶尔甚至利用过自行来试求太阳的运动速度和向点, 但未得出结果。赫歇耳于1805年和1806年又提出了一直到今天还在使用的一种方法——把自行分解为 ν 和 τ 分量——来重定太阳向点。

赫歇耳的另一个贡献是发现双星的两个子星互相绕转, 为万有引力定律提供了一个新的证明。他发现了接近于三百个新的双星。此外, 赫歇耳又是第一个利用计数恒星的方法来研究银河系的结构的人, 他于十八世纪七十年代就开始进行这方面工作。用于目视计数星工作的是一具自己制造的口径46厘米的反射望远镜, 其极限星等为14.5。他在1083次观测中一共计数了赤纬从 -30° 到 $+45^\circ$ 的117600个恒星。

威廉·赫歇耳的儿子约翰·赫歇耳继续了他父亲所开创的计数恒星的工作和双星观测研究工作。他曾到非洲南端好望角去观测恒星, 在2299个天区里一共计数了七万颗星, 把计数结果用于银河系结构的研究。他发现了三千多个新的双星, 完成了一个包含一万个双星的表。此外, 他对星团和星云也进行了大量观测, 编出了星团和星云的表。

在赫歇耳父子以后, 俄国天文学家威廉·斯特鲁维(B. Я.

Струве, 1794—1864) 对恒星天文的进一步发展作出了重要贡献。他对双星进行了大量的精密度非常高的观测, 发现了两千多个新的双星。斯特鲁维的另一个重要贡献是第一次成功地定出了恒星的三角视差。他所选的是天空最亮恒星之一——织女星。1835年11月他在塔都天文台开始观测织女星对它的十等光学伴星而言的位置。1837年发表了根据17次观测所得的三角视差 $0''.125 \pm 0''.055$, 和今值 $0''.123 \pm 0''.005$ 十分接近。后来继续观测, 1840年发表的根据96次观测的结果 $0''.261 \pm 0''.025$ 则和今值差得比较多。斯特鲁维又正确地认为空间不是完全透明的, 而是存在着星际消光。1887年他由恒星自行的分析得出了银河系以每世纪 $0''.41 \pm 0''.42$ 的角速度在自转着。这个数值虽然不太准确, 但银河系在自转着的看法却是完全正确的。

和斯特鲁维测定织女星的三角视差差不多同时, 德国贝塞耳(F. W. Bessel)测定了天鹅座61星、英国汉德森(T. Henderson)测定了半人马座 α 星的三角视差。这样就开始了用三角方法和其它方法测定恒星距离的工作, 为恒星空间分布的研究奠定了基础。

十九世纪中天体物理学的建立和发展, 为恒星天文学研究提供了重要资料, 主要就是大量恒星的光谱型、各种星等、色指数、视向速度、分光视差。荷兰卡普坦(J. C. Kaptein)于1904年发现了星流现象。英国爱丁顿(A. S. Eddington)根据“二流学说”给予数学解释。德国史瓦西(K. Schwarzschild)提出了影响更为深远的另一种理论——速度分布的椭球理论。在这些理论的基础上, 星系动力学被建立起来。参加这门新科学的发展工作的有英国的爱丁顿、金斯(J. Jeans)、密耳恩(E. A. Milne), 瑞典的林得伯拉得(B. Lindblad), 荷兰的奥尔特(J. H. Oort), 印度天文学家张德拉塞卡(S. Chandrasekhar), 苏联天文家奥果洛尼可夫(К. Ф. Огородников)、巴连拿哥(П. П. Паренаго)、安巴楚勉(В. А. Амбарцумян)等。

