



## 恒星物理研究与发展\*

文/韩占文

中国科学院云南天文台 中国科学院天体结构与演化重点实验室 昆明 650011

**【摘要】** 文章介绍了恒星物理的研究现状和发展趋势,包括恒星形成、恒星结构与演化、双星演化与应用、恒星振动、恒星化学丰度、系外行星系统、Ia型超新星与伽马射线暴、星族合成等等,并对国内恒星学科的发展进行了展望。

**【关键词】** 恒星物理,恒星结构与演化,双星,恒星振动,恒星大气,化学丰度,系外行星,超新星,伽马射线暴,星族,星系,宇宙学

DOI:10.3969/j.issn.1000-3045.2012.01.008

### 1 背景和意义

恒星是受自身引力束缚在一起的炽热的等离子气体球,晚期恒星中含有简并态物质。恒星是天体存在的主要方式,天空中绝大部分(99.99%)发光的天体都是恒星。太阳是我们最近的一颗恒星(图1),它是地球上一切生命的起源。

恒星物理是天体物理的一门经典学科。现代天文学研究在恒星物理上有多个分支,包括恒星形成、恒星内部核反应、恒星结构与演化、双星演化、恒星振动、恒星化学丰度、系外行星、超新星、伽马射线暴、星族合成等等。半个多世纪以来,人们在恒星物理学领域的研究取得了辉煌的成就。1967年,美籍德裔科学家 Bethe 因发现恒星能源而获得诺贝尔物理学奖;16年后,美籍印裔科学家 Chan-

drasekhar 因恒星结构和演化的理论研究与另一科学家 Fowler 分享了 1983 年的诺贝尔物理学奖。另

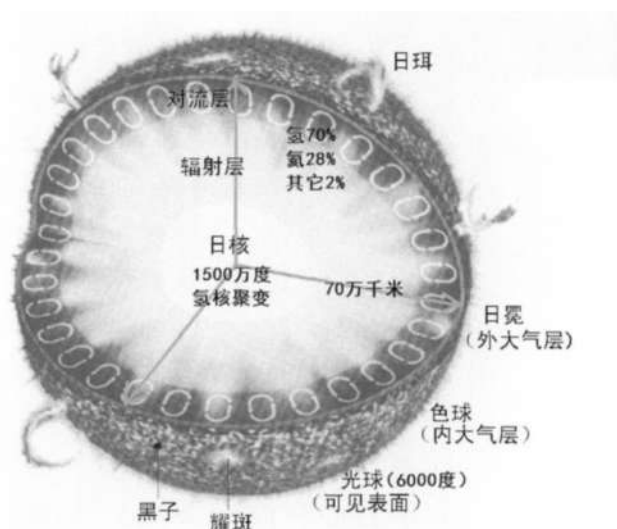


图1 太阳的结构(摘自 <http://special.cpst.net.cn>)

\* 收稿日期:2011年10月25日

有5个天体物理领域的诺贝尔物理学奖(磁流体力学的基本工作和发现,1970年;脉冲星的发现,1974年;发现一种新类型脉冲星,开辟引力研究新途径,1993年;通过脉冲星的周期观测发现引力波存在,2010年;通过超新星观测发现宇宙在加速膨胀,2011年)也与恒星物理学研究紧密相关。

20世纪天文学最卓越最辉煌的成就之一就是建立了恒星结构和演化理论,它和宇宙学并称为天体物理的两大理论体系。通过恒星结构和演化理论,人类可以认识各类不同恒星的内部结构、内部的各种物理过程以及恒星的演化规律,并能解释各类不同恒星的许多观测现象和规律。图2展示了恒星的一生。(恒星是由分子云的引力塌缩形成的,分子云的主要成分是氢,还有一些氦及微量重元素。分子云在塌缩过程中,先形成一个星核,当星核的密度和温度足够高时,星核中的氢开始聚变成氦,产生能量,并向外传输。此时内部压力足够大,可以抵抗引力,星云不再塌缩,一颗恒星就这样诞生了。在恒星的一生中,大部分时间内其内部进行着氢核聚变,发出光和热。当中心的氢全部聚变成氦后,中心核开始收缩,温度升高,氦开始聚变为碳氧。如果恒星的质量小于8个太阳质量,碳氧核不能继续聚变,此时

恒星抛掉外壳产生美丽的行星状星云,碳氧核变为白矮星。如果恒星的质量比较大的话,其中心核的元素可以一直聚变到铁,最后铁核塌缩,产生超新星爆炸,形成中子星或黑洞。除氢和氦以外,宇宙中的其他元素基本上都是恒星中的热核反应或超新星爆炸产生的。

