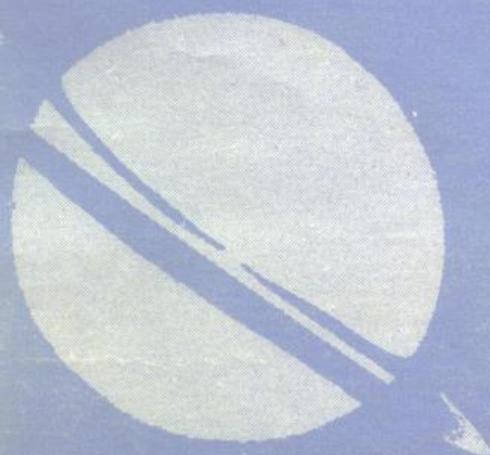


胡文瑞 李 竞 乔国俊 主编

天文学的新进展



科学出版社

P1-11
391

天文学的新进展

胡文瑞 李 竞 乔国俊 主编

科学出版社

1983

内 容 简 介

本书是一部论文集，收入论文十七篇，论述了当代天文学的新进展。其所论述的内容包括了银河系、黑洞、白洞、宇宙微波背景辐射、脉冲星、类星体、星际分子、宇宙论、超新星遗迹、太阳物理、空间天文学等等，各篇文章分别论述它们的发现或探测研究的历史以及研究现况和存在的问题。是广大青年科学工作者和高等院校的低年级学生的参考读物。

天 文 学 的 新 进 展

胡文瑞 李 竞 乔国俊 主编

责任编辑 黎昌颢

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137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

*

1983年3月第 一 版 开本：787×1092 1/32

1983年3月第一次印刷 印张：9

印数：0001—2,820 字数：188,000

统一书号：13031·2194

本社书号：3000·13—5

定价：1.40 元

前 言

天文学是自然科学的重要分支。近代天文学的进展依赖于工艺技术水平不断提高和基础科学水平的新成就。特别是物理学的发展为天文学的观测和天文现象的解释提供了理论基础。古代天文学主要限于目视观测天象。望远镜出现以后，扩大了人们的眼界，在分析力学的基础上，迅速发展起来了天体力学。光学望远镜的技术不断改进，分辨本领越来越高，可观测到的天体越来越远。由于量子力学，原子物理学和统计力学的发展，人们才从光学观测中理解到天体光谱内包含着丰富的信息，得到恒星大气结构，物质的运动状态，天体中的磁场分布等大量情报。光谱学的大显身手是一次重大的飞跃，使人们不仅能通过望远镜的观测来研究天体的运动轨道等力学规律，而且可以由光谱特征分析天体的演化和结构。光谱学的广泛应用，是天文学家的一个骄傲。第二次世界大战以来，雷达技术在军事上迅速发展。几乎同时，由于广泛开展受控热核反应装置的研究和天体物理的理论研究而发展了一门新兴的物理学科，即等离子体物理学。在技术和理论两方面的促进下应运而生的射电天文学，给天文学注入了极大的活力。六十年代出现了轰动一时的所谓天文学的四大发现，即微波背景辐射、脉冲星、类星体和星际分子，其中的前两项曾获得诺贝尔奖金。空间技术的发展使人们突破了地球大气的限制，冲到太空中去观测天体，形成

了崭新的空间天文学。太空观测不仅可以得到更清晰的光学观测结果，而且形成了 γ 射线天文学、X射线天文学、远紫外天文学、红外天文学等新的分支学科，获得了人们期待已久和令人惊异的结果。新颖的观测手段，精致的观测仪器，不断揭示出天体演化的奥秘，发现大量的新天体，展现了许多难于理解的过程。

当代天文学的一个重要特点是向各个基础学科领域渗透。宇宙气体动力学、宇宙电动力学、宇宙化学、宇宙生物学、等离子体天体物理学、高能天体物理学、相对论天体物理学等交叉学科如雨后春笋地接连诞生和发展。宇宙中广泛而多彩的物理条件，为各门学科提供了新的生长点。宇宙湍流结构一直是人们关注的课题，脉冲星磁场可以高达 10^{12} — 10^{14} 高斯，许多恒星内部的致密状态可能达到每立方厘米上百亿吨的极高密度，宇宙中的高能粒子比地面加速器产生的粒子能量高得无法比拟，天体中的爆发过程释放出难以设想的巨大能量，强辐射天体的能源比聚变核反应产生的能量强千百万倍，星际分子已发现有五十多种，使人眼花缭乱的这些现象和过程需要各门学科的知识 and 进一步发展的新理论。天文学的进展促使各门学科与天文学交叉，互相促进，共同发展。