银河系是否在自转的问题, 自十九世纪后半就开始讨论了。

1859年,俄国柯瓦斯基(М. А. Ковальский)对这个问题作了数学的讨论,但由于当时的自行数据太少,视向速度数据还没有,因而未能提出令人信服的证据来。上面已提到斯特鲁维所定出的银河系自转角速度。1914至1918年间,一些研究者根据仙女座大星云(M31)和NGC 4594这两个河外星系的核不同部分的视向速度的差别,确定了这些核心在转动着,定出了转动速度。至于我们自己的星系是否在自转的问题,则到1927年才由奥尔特根据观测到的运动数据的分析结果,肯定了银河系在自转着,自转方式既不象刚体那样,各成员星绕中心的转动情况也同太阳系里的行星不一样。

星际空间不完全透明,而是存在着起消光作用的弥漫物质,这种看法早在1744年就由塞苏提出,以后斯特鲁维和其他研究者进一步发展这种看法,但一直到1930年,瑞士天文家特南普勒(R. J. Trumpler)才根据银河星团观测资料的分析,提出了存在着星际消光的令人信服的证明。恒星天文许多问题都牵涉到星际消光。

林得伯拉得在二十年代就提出了银河系由一系列次系所组成的重要概念,后来由库卡金和巴连拿哥主要通过变星的研究而加以发展。1944年巴德(W. Baade)所提出的“星族”概念,和次系有密切关系。次系和星族的发现对恒星天文最近二十年来的发展有重要影响。

上面提过,射电天文学的建立提供了研究银河系结构的一种有力工具,特别是在银河系自转和旋臂结构的研究上,以及银核和银晕的研究上,给出了用光学方法所未能得到的宝贵资料。

星协的发现对于解决恒星演化问题也起了很大作用。星团和银河星云的研究在本世纪开始以来也获得很大发展,变星和不稳定星的研究也是这样。这些方面的研究成果都是探讨恒星和恒星系统的结构和演化的重要资料。

恒星天文学在最近几十年来虽然有很大进展,但存在问题还

很多。观测资料虽然不断在累积着，但是为了彻底了解各种恒星系统的结构和动力学，资料仍嫌不够多不够准确，处理观测资料的方法还需进一步改善。至于各种恒星系统的起源和演化问题，只能说研究刚刚开始，它是今后很长一段时间内的研究课题。恒星天文是探讨宇宙规模物质运动发展规律的一条途径，它的每一项成就都使我们对客观世界的认识深入一步。

第一章 恒星视差的测定

为了研究恒星的空间分布,需要测定尽量多的恒星在空间里对太阳而言的位置,也就是说,测定恒星的赤经 α ,赤纬 δ 和距离 r 。从 α, δ, r 这三个量可以得出恒星在某种直角坐标系里的三个坐标 x, y, z ,然后根据这种数据来研究恒星的空间分布。测定 α 和 δ 是天体测量学的任务;测定恒星的距离是困难得多的工作,因为恒星离我们都很远。距离 r 一般以视差 π 表示,它们的关系是

$$\sin \pi = \frac{a}{r}, \quad (1-1)$$

其中 a 为太阳和地球的平均距离。若 r 以秒差距为单位,则 r 和 π 的近似关系具有下列简单形式:

$$\pi = \frac{1}{r}. \quad (1-2)$$

测定恒星视差的方法有许多种,根据所用的方法而给测出的视差以不同的名称,有三角视差,分光视差,平均视差,力学视差,造父视差,星群视差,星际视差等。对于特殊种类的恒星和各种恒星系统,如食变星、新星、球状星团、河外星系等,还各有测定距离的特殊方法。本章讨论测定各种视差的原理、方法和结果。

§ 1.1. 三角视差

十九世纪时曾经试图测定恒星的绝对视差,例如普耳柯沃天文台彼得斯用竖直圈测定恒星上中天和下中天时的天顶距,企图从观测结果算出绝对视差,但由于需要作许多种改正,所以结果的精确度不高。十九世纪后半以来,基本上没有人再进行绝对视差的测定了。二十世纪以来,进行恒星三角视差测定工作的天文台都用照相天体测量方法求恒星对附近比较星而言的相对视差。