

超新星的观测研究及其科学意义

——兼论基础研究选题的指导思想

汲培文

(国家自然科学基金委员会数理科学部, 北京 100083)

胡景耀

(中国科学院北京天文台, 北京 100080)

[摘要] 超新星是宇宙中最激烈的天体物理现象。超新星的观测研究,除自身的重要学术意义外,还与当今天体物理其他重要领域密切相关。本文分析介绍了超新星的观测研究,以及我国在此领域取得的进展,进而探讨了基础研究选题的指导思想。

[关键词] 超新星, 观测研究, 选题思想

引言

作为宇宙中最激烈的天体物理现象超新星(在不到一秒钟的时间内释放 10^{46} J 的能量),是当今天文学家研究的热点,它与多门物理学分支密切相关。我国对超新星的研究有良好的基础。自然科学史专家们利用我国古代丰富的天象记录,认证出一系列历史上爆发的超新星与目前观测到的超新星遗迹相吻合,为超新星统计和超新星爆发后的演变研究提供了非常宝贵的依据。近 20 年来,我国天文学家在超新星及其遗迹的统计和理论研究方面也做了大量极有意义的工作。然而,作为超新星研究的核心——超新星爆发的观测研究,我国由于受观测设备的限制,直到 1993 年建成了我国 2.16 m 望远镜并投入正常运行后,观测研究才真正开始。在国家自然科学基金委员会和中国科学院等部门的支持下,中国科学院北京天文台、北京师范大学和南京大学的天文学家们,利用该望远镜开始对一批亮超新星做光谱观测。1995 年,中国科学院北京天文台的天文学家,根据超新星巡天观测研究不需太大口径望远镜的特点,对一架普通小型的 60 cm 望远镜进行改造,配备了先进的 CCD 相机,用作超新星巡天和光度观测,开始了我国的超新星巡天、光度和光谱的多方面观测研究。他们利用自己得到的观测资料,在国际重要学术刊物(包括《Nature》)上发表了一系列论文,展示了我国在此领域取得的进展。今年初,在河外星系 NGC4027 中,我国天文学家发现了一颗刚爆发的超新星,被国际天文学会命名为 SN1996W。这是当代首颗由中国人用自己的望远镜发现,并被国际天文学会编号命名的超新星。现又发现了 SN1996bo 和 SN1996bv。

本文于 1996 年 10 月 23 日收到。

1 超新星观测研究

我国有着很好的超新星观测的历史记录。但是,当时人们并不知道它们的本质,只是作为“客星”(因其突然出现,故称作客星)记下。1885年,人们在仙女座大星云中发现有一颗星突然发亮到5.8等。现在人们认识到仙女座大星云是和我们银河系一样的庞大的恒星系统,它离我们的距离有230万光年。那么,1885年那颗亮到5.8等的星,它的光度是太阳的20亿倍,它比被称做新星的突然发亮的星还亮几千倍,所以被称作超新星。记录在中国史书上的一些“客星”,如1054年发现的那颗比天上所有星(除太阳和月亮外)还亮的“客星”,以后,很快就判明它们是发生于银河系内的超新星。在银河系那里有着美丽的形如螃蟹的星云(被称作蟹状星云,即为超新星遗迹),并于60年代在其中发现了脉冲星。从本世纪30年代,天文学家就注意在河外星系中搜寻超新星,并对它们做光谱和光度等测量,对超新星的本质才逐步有了一些认识。

超新星爆发时,它的光度将达到太阳的几十亿甚至百亿倍,也就是和一个银河系(由百亿颗恒星组成的星系)相同的光度;爆发过程所释放的总能量将达到 10^{46} J,而太阳这一生所发射的总能量只及甚至少于它的1/10。超新星爆发时,不仅光学波段会突然增亮,而且还有强的中微子、 γ 射线、X射线,有时还有射电辐射产生。要解释这样一种剧烈变化的物理过程,一直是天文学家的强烈愿望。他们希望了解超新星爆炸的前身星是什么?爆发时所释放的巨大能量来自何方?什么原因能使它爆发及爆发的物理过程是什么?通过观测、统计和理论分析,天文学家目前已给出了初步的描述超新星爆发物理过程的模型。一般而言,人们将超新星分为两类,即I型和II型;在I型超新星的光谱中没有氢线;而II型超新星的光谱则主要由氢的巴尔末线组成。