本文将分别对恒星物理各分支领域的研究和发展进行评述;简单介绍我国在恒星物理研究领域的卓越贡献,并对该学科未来发展方向进行探讨。

## 2 恒星物理各分支领域的研究现状和发展趋势

### 2.1 恒星形成

天空中如此众多的恒星,它们是如何形成的,即恒星的起源问题,是恒星物理学的基本问题之一,也是宇宙起源研究的一个重要内容。它们和行星起源,乃至生命起源,都密切相关。目前,人类对小质量恒星形成的物理图像有比较清楚的认识,但对大质量恒星的形成还知之甚少。

近几年,大质量恒星形成的研究在观测和理论上都取得了重要进展<sup>[1,2]</sup>。观测上的进展突出表现为:(1)恒星形成各阶段的观测样本数目得到了较大增加,使研究各阶段

之间的演化关系成为可能;(2)在大质量无核星云中探测到气体下落运动。气体下落是恒星形成的起始,也是恒星形成过程的最重要标志;(3)在大质量原恒星的周围探测到星周盘,对大质量恒星的形成机制给出了很强限制;(4)射电波段的相位参考技术的发展和运用,使大质量恒星形成区的距离测量精度比过去提高了一个量级,为精确确定大质量恒星形成区和大质量原恒星的物理参量提供了前提。在理论上发展了恒星形

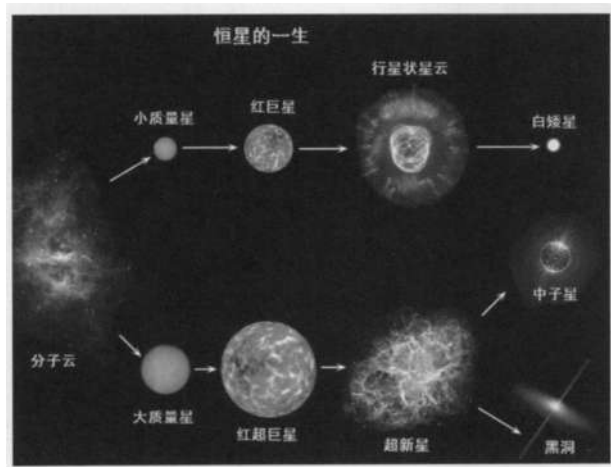


图2 恒星的一生(摘自 <http://essayweb.net>)

成动力学理论和竞争性吸积理论以及中小质量恒星碰撞并合理理论。这些理论可以给出分子云的寿命、恒星形成初始条件和恒星形成时标等基本物理量,并解释了许多观测现象,如竞争性吸积理论解释了为什么大质量恒星总是成团形成并处在星团的中心部分。但仍然遗留了一些问题。

## 2.2 恒星结构与演化

恒星结构和演化理论经历了创始、发展和完善等阶段。它在20世纪天体物理中与宇宙学一起并称为最成功的两大理论体系,是今天天体物理研究的重要基础,其应用贯穿整个天体物理(图3)。图3中, $M_{\text{sun}}$ 为太阳质量( $2 \times 10^{30}$ 千克),Solar Radius为太阳半径(70万千米)。每个圆点旁边标注的是恒星的名字。赫罗图是恒星物理的基础。

在新世纪,恒星物理观测数据的大量积累及计算方法和技术的突飞猛进大大地促进了恒星物理的研究:原来给恒星模型设定的一些简化假设逐渐被真实的物理条件所替代;自转、磁场和动力学等物理机制已经可以引入实际的恒星模型;一系列过去的经典难题,如大质量恒星的演化、AGB星的性质、褐矮星等,业已得到或即将得到解决。因此,经典的恒星结构和演化面临一个很好的发展机遇。

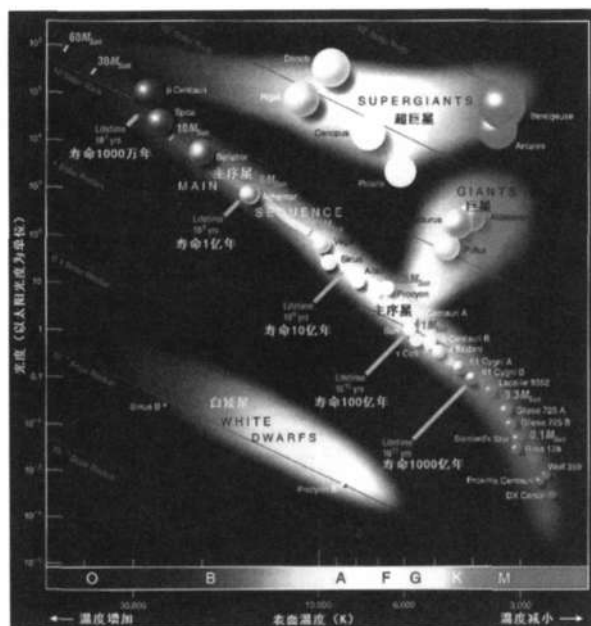


图3 宇宙元素周期表—赫罗图:恒星在温度(颜色)—光度图上的分布(摘自 <http://www.astrosurf.com>)