天文学的研究对象有极大的特征尺度和极长的特征时间，因而包含着许多与地面实验室中不同的过程规律，使我们不能简单地用现有的理论去解释许多新现象。另一方面，天文观测所获得的信息又很不充分，往往缺乏许多关键性的资料。这使得正确的认识许多天体演化过程变得比较困难。常常有几种或者几十种理论模型去解释同一现象，彼此长期

争论不休，都等待着观测的检验和支持。大量事实说明，我们目前熟知的理论体系看来不足以解释许多奇异的天体过程，要求发展新的理论和学说。另一方面，人们的认识过程需要充分的资料，而天体的信息又很难得。因此，研究天体演化必须有科学的预见和创新精神。人们不得不用联想、类比和外推的方法，把较近的天体现象推广到遥远的过程，把现有的理论体系修改来解释新的规律。发现一个新的观测事实，可能使许多精工巧匠的杰作变为故纸。天文学的成果像沙里淘金一样，每一个重大的结论都经历过艰难的探索过程；在大量探索的基础上，留下很少的科学结晶。

研究天体演化的重大意义，首先在于认识自然规律。现代天文学是探索宇宙结构及其运动的一门自然科学。古代的哲学家常常根据自己的信念来设想宇宙的结构，而现代天文学是根据观测事实来归纳和分析天体演化的规律。人们常常把天体演化，生命起源和基本粒子称为自然科学的三大前沿阵地。也有人把天体起源、地球起源、生命起源和人类起源称为四大起源问题。这些都说明天体演化在自然科学研究中的重要地位。日心说与地心说的激烈争论表明，天文学的发展与社会思潮和社会结构的密切关系。现代天文学的发展不限于宇宙论的研究。它提出了大量问题向自然科学各个领域挑战，从太阳中微子短缺到各种天体的爆发机制，从红移之谜到引力本质的探讨，从脉冲星到黑洞，越来越多的疑团缠卷着我们的思想。一旦解开的疑虑，就意味着重大的突破。

天文学的研究还有重大的现实意义。恒星结构和能源的研究，启发人们去探索核聚变过程。我们今天不仅可以制造氢

弹，而且正在研究控制热核反应的途径，以解决迫在眉睫的能源危机。现代天文学揭示的许多比聚变能源更高能的天体，是否包含着新的、更有效的能源转换规律等待我们去探索呢？能量是决定物质状态的主要参数。随能量逐渐增高，物质从固态、液态、气态到等离子体状态。现在已经发现许多致密天体和高能天体处于比等离子体状态的能量高得多。这些超密态物质和高能状态的研究，可能启发人们去发展新型的应用技术。人们的生活已经离不开电，发电机把热能变成电能，电动机把电能转换为机械能，这些电机的磁场强度比起天体强磁场弱得多。如果我们能方便地获得超强磁场。可以设想，这对转换能量机械将发生重大的变革。重大理论上的突破会蕴育着技术上的重大变革。具体地讲，空间观测到的无碰撞激波不仅在天体物理中有广泛的应用，而且在等离子体实验中被用来加热离子。太阳活动对地球环境和气候的影响，更是与人们生活密切相关。

天文学是一门重要的自然科学，它的重大进展已经提出了大量新颖的课题，构成了对现代科学的严重挑战。天文学的进一步发展，对于社会生产力具有潜在的重要性，可能引起一系列重大的技术革命。天文学的成果已经为人们广泛地应用，并将继续借鉴应用。我们希望，这本书能帮助大家了解天文学中这些新现象的发展历史，观测特征，物理机制和存在的问题。希望这本书能引起大家进一步关心和探讨天文学新进展的兴趣。

胡文瑞

1981年12月10日于北京

目 录

前言

一、河外天体的谱线红移现象	1
(一) 从恒星的视向速度说起	1
(二) 星系的红移现象的发现	5
(三) 红移——距离关系	8
(四) 类星体的挑战	12
(五) 前景	15
二、黑洞和白洞——宇宙中的两种特殊天体	17
(一) 黑洞的形成	18
(二) 黑洞的基本特性	22
(三) 黑洞的寻找	28
(四) 与黑洞对偶的白洞	30
三、3K宇宙微波背景辐射	34
(一) 发现的历史	34
(二) 微波背景辐射频谱	36
(三) 背景辐射各向同性的测量	45
(四) 大爆炸宇宙学简述	45
四、脉冲星——奇异的天钟	50
(一) 科学的预见,“偶然”的发现	50
(二) 脉冲星就是中子星	54
(三) 中子星的极端物理条件	57
(四) 脉冲辐射的由来	61
(五) 脉冲星的研究对引力理论和星际空间物理的贡献	65
五、类星体的挑战	67