现在认为,I型超新星的前身星是演化最终阶段的密近双星。它的大质量子星已经演化到白矮星,并且开始吸积伴星的物质。当吸积速率超过 $10^{-8} M_{\odot}/a$ 时,聚集在白矮星表面的吸积物质就从氢聚变为氦;当这一层变厚后,其底部就由氦聚变为碳。这一过程很快,它使得白矮星的碳核质量迅速地达到钱德拉塞卡极限,即 $1.4M_{\odot}$ 。在中心,碳被点火,聚变迅速地向外扩展,不到一秒钟就达到了表面而形成了超新星爆发。

II型超新星的前身星是演化到晚期的大质量恒星。一个质量超过10个 M_{\odot} 的恒星,在不到3000万年的时间,它的核心氢就耗尽了,然后氢聚变为碳和氧,碳变为氖和镁,氖变为氧和镁,氧和镁变为硅和硫,直到最后硅和硫聚变为铁族元素。在铁核外面则依次为上述聚变后的剩余物。核心变为铁族元素后,核反应停止,没有压力来平衡引力,于是引力收缩开始,中心的密度和温度迅速上升,电子被压到原子核中而形成富中子的原子核,高能粒子又撕破原子核使它变为 α 粒子。上述两个过程又都要大量地吸收能量,使得坍缩加速。从引力收缩开始,在不到一秒钟的时间内,中心密度就超过了 $2.7 \times 10^{14} \text{ g/cm}^3$ 的核子的密度,它将阻止坍缩而产生反弹激波,产生超新星爆发。

I型超新星将碳聚变为0.6个 M_{\odot} 的 ^{56}Ni 和II型超新星坍缩所释放的势能,都能产生高达 10^{46} J的能量。这个过程只有秒数量级的时间尺度,而这个过程产生的主要能量由中微子带走。但该过程产生的 γ 光子及其他由散射产生的X射线、激波等与星际介质作用产生的射电辐射,和加热尘埃所产生的红外辐射,使光球膨胀,在光学波段产生的光度迅速增长,然后

缓慢下降；而 ^{56}Ni 衰变为 ^{56}Co 和 ^{56}Fe 也释放能量，使得下降变得更慢，由此对超新星的观测可以维持相当长的一段时间。上述机制，实际上只能对超新星爆发过程作一粗线条的描述。几乎所有超新星都有其不同的特点，其中许多特有的物性对上述模型提出了挑战。例如，SN1987A的前身星不是红超巨星，而是蓝超巨星；SN1993J从I型变为Ib型等，这使得天文学家对超新星必须做更深入的观测研究。

对超新星的观测研究不仅可以了解其本身，而且几乎与所有天体物理前沿领域密切相关。例如，超新星爆发是大质量恒星和密近双星演化的终极，而有趣的是，超新星爆发又被认为是大质量恒星形成的触发机制；近年来河外星系的研究热点——星爆星系，被认为是有大规模恒星正在形成，而这又被认为是超新星级联爆发的结果；超新星爆发过程又是形成重元素的过程，现在甚至认为铁族以后的重元素也是超新星爆发过程中产生的，因此，超新星爆发关联着元素的演化；超新星爆发向星际空间抛射出大量的物质，它所释放的能量又加热了星际物质，在研究星际物质时必须考虑到超新星的作用；超新星爆发时释放出中微子、 γ 射线和X射线，以及在超新星遗迹中有强的 γ 射线和X射线源，因而它们又是高能天体物理研究的主要对象；超新星还可以作为研究宇宙结构的工具，作为标准烛光用以确定距离，因其是最亮的标准烛光，又可用以推算或检验哈勃常数。

超新星爆发过程又是一个核聚变过程，它为核物理学家提供了地面上无法实现的实验，用以研究许多极端物理条件下的核反应过程；而高能物理学家感兴趣的宇宙线，可能主要来自超新星。因此，超新星的研究与众多物理学重要领域交叉、相关。