恒星结构和演化理论需要一些基本的物理输入,如原子参数、不透明度、物态方程、核反应截面等。这些与恒星物理相关的物理基础研究也在不断进展。强激光实验是研究这些物理基础的基本手段,它使得实验室天体物理(作为一个交叉领域)成为一个新的学科增长点。对流理论是恒星物理中的难点,它会影响恒星在各个阶段的结构及其演化规律。人们已经有可能对对流区的结构进行大规模的三维数值模拟,甚至构建自洽的三维恒星模型。AGB星问题也是一个经典难题,涉及到核合成、质量损失机制、尘埃性质及辐射转移等许多具体的物理问题,并延展到中小质量恒星演化的终极阶段的性质和在星系研究中的应用(老年星族的基本性质),这方面的研究目前进展迅速<sup>[3]</sup>。第一代恒星问题,即零(极低)金属恒星的观测发现<sup>[4]</sup>、理论模型<sup>[5]</sup>,是当前天体物理学中一个共同的前沿问题。

## 2.3 双星演化和应用

双星演化在恒星演化中占有十分重要的地位。因为超过60%的恒星是双星或聚星中的成员。当双星中的成员相距很近,每颗子星的演化将受到其伴星的重要影响,它们可能并不经历恒星单独演化所经历的所有阶段。正是由于双星的存在,恒星世界才显得丰富多彩,双星演化产生各种各样的特殊天体。人们通过双星演化理论,研究了多类重要天体的形成<sup>[6-8]</sup>,如钡星、双白矮星、共生星、激变变星、双极行星状星云、X射线双星、热亚矮星、Ia型超新星前身星、蓝离散星等等(图4)。双星相互作用在星族和星团研究中被广泛应用<sup>[9,10]</sup>,如用于建立演化星族合成模型、研究星团的积分光谱、球状星团的水平分支形状和元素丰度异常,等等。

双星在观测上具有特殊地位。双星不仅是获得精确的恒星基本物理参量最重要的场所,还为研究许多天体物理过程提供了良好的机会而被称为天体物理研究的“实验室”。天文学家在双星系统的观测上获得了一系列革命性的发现,如脉冲星双星 PSRB1913+16 和 X 射线双星天鹅座 X-1 分别为广义相对论的正确性和黑洞存在提供了特有的证



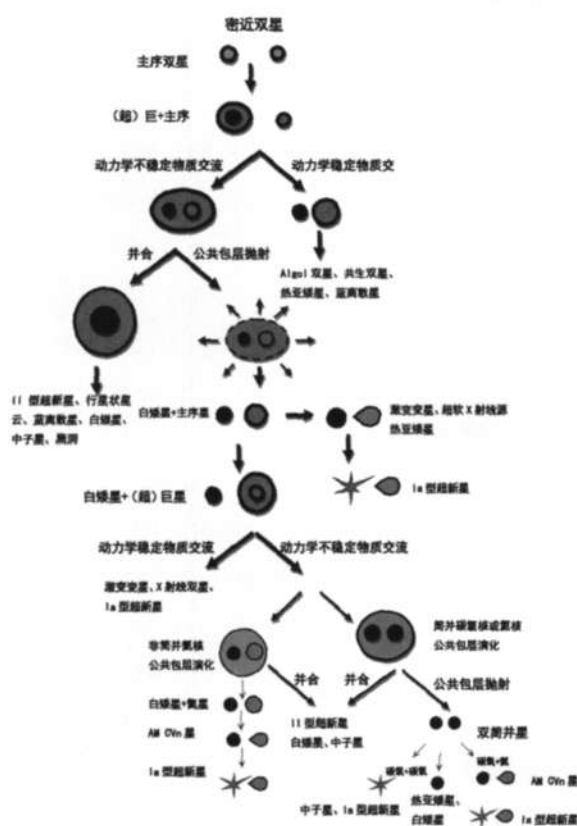


图4 双星演化示意图

据<sup>[11,12]</sup>;对双星进行测光和光谱观测,可给出双星的物理参量,从而给出双星的质量角动量损失规律,甚至还可给出第三天体的基本信息,第三天体可能是正常恒星,也可能是黑洞、中子星、褐矮星、行星<sup>[13]</sup>。