(一) 类星体的发现	67
(二) 类星体的性质和特点	70
(三) 河内天体和河外天体	73
(四) 红移论争	74
(五) 宇宙中最亮的天体	79
(六) 类星体研究中的问题	82
六、星际分子	83
(一) 星际分子的发现与证认	88
(二) 宇宙化学反应过程的踪迹——星系的化学史	91
(三) 恒星的诞生与消亡	92
(四) 银河系及河外星系的构造	95
七、空间天文学的进展	99
(一) 空间天文学概况	99
(二) 空间天文学的成就	104
(三) 未来展望	119
八、宇宙览胜竞技	121
(一) 天体电磁辐射的收集和探测极限	121
(二) 视场和综合效率	130
(三) 分光观测	132
(四) 自动控制和电子计算机在天文研究中的应用	136
(五) 综合孔径和多镜望远镜	138
九、现代宇宙学简介	144
(一) 奥伯斯佯谬	145
(二) 爱因斯坦静态时空宇宙模型	147
(三) 各种宇宙模型的提出	150
(四) 3K微波背景辐射发现激起的巨浪	152
(五) 宇宙的未来	153
(六) 走不完的路	155

十、来自河外星系的射电辐射	158
(一) 序言	158
(二) 各种光学星系的射电辐射形态	160
(三) 星系的射电特征以及与光学体的联系	166
(四) 星系射电辐射的形成和演化	170
十一、星系核及其活动	174
(一) 星系核和不稳定过程	175
(二) 星系核的活动相	176
(三) 活动星系核的物理结构	181
(四) 活动星系核的理论模型	184
十二、宇宙 X 射线源和 γ 射线源	188
(一) 河内 X 射线源	191
(二) 河外 X 射线源	195
(三) 河内 γ 射线源	197
(四) 河外 γ 射线源	201
十三、超新星遗迹	203
(一) 引言	203
(二) 超新星遗迹的射电辐射	206
(三) 蟹状星云	208
(四) 蟹状星云与典型的超新星遗迹	211
(五) 超新星遗迹演化的流体动力学模型	214
(六) 可能的超新星演化模型	216
十四、太阳耀斑爆发	218
(一) 观测结果日新月异	219
(二) 理论模型百花争艳	224
(三) 规律探索由近及远	230
十五、太阳中微子亏缺之谜——对近代恒星演化理论 的挑战	233

(一) 太阳能源和恒星演化的现有知识	233
(二) 太阳的中微子发射及其捕捉	237
(三) 解释矛盾的种种努力	239
十六、冕洞	243
(一) 冕洞的发现	243
(二) 冕洞的观测	244
(三) 冕洞的形态	252
(四) 冕洞与日球层	255
十七、宇宙中的磁层	259
(一) 太阳风和地球磁层的相互作用	262
(二) 行星的磁层	266
(三) 主序星的磁层	271
(四) 中子星的磁层	272
(五) 某些星系的磁层	275
(六) 磁层给我们的启示	276

一、河外天体的谱线红移现象

北京天文台 李 竞

十九世纪下半叶，天文学中相继引入了发明不久的照相术和分光方法。在宇宙探索领域里，诞生了天体照相、天体光度测量和天体光谱分析三个生长点，迅速开花、结果，产生了改变近代天文学面貌的深远影响。采用这两种新的观察手段和研究方法，到了二十世纪初期，新建的光学望远镜终于让人们科学地认识到银河系的真实面貌，并使人们的视界跳出了恒星宇宙的范围，进入了以百万秒差距为尺度的星系世界。近年来，随着射电、红外、远紫外、X射线的天窗被一个一个地打开。我们的眼力已贯穿到距离远达几千个百万秒差距（相当于上百亿光年）的广袤空间。天文学家怎样计量遥远天边的星系距离？他们用的是什么样的量天尺？