我国的超新星观测研究已经起步，并做出了一定的成绩，目前正在四个方面开展工作：利用中国科学院北京天文台的60cm望远镜对近2000个星系作超新星系统的巡天，到1996年11月中旬已发现3颗超新星：SN1996W，SN1996bo和SN1996bv，利用我国2.16m望远镜进行亮超新星的光谱观测；用60cm望远镜对亮超新星做测光研究；建立模型，对所得到的光谱和光变曲线进行理论分析，给出超新星爆发过程的物理参数和机制。

2 启示和思索

应该指出，我国的2m级望远镜在国际上已属中小型望远镜，仅从口径而言，竞争力较弱；而一具60cm小型的光学望远镜更无任何特色和优势。我国从事超新星观测研究的天文学家，在分析国内外各天文台观测设备、观测环境和望远镜主要观测对象的基础上，根据超新星的特点和我国华北地区冬、春季节晴夜多（另有两个做系统的超新星巡天观测研究的美国 and 法国天文台，冬、春季都没有太多的晴夜，而在北半球，超新星所在的星系多出现在冬、春两季）的地域特点，改造现有望远镜的后端接收系统，选择当今天体物理重要前沿领域和热点——超新星的观测研究，作为主攻方向，在短短几年里，取得了引人瞩目的成绩，这不能不归因于研究者们成功和智慧的选题。这意味着，在当今基础研究领域，特别是像天文学这种需要耗资巨大的现代化大型观测设备的“大科学”领域，只要我们开动脑筋，立足国内现有条件和基础，在必要的经费和条件支持下，勇于创新 and 探索，仍能做出在国际上有特色、有影响的工作，并再一次说明基础研究选题的重要性。立足国内现有基础，加强国际合作与交流，选择前沿和核心领域，扬长避短，从纷繁复杂的现象中抓住关键问题，获得新发现，提出新见解，争取做出奠基性和开创性的工作，是当今基础研究选题的重要指导思想。

OBSERVATION AND RESEARCH ON SUPERNOVA AND THEIR SIGNIFICANCE

Ji Peiwen

(Department of Mathematical and Physical Sciences, NSFC, Beijing 100083)

Hu Jingyao

(Astronomical Observatory, C.A.S., Beijing 100080)

Abstract Supernovae are the most active phenomena of Astrophysics. Observation and research on supernovae are not only important to themselves, but also important to other fields of astrophysics. This paper introduces the research and progress on supernovae in China, and then discusses how to select projects about basic research.

Key words supernovae, observation and research, selecting projects

· 信 息 ·

第二届中韩基础科学联委会暨 第六届 NSFC 与 KOSEF 工作会议在北京召开

根据国家自然科学基金委员会与韩国科学与工程基金会 (Korea Science and Engineering Foundation) 签署的协议, 第二届中韩基础科学联委会于今年 4 月 13 日至 15 日在北京召开。联委会共有 12 名成员, 韩方和中方各 6 名。中方的 6 名成员分别是: 陈俊亮院士、白以龙院士、王夔院士、强伯勤院士、蔡睿贤院士、钱祥麟教授, 陈俊亮院士为中方主席, 韩方主席为汉城大学的朴龙安教授。KOSEF 主席朴辰好 (Park Jin-Ho) 先生随团来访。我委员会主任张存浩院士、副主任周炳琨院士分别致欢迎词, 与朴辰好主席进行了亲切友好的会谈。

第二届中韩基础科学联委会确定 1997 年双方共同组织 8 个双边研讨会, 内容覆盖化学、生命科学、材料科学、地球科学、信息科学; 1997 年中韩双方将互派 6 个科学考察组 (Fact-Finding Mission), 我委员会将组织派出 3 个考察组访韩, 它们分别是工程与材料科学、生命科学、地球科学考察组; 韩方 KOSEF 将组织 3 个考察组访问中国, 它们分别是信息科学、工程与材料科学和数理科学考察组。联委会还一致同意 1998 年双方共同组织召开一次区域性的基础科学研讨会, 题目是“关于古地质环境变化、生物多样性及保护”, 中韩双方各派 15 名代表参加, 其它重要的亚太国家各派 1—2 名代表参加。

第六届 NSFC 与 KOSEF 工作会议同时召开, 双方就合作中的有关问题进行了较为详细的讨论, 并就如何进一步加强中韩科技合作进行了深入的探讨。

(国际合作局 张永涛 供稿)