但是,双星演化理论的本身并不完善,一些经典难题,主要是双星间动力学物质交换和公共包层演化,至今仍未解决。因此,双星演化理论在取得上述巨大成功的同时,也遗留下了相当多的问题。双星理论和实际观测之间还存在很多明显的矛盾,这些矛盾驱使人们不断地去修改和完善目前的双星演化理论。同时,因为动力学物质交换和公共包层演化决定了双星系统的演化结局,这两个物理过程的不清楚直接影响了双星演化理论在其他领域应用时的准确性和可靠性<sup>[14]</sup>。

## 2.4 恒星振动

恒星振动是指恒星的光度或视向速度等可观测量发生周期性的变化。地震学家通过地震可以得到地球的内部结构,类似地,星震学家可以通过恒星振动得到恒星内部的结构。恒星振动研究是得到恒星内部结构的主要方法,是天体物理学一个重要研究领域,近年来进入了一个蓬勃发展时期。随着一大批新类型恒星振动的发现,恒星振动现象在赫—罗图上处于不同位置、不同质量和不同演化阶段的多种类型恒星中被普遍发现,恒星振动研究开始进入全赫罗图时代<sup>[15]</sup>。

在恒星振动的观测中,许多新方法和新技术的应用起到了重要作用。一批全球多台站联合观测网(如 GONG、WET、STEPHI、DSN 等)的建立和运行提供了大量的高

连续性、高精度观测数据;美国的 WIRE 卫星、Kepler 卫星、加拿大的 MOST 卫星和法国的 COROT 卫星对恒星振动的观测,则开启了恒星振动的空间观测时代,将观测精度提高了两个数量级以上。

恒星振动的理论研究也获得了许多重要进展:新的不透明度表的发表解决了一些类型恒星振动机制研究方面的困难;恒星自转、磁场和对流等效应的影响在恒星理论模型中得到了考虑,使恒星的数值模型获得了显著的改善;湍流理论及其在恒星振动中的应用得到了发展;新的计算不仅能给出恒星本征振动频率,而且能预言模式是否被激发,等等。

## 2.5 恒星化学丰度

人们对恒星的认识主要来自恒星所发

出的光,而恒星的光是从恒星大气发出的。通过分析恒星的光谱,可以得到恒星的大气结构及其化学组成。近年来该领域取得了很大的进展。在大气模型方面,Asplund<sup>[16]</sup>利用流体力学模拟将传统的一维模型拓展到三维(3D)。在谱线分析方面,Gehren及其合作者<sup>[17]</sup>将非局部热动平衡(NLTE)分析技术应用到更多的元素上。在观测极限方面,8—10米级望远镜和高效率的摄谱仪可以观测越来越暗的星等(18等),可以得到银河系球状星团中矮星和邻近星系中巨星的高分辨率、高信噪比的光谱。在观测效率方面,已经从单目标观测发展为高分辨的7个目标(FLAMES)和中分辨的130目标(GIRRAFE)。在低分辨率方面,SDSS的640根光纤和RAVE的2250根光纤提供了海量的低分辨率光谱巡天数据。

观测和分析方法的改进使得该领域进入一个蓬勃发展的阶段。极端贫金属星的系统搜寻和丰度分析已成为该领域的焦点。该领域的研究结果被用于研究恒星是如何形成的、球状星团是如何形成的、星系的结构及其形成过程是怎么样的、宇宙的年龄是多少,等等。

## 2.6 系外行星

太阳系是宇宙中的唯一吗?其他恒星有行星吗?系外行星的发现是现代天文学在过去10年来的主要科学突破领域。自1992年发现第一颗系外行星系统<sup>[18]</sup>以来,目前已经观测到700多颗具有行星系统的恒星。

寻找行星是项异常困难、极具挑战性的工作。目前,效率最高、也是最常用的是视向速度法。90%的具有行星系统的恒星候选体是通过该方法发现的。然而,该方法只能提供轨道参数和行星质量的下限。掩星法可以更细致地研究行星的质量、半径和密度等物理特征。美国NASA于2009年发射了Kepler卫星,在三年半的时间内,通过监测10万颗恒星的亮度变化,利用掩星法来探测系外行星。该项目预期将发现100颗左右的类似地球的系外行星。探测系外行星的方法还有脉冲星计时