（一）从恒星的视向速度说起

1842年，奥地利物理学家多普勒论证说，当一个光源和观测者作相对运动时，观测者会发现光源辐射的波长改变。光源趋近观测者，波长变短，频率增大，光谱线向紫端位移；远离时，波长变长，频率减小，光谱线向红端位移。位移量 $\Delta\lambda$ 的大小和光源在视线方向的运动速度 V 成正比，即：

$$\frac{V}{C} = -\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$$

式中的 C 是光速, λ_0 是光源静止时的谱线波长, λ 是观测到的波长。 $\Delta\lambda$ 负值表示谱线紫移, 正值是红移。这就是著名的多普勒效应。在声学领域, 类似的效应早已为人熟知。例如, 在地面上火车鸣笛飞驰而过时, 站在地面的人可以听到声音频率由低变高, 再由高变低, 就是检验多普勒效应的一个实例。随后, 天文学家利用望远镜和天体摄谱仪, 在宇宙实验室中, 也证实了多普勒效应的正确性 (图1-1)。



图 1-1 恒星光谱和比较光谱

上下两条是供波长比较用的实验室光源的光谱, 中间一条是恒星光谱。根据恒星谱线相对于静止光源谱线的位移, 测出恒星的视向速度。

天文学家早已知道, 当细致地测量两张用同一望远镜拍摄的同一天区的星空照片, 如果间隔时间较长, 比如说十年、十五年, 会察觉出有些星像的方位, 因恒星的运动发生了微小的变化。这就是恒星在天球切线方向的空间运动分量, 叫做自行。根据多普勒效应, 由天体发出的光谱线的位移, 得出天体空间运动在视线方向的分量, 即视向运动, 使天文学家掌握了一个研究恒星运动的新手段。人们把利用多普勒效应求出的运动速度叫做视向速度。测定恒星的自行, 需要有较长时间间隔的两组星空照片, 有时需要历经一两代人, 才能见结果。因为有了天体分光方法, 视向运动原则上只要一张利用有缝恒星摄谱仪拍摄的质量良好的天体光谱底

片，立即就能定出天体的速度。

拍摄天体的光谱，测量和研究它们的视向速度，成为上
世纪末和本世纪初这一段天文学发展的历史时期的重要标
记。通过大量的观测资料得知，恒星相对于太阳的空间运动
速度，平均为 20—30 公里/秒，达到和超过每秒一百公里的
是少数。借助于视向速度方法，能准确地测定分光双星的轨
道运动（图1-2），并发现星协成员星的四向离散、行星状星

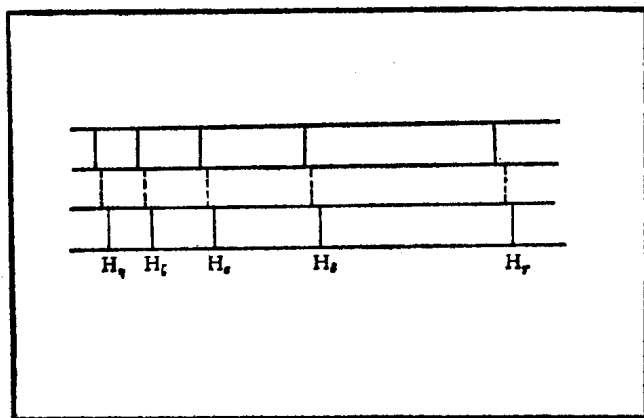


图 1-2 双星谱线的位移

双星中如果只有较亮的子星的光谱得见，在二子星沿视线方向互相绕
转过程中，亮星远离观测者，谱线波长短（图上）；趋近时，变长（图
下）；虚线表示中值（图中）。

云的膨胀、新星气壳的抛射。此外，通过恒星的空间运动的
分析，确认了银河系的较差自转。依据多普勒效应，还能研
究太阳、行星、恒星的自转，恒星大气的湍流运动，等等。
当把谱线位移原理推广到射电波段，又能有效地根据中性氢
21 厘米波谱线的观测资料，描绘银河系的旋涡结构（图1-
3）。一百年来，经过好几代天文学家的辛勤劳动，积累了总