法、微引力透镜法、直接成像法等等。

哪些恒星会有行星?行星会如何影响恒星的演化?这将是非常有意义的问题。

## 2.7 Ia型超新星和伽马射线暴

超新星是恒星演化到晚期的一种极为壮观的高能爆发现象,涉及许多复杂的物理过程,从爆发机制到核合成、辐射转移以及激波物理。依据光谱,超新星可分为两类:I型和II型。II型超新星的光谱中有氢的吸收谱线而I型没有。根据光极大附近光谱的特征,I型超新星又可进一步分为Ia、Ib和Ic三个次型。II型、Ib型、Ic型均为核塌缩型超新星(即铁核塌缩释放引力能而爆炸),而Ia型超新星为热核爆炸超新星(碳氧白矮星热核爆炸将白矮星炸碎)。一般来说,当白矮星质量达到钱德拉塞卡(Chandrasekhar)质量极限(1.4个太阳质量)时,发生Ia型超新星爆炸,因此Ia型超新星非常明亮且光度相对单一,可校准为标准烛光,用来测定宇宙学距离,从而探索宇宙的形状。此外,Ia型超新星爆炸产生的铁是星系中铁元素的主要来源,而铁是星系化学演化的主要驱动力。因此,美国《新千年天文学和天体物理学》把Ia型超新星列为新千年的主要研究对象之一。

通过Ia型超新星测距,Perlmutter等人发现了宇宙在加速膨胀<sup>[19]</sup>,从而推论出暗能量的存在。暗能量的发现不仅是天文学,更是物理学的巨大突破(Perlmutter等人因此获得了2011年度诺贝尔物理学奖)。然而,Ia型超新星还有很多问题不清楚。如Ia型超新星的前身星是什么,即达到钱德拉塞卡质量极限的碳氧白矮星是如何产生的<sup>[20]</sup>?碳氧白矮星是如何爆炸的?Ia型超新星光度弥散的原因是什么?Ia型超新星的校准光度随红移演化吗?这些问题将直接影响目前宇宙学结果的可靠性以及当前星系化学演化模型的准确性,并阻碍精确宇宙学的发展。

伽马射线暴是来自宇宙空间的一种短时标的 $\gamma$ -射线爆发现象,通常持续零点几秒到几十秒钟,它是恒星演化到晚期产生的。1997年以来,在

BeppoSAX、HETE-II、Swift 等卫星的相继推动下,伽马射线暴研究取得了一系列的重要进展,测定了伽马射线暴的红移,并发现其与超新星成协。发现长暴来源于大质量星塌缩,短暴来源于双中子星并合,并给出了辐射模型。

当前伽玛射线暴研究处在 Swift 时代<sup>[21]</sup>和 Fermi 时代<sup>[22]</sup>。Swift 卫星是美国 2004 年发射升空的,它具有强大的观测能力,每年可快速定位约 100 个伽玛射线暴。2008 年美国高能卫星 Fermi 发射升空,其重要科学目标之一就是探测伽玛射线暴在 20MeV 到 300GeV 波段的高能辐射,这使我们有机会深入了解伽玛射线暴的暴周环境和辐射机制。通过观测和理论研究,在伽玛射线暴的爆发机制、偏振性质、宇宙学应用、中微子和引力波辐射等方面有望取得重大进展。

## 2.8 星族合成

对具有相同年龄和化学组成的一批恒星,天文学家称之为星族。星系由多种星族组成。对于遥远的星系星团,我们不能分辨其中的恒星而只能观测得到其积分光谱。为了研究星系和星团的结构和演化,Tinsley 于 1968 年<sup>[23]</sup>提出了星族合成方法,由观测到的积分光谱反演星系星团的恒星成分。目前,星族合成方法主要有两种:经验星族合成方法和演化星族合成方法。经验星族合成方法将观测到的样本恒星光谱按一定的比例进行组合,再现观测到的积分光谱,从而得到恒星成分。很显然,该方法得到的解存在某种随意性,缺乏物理内涵。而演化星族合成方法则将星族进行恒星演化计算,得到星族不同年龄时处于不同演化状态恒星的比列,再进行光谱合成,得到理论积分光谱,然后与观测到的积分光谱对比,反演星族的性质。演化星族合成方法是一种物理的方法,得到了越来越广的应用,成为星系

星团研究的重要工具。

目前建立的演化星族合成模型主要分为两类:一类是单星族演化星族合成模型<sup>[24]</sup>,一类是双星族演化星族合成模型<sup>[9,10]</sup>。随着各种单星族演化星族合成模型的不断改进和发展,多数模型都可提供高、低光谱色散结果,以满足各种星系研究的需要。双星族演化星族合成模型主要是 Yunnan 模型<sup>[9,10]</sup>。观测上发现,有一半的恒星是双星,而双星的演化完全不同于单星。双星之间存在多种相互作用,其演化远比单星更加复杂,会产生各种各样的特殊恒星,如在年老星族中产生高温的蓝离散星和热亚矮星,而这些高温恒星对星族积分光谱的短波部分有主要贡献。同样双星族演化星族合成模型也可提供高、低光谱色散的各种结果。

## 3 我国恒星物理主要成绩及未来展望

我国天文学家在恒星物理研究的各分支领域都取得了重要成果,极大地促进了恒星物理及相关领域的发展。

在恒星形成方面,紫金山天文台的江治波、杨戟等人发现了正在成长中的大质量恒星周围有“拱星盘”——一种包含有磁场、尘埃和气体的物质,这是大质量恒星形成规律至关重要的证据。该发现刊登在《自然》杂志上。

在恒星结构和演化方面,云南天文台黄润乾院士和北京师范大学毕少兰发展了含自转和磁场的恒星演化模型。云南天文台李焱发展了湍对流理论,该理论使得在恒星演化计算中考虑真实的湍对流成为可能。北京师范大学姜碧汾搜寻并探测到了大量外银盘中的一氧化硅及其同位素脉泽源(产生于恒星演化晚期),极大地充实了一氧化硅脉泽源库,成为日本天体测量项目 VEAR 输入星表的主要来源之一。国家天文台赵刚研究小组通过贫金属星的观测数据,精确





定出了银河系的质量为1万亿个太阳质量,比过去认为的质量减少了一半,该研究获德国Ernst-Patzer基金会的Ernst-Patzer奖。北京大学徐仁新指出了区分中子星和夸克星的可能途径。在恒星基本输入的物理研究方面,国家天文台赵刚研究小组开拓了实验室天体物理的研究。

在双星演化和应用方面,云南天文台黄润乾院士等人发展了不守恒的双星演化理论;云南天文台的葛宏伟首次给出了恒星的快速物质损失模型,该模型使我们从物理上认识了双星演化的稳定性问题和公共包层演化问题;云南天文台陈雪飞通过研究共生星发现大气洛希瓣物质交流在双星演化中非常重要;云南天文台李立芳建立了相接双星理论模型,解决了双星演化中存在的能量交流的区域问题;云南天文台韩占文发展了大样本恒星演化理论,给出了多种特殊天体的形成模型,其中热亚矮星模型被国际同行称为热亚矮星“主要理论”;云南天文台钱声帮等人通过观测,给出了双星的长期轨道变化,等等。

在恒星振动方面,云南天文台李焱等人发展了双温恒星振动模型;北京师范大学毕少兰给出提出了星震赫洛图,利用该图可以直接估计低质量主序星的质量和年龄。观测方面,北京师范大学付建宇通过恒星振动观测给出了白矮星高精度的基本参数和内部结构的丰富信息。

在恒星化学元素丰度研究方面,国家天文台赵刚研究小组建立了第一个大样本贫金属矮星高分辨率光谱观测样本,完成了其化学丰度的系统性定量分析;北京大学的刘晓为解决了气体星云中长期存在的一个问题,即由复合线和碰撞激发线得到的化学元素丰度相差10倍。

在系外行星研究方面,国家天文台赵刚研究小组在国内首次发现了系外行星,云南天文台钱声帮发现了绕双星转动的系外行星,南京大学周济林则从理论上提出类地行星的形成机制。

在Ia型超新星和伽马射线暴研究方面,南京大学李向东创造性地提出了一些超软X射线源可以

演化为Ia型超新星。Ia型超新星中有一半在恒星形成1亿年内爆炸,这些超新星怎么来的?云南天文台王博等人提出了氦双星模型,解决了这个难题,被30多个国家的70多家海外媒体(如BBC, Science Daily)报道。清华大学王晓峰通过观测,发现了Ia型超新星可以分为两类:外壳快速膨胀的Ia型超新星和外壳慢速膨胀的Ia型超新星,这样Ia型超新星的测距精度提高了1倍。南京大学戴子高等人提出伽玛暴的相变模型、余辉的星风模型等等。