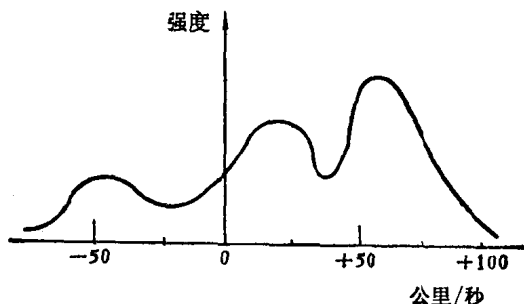


图 1-3 21 厘米中性氢谱线的轮廓

轮廓显示出同一方向上的三种不同视向速度的银河系旋涡结构。纵坐标是谱线强度，横坐标是视向速度。

数超过25,000个恒星视向速度的资料，推动了恒星天文学和银河系天文学的发展。

除太阳外，天上最明亮的恒星和实验室光源相比，也只能算是弱源。所以，要拍摄恒星的光谱，不仅要有口径尽可能大些的光学望远镜来聚光、成像，还得具备高效率的分光设备和灵敏底片，以及其它类型的辐射接收器。一个世纪以来，取得天体光谱资料这一基本要求一直成为兴建大型望远镜和改进恒星分光仪器的推动力。1890年前后，美国天文学家基勒在立克天文台，利用当时最大的（0.9米口径）折射望远镜和精心制造的棱镜分光仪，测定出大角星（牧夫 α ）趋近我们的视向速度是6公里/秒，这是一个划时代的测量精度。1888—1891年期间，德国波茨坦天文台的佛哥尔等人的恒星视向速度测量的平均随机误差为2.6公里/秒，达到当代的最高观测水平。在今天，在可见光波段，对于一个较亮恒星的测量精度能到达0.01埃，相当于1公里/秒。恒星的距离遥远到要用秒差距或光年去计量，可是我们竟能把它们

的视向运动速度测量得让误差小到1公里/秒，应该算是一个奇迹吧！

（二）星系的红移现象的发现

从1609年伽利略首次用望远镜观天之后，天文学家借助“千里眼”，看到了无数个凭肉眼不能观察到的暗弱天体，其中有许多是非星的或面光源的天体。例如，行星状星云、气体尘埃云、星团以及当时不详其距离，因而也不明其属性的云状天体，统称之为星云。1888年问世的“星云星团新总表”（简称NGC）和1895年和1908年相继出版的两部“星云星团新总表补编”（简称IC），共载非星天体13,226个，其中绝大多数是河外星系，即当时统称为星云的天体。它们的形态是旋涡形、棒旋形、透镜形、椭圆形和不规则形。这些星云是银河系之内的天体呢？还是银河系之外的？是恒星世界中我们的近邻呢？还是遥远的宇宙之岛？判明星云的本原，成为本世纪初的头等重大的天文课题。为了解决疑谜，首先得测出我们银河系究竟有多大，还得研究出测量银河系之内和之外的距离的可靠方法。到了二十年代末，人们已走上识破星云本原的正确之路，并为进一步地深入探索大尺度空间奠定了基础。人们终于明白无误地洞悉，银河系虽然辽阔，仍然只是一个空间上有限的恒星集合体，仅是宇宙中的一个小岛。在银河系之外，还有更深远的空间，那里分布着与银河系类似的天体系统——星系，以及星系群和星系团。从那时起诞生了河外星系天文学和观测宇宙学这两门崭新的学科，

极大地开阔了人类的视界。

在本世纪最初二十多年的一段历史时期，有人致力于测定银河系的大小，有人使用美国威尔逊山天文台于1908年和1918年相继建成的，当时最大的1.5米和2.5米反射望远镜观天，在星系的照片上分解、辨认、测量其中的成员天体；还有人观测星系的光谱，测定它们的视向速度。在另一领域内的先驱者是美国天文学家斯利弗。他在洛威尔天文台，利用60厘米折射望远镜和他手制的摄谱仪，从1912年起着手研究河外星系的光谱。星系的表面亮度暗淡，要成功地拍摄它们的光谱，需要有高超的观测技术。一般而言，星系光谱在底片上的形象是浑沌一片，两条电离钙星际吸收谱线H和K宜于作波长测量，这两条谱线的静止波长分别为3934和3918埃（图1-4）。这样，经过了十年的努力，终于测定了41个星系的视向速度。斯利弗的结果发表之后，引起很大震动。速度测定值大得超出预期：从趋近我们的-300公里/秒，直到远离我们的+1800公里/秒。在41个星系中，谱线紫移的是少数，红移的占大多数，这个现象和恒星世界的情况大不相同。太阳附近空间的恒星既有驰近的，也有奔离的，正值和负值大体相当。前面已说过，恒星相对于太阳的视向速度的绝对值是几十公里/秒。41个星系的速度平均值竟比恒星的高出几十倍。这是观测的选择效应呢？还是客观实际的反映？对恒星而言，每秒上千公里的运动速度意味着的是气壳抛射或爆发活动。难道说，星系谱线的位移表明的竟是整个星系在高速度运动？为什么大多数星系都是退行而去？这就是星系光谱测量的先驱者们向人们提出的带根本性的问题。