在演化星族合成方面,云南天文台的张奉辉等人在国际上首次给出含双星的演化星族合成模型,发现双星就像化妆品一样,使星族(椭圆星系)看起来更年轻(约20%)。而国家天文台的邓李才等人通过观测发现,双星极大地改变了星团的能谱分布,尤其是在短波方向,因此在使用演化星族方法研究星系星团时,必须考虑双星的影响。云南天文台的韩占文将热亚矮星双星模型用于椭圆星系研究之中,解决了椭圆星系的基本性质——存在了38年之久的紫外超来源问题。

未来10年,是中国恒星物理快速发展的10年。利用国内外的大中小型观测设备(如LAMOST望远镜和云南丽江2.4米望远镜),利用大规模的计算机数值模拟,可望在以下方面取得重要进展甚至突破:(1)恒星形成和早期演化,包括原恒星、大质量恒星形成、年轻恒星活动和主序前演化、初始质量函数、原始行星盘和原始行星系统等;(2)恒星结构和演化及恒星大气,包括元素丰度确定、磁场、转动和对流在恒星结构和演化中的作用,星震和脉动,恒星活动,双星演化,特殊恒星演化的样本研究等;(3)致密天体和恒星晚期演化,包括白矮星、中子星(夸克星)、黑洞、X-射线双星、超新星和伽马射线暴等的研究;(4)银河系结构和演化,包括星族组分、化学丰度、恒星空间分布及运动学、动力学,星团及超星团(SSC)的研究;(5)太阳系外行星系统,包括太阳系外行星系统的搜寻,太阳系外行星系统的性质及其演化等课题方向的研究;(6)恒星研究在天体物理相关领域的应用,如星族合成、Ia型超

新星在星系宇宙学研究中的应用等等。

**致谢** 在撰写文章的过程中,得到了王红池、邓李才、李立芳、钱声帮、付建宁、陈玉琴、黄永峰、张奉辉、葛宏伟、陈雪飞等的大力支持。文章还参考了中国天文学会编著的《天文学学科发展报告》<sup>[25]</sup>和国家自然科学基金委会编著的《天文学科、数学学科发展研究报告》<sup>[26]</sup>。

#### 主要参考文献

- 1 McKee C, Ostriker E C. Theory of Star Formation, ARA&A, 2007, 45: 565-687.
- 2 Zinnecker H, Yorke H W. Toward Understanding Massive Star Formation. ARA&A, 2007, 45: 481-563.
- 3 Marigo P, Girardi L. Evolution of asymptotic giant branch stars. I. Updated synthetic TP-AGB models and their basic calibration. A&A, 2007, 469: 239-263.
- 4 Zhao G, Magain P. The chemical composition of the extreme halo stars. II - Green spectra of 20 dwarfs. A&A, 1990, 238: 242-248.
- 5 Suda T, Fujimoto M Y, Itoh N. Evolution of Low-Mass Population III Stars, ApJ, 2007, 667: 1 206-1 219.
- 6 Han Z. The formation of double degenerates and related objects, MNRAS, 1998, 296: 1 019-1 040.
- 7 Han Z, Podsiadlowski Ph, Maxted P F L. et al. The origin of subdwarf B stars - I. The formation channels, MNRAS, 2002, 336: 449-466.
- 8 Chen X, Han Z. Mass transfer from a giant star to a main-sequence companion and its contribution to long-orbital-period blue stragglers, MNRAS, 2008, 387: 1 416-1 430.
- 9 Zhang F, Han Z, Li L et al. Evolutionary population synthesis for binary stellar populations. A&A, 2004, 415: 117-122.
- 10 Han Z, Podsiadlowski Ph, Lynas-Gray A E. A binary model for the UV-upturn of elliptical galaxies. MNRAS, 2007, 380: 1 098-1 118.
- 11 Huls R A, Taylor J H. Discovery of a pulsar in a binary system. ApJ, 1975, 195: L51-L53.
- 12 Mirabel I F, Rodriguez L F. Microquasars in the Milky Way, Sky and Telescope, 2002, 103: 32-40.
- 13 Qian S et al. Detection of a planetary system orbiting the eclipsing polar HU Aqr, MNRAS, 2011, 414: L16-L20.
- 14 Ge H, Hjellming M S, Webbink R F et al. Adiabatic Mass Loss in Binary Stars. I. Computational Method, ApJ, 2010, 717: 724-738.
- 15 Gautschy A, Saio H. Stellar Pulsations Across the HR Diagram: Part 1, ARA&A, 1995, 33: 75-113.
- 16 Asplund M. New Light on Stellar Abundance Analyses: Departures from LTE and Homogeneity. ARA&A, 2005, 43: 481-530.
- 17 Gehren T, Shi J R, Zhang H W et al. Na, Mg and Al abundances as a population discriminant for nearby metal-poor stars, A&A, 2006, 451: 1 065-1 079.
- 18 Wolszczan A, Frail D A. A planetary system around the millisecond pulsar PSR 1257+12, Nature, 1992, 355: 145-147.
- 19 Perlmutter S et al. Measurements of Omega and Lambda from 42 High-Redshift Supernovae, ApJ, 1999, 517: 565-586.
- 20 Wang B, Meng X, Chen X et al. The helium star donor channel for the progenitors of Type Ia supernovae, MNRAS, 2009, 395: 847-854.
- 21 Gehrels N, Ramirez-Ruiz E, Fox D B. Gamma-Ray Bursts in the Swift Era. ARA&A, 2009, 47: 567-617.
- 22 Atwood W B et al. The Large Area Telescope on the Fermi Gamma-Ray Space Telescope Mission. ApJ, 2009, 697: 1 071-1 102.
- 23 Tinsley B. Evolution of the Stars and Gas in Galaxies. ApJ, 1968, 151: 547-565.
- 24 Bruzual G, Charlot S. Stellar population synthesis at the resolution of 2003, MNRAS, 2003, 344: 1 000-1 028.
- 25 中国科学技术协会主编, 中国天文学会编著. 2007-2008 天文学学科发展报告. 北京: 中国科学技术出版社, 2008.
- 26 国家自然科学基金委员会数学物理科学部. 天文学科、数学学科发展研究报告. 北京: 科学出版社, 2008.



中国科学院



## Research and Development of Stellar Astrophysics

Han Zhanwen

(Key Laboratory for the Structure and Evolution of Celestial Objects, CAS

Yunnan Observatory, CAS 650011 Kunming)

**Abstract** This paper reviewed the research and development of stellar astrophysics, including star formation, stellar structure and evolution, binary evolution, asteroseismology, stellar element abundances, exo-planet systems, type Ia supernovae, gamma-ray bursts, population synthesis, etc. The author outlined the perspectives and future development of stellar astrophysics in China.

**Keywords** stellar physics, stellar structure and evolution, binary stars, stellar oscillation, stellar atmospheres, chemical compositions, exo-planets, supernovae, gamma-ray bursts, stellar populations, galaxies, cosmology

韩占文 中科院云南天文台台长、研究员、博士生导师。1965年10月出生。1995在英国剑桥大学获博士学位。中国天文学会副理事长、中科院天体结构与演化重点实验室主任、国家杰出青年基金获得者、首批新世纪百千万人才工程国家级人选。主要从事双星演化、大样本恒星演化、特殊恒星的形成、演化星族合成研究工作。E-mail: Zhanwenhan@ynao.ac.cn

## 2011年度“中国科学十大进展”评选结果发布

为进一步扩大中国基础研究工作的影响,让全社会了解、支持我国基础研究工作,由科学技术部基础研究管理中心会同《科技导报》杂志社、《中国科学院院刊》编辑部、《中国科学基金》编辑部和《中国基础科学》编辑部共同开展的2011年度“中国科学十大进展”评选结果于2012年1月17日在北京发布。

依据《中国科学十大进展评选办法》的要求,评选的重点是研究成果的原创性、新闻性以及社会影响力。首先,通过初评,从233项推荐进展中遴选出31项候选进展。随后,以问卷形式将候选进展送中国科学院院士、中国工程院院士、“973计划”顾问组和咨询组专家、“973计划”项目首席科学家、国家重点实验室主任等专家进行无记名投票。《中国科学院院刊》负责中科院相关研究进展的组织、推荐工作。

根据投票结果,最终评选出的2011年度“中国科学十大进展”是:(1)天宫一号与神舟八号成功实现交会对接;(2)利用强激光成功模拟太阳耀斑的环顶X射线源和重联喷流;(3)将小鼠成纤维细胞成功转化为功能性肝细胞样细胞;(4)显微光学切片层析成像获取小鼠全脑高分辨率图谱;(5)设计出兼具低场高灵敏和高场大磁电阻的硅基磁电阻器件;(6)揭示梯度纳米晶铜本征塑性变形机制;(7)揭示Tet双加氧酶在哺乳动物表观遗传调控中的重要作用;(8)利用化学气相沉积法制备出石墨烯三维网络结构材料;(9)阐明冰期-间冰期印度夏季风变迁的动力学机制;(10)实现碳纳米管的高效光伏倍增效应。

以上10项进展中,由中科院科学家牵头承担的研究有6项、合作参与1项,由此也从一个侧面反映了中科院在我国基础研究领域的地位和作用。  
(《中国科学院院刊》编辑部 供稿)