

超新星, 对它的观测研究和科学意义

Observations and Studies on Supernovas

胡景耀

(中国科学院北京天文台, 研究员 北京 100080)

超新星, 作为宇宙中最激烈的天体物理现象, 被天文学家视为研究的热点。在我国悠久的古代文明历史中, 对河内(银河系内)的超新星有着最丰富的记载, 为今天研究超新星提供了重要的依据。但是, 在近代天体物理研究中, 我国天文界对超新星观测研究方面的贡献太少了。从 1993 年开始, 北京天文台组织了对超新星的观测研究队伍, 当年成功地对超新星 SN1993J 作了系列的光谱观测, 并对它的演变提出了独特的模型, 可是, 在超新星发现者的名单中还没有我们中国人的名字, 这似乎有愧于我们的祖先。1996 年 4 月 10 日, 北京天文台用 60 厘米望远镜在河外星系 NGC2047 中发现了一个超新星, 它当即被国际天文学会所承认并被命名为 SN1996W。对这个“零的突破”, 国内各种新闻媒介也作了广泛的报导, 引起人们的广泛注意。

一、超新星的发现

天文学家用超新星这个名词还是本世纪 20 年代的事。当哈勃(E. Hubble)确认了一批旋涡星云是类似于我们银河系, 并是由相当于百亿个太阳亮度的恒星所组成的遥远的恒星系统后, 人们立即想起在 1885 年在仙女座大星云曾有一颗星突然发亮至 5.8 等。由于仙女座大星云离我们的距离为 220 万光年, 那就说明它的亮度超过常出现在银河系内的新星达数千倍, 也就是它的亮度可达到上百亿个太阳那么亮。兹维基(F. Ewicky)就把出现在星系中的这类亮度远远超过新星的星体称为超新星。他敏锐地感觉到这类天体在天文学研究中的重要意义, 所以他就开始对一批河外星系作系统性的监视观测, 从 30 年代到 60 年代共发现了数十个超新星。对它们的观测和统计研究, 奠定了我们对超新星的初步认识。

但是实际上, 在人类历史上早有对超新星的观测记录。这首先推我国的钦天监们所作出的对天象仔细观察的记载。在我国古籍中记录下八次银河系内超新星爆发。尤其是 1054 年记录下的超新星, 后来

它形成了蟹状星云并在 1968 年发现其中有一脉冲星。它就是超新星爆发后遗留下的中子星。当然, 中国古代的天文学家当时并没有意识到他们所记录下的是一种最壮观的天象。但是这批历史记录为今天研究超新星所作出的贡献是不可估量的。

现在包括北京天文台在内, 世界上共有三个天文台在对河外星系作系统的监视观测, 另外有一大批天文爱好者对一批近星系用他们后院的望远镜在作监视。我们不能小看这些“爱好者”, 亮的超新星往往是他们首先发现的。另外, 还有一批超新星是“追认”的, 即它极亮时我们并没有认出它们, 因为一般情况下并不是专门为了找它们而去作观测的; 往往是在作其它观测时, “捎带”观测到的。这类超新星当被人们发现时往往已较暗, 对它的研究意义已不大了。现在每年大约可以发现 30 多个超新星, 但多数是“捎带”发现的。真正有意义的是在亮度极大时或极大前后发现的。实际上, 比较亮的具有重大研究意义的超新星为数并不多。北京天文台所发现的 SN1996W 是在亮度极大前发现的, 而且观测到它一直亮到 15 等, 这是很有意义的。当然, 它的变化特殊性使它有更重要的价值, 我们将在后面讨论。

二、超新星的观测特性

目前对超新星的观测主要集中在光学波段, 所以它的特性首先也是从对它的光谱和光变曲线推断出来的。对大量的超新星的光谱观测结果发现, 有一类超新星的光谱中没有宇宙中丰度最大的氢的谱线, 而另一类在光谱中占显著地位的是氢的谱线。于是天文学家就把它们分为两类, 前者叫 I 型超新星, 后者叫 II 型超新星。但是后来发现仅分为两类仍不足以将它们作恰当归类。于是把 I 型超新星又分为 I_a、I_b 和 I_c。I_a 主要是光谱中有硅线, 而 I_b 和 I_c 没有硅线。I_b 中有氦线而 I_c 中无氦线。对于 II 型超新星则根据它的光变曲线分为 II_e 和 II_l。前者在亮度极大后光变曲线有一“平台”, 而

后者则呈线性下降。当然,恰如前面已谈到过的,每一超新星都有它的特色。所以往往上述分类的框架仍然不能对某些超新星给出一个适当的分类位置。

但是,后来发现,上述分类仍然具有很大的价值,同一类的超新星在其前身星和爆发机制等方面都有相似之处。

就Ⅰ型超新星而言,它们可以从不同类型的星系出现。根据它的光谱,我们得到,它爆炸后的大气抛射速度为10 000~13 000公里/秒。而它在极大时的绝对星等 M_0 为-19.7,或者说有近100亿个太阳那么亮。其中Ⅰ_b型的超新星比较暗一些,但在亮度极大时也仍有几十亿个太阳那么亮。Ⅰ_b型超新星常出现在旋涡星系中。

Ⅱ型超新星在亮度极大时和Ⅰ_b亮度差不多,也常出现于旋涡星系。其膨胀速度也达每秒10 000公里。

当然,超新星爆发时所释放的能量不仅仅是光学波段,它还可以是中微子的形式。超新星SN1987A爆发时日本的神冈和美国IMB的中微子探测器都探测到了中微子暴,一共得到27个中微子记录,这是首次确定地知道来自太阳系外的中微子,从此开创了中微子天文观测。从本文后面将要给出的超新星模型可知,在它爆发时将产生丰富的 γ 射线,以及散射后得到的X射线。但由于它们的外层大气仍然很稠密,这些射线在爆发时仍观测不到(超新星遗迹是强的 γ 和X射线源);而在爆发时主要是紫外和光学波段的辐射。对于近的超新星如SN1987A,在它爆发后100多天我们才探测到它的X射线辐射(通过日本Ginga X射线卫星),而 γ 射线则更晚一些才由美国的SMM卫星探测到。红外波段的辐射来自膨胀的光球和对星周尘埃的加热,所以往往有两次亮度极大。射电辐射是超新星爆发时的高速外抛物质与周围星际介质相互作用产生的激波所引发的,只有在Ⅱ型和Ⅰ_b型能观测到。

根据现在对超新星观测结果的综合,它爆发的总能量为 10^{53} 尔格量级(太阳的总辐射功率为 3.8×10^{33} 尔格/秒,所以它相当于太阳辐射 10^{12} 年的总和!)。但它的能量主要以中微子的形式释放,紫外、光学和红外波段的辐射只占1%,在爆发过程中以10 000公里/秒速度外抛的物质所输出的能量也只占大约10%。

三、超新星爆发的机制

困扰着天文学家的一个突出问题是要找出这种大规模的能量释放的机制。或者要求回答,超新星的前身星是什么?什么原因能引发它的爆发?爆发时所释放的能量来自何处?

首先察看Ⅰ_b型超新星,它出现于各种类型的星系,而在光谱中缺少氢谱线。根据这些特征,人们就提出了Ⅰ_b型超新星的前身星是密近双星,爆发是在密近双星演化的最终阶段引起的;它的爆发是由于其中一个白矮星子星吸积(吸引和积累)了另一子星的物质,使得它的质量超过 $1.4M_{\odot}$ ($M_{\odot}$,太阳质量)的昌德拉塞卡(Chandrasekhar)极限所致。设想由两颗质量小过 $8M_{\odot}$ 的子星组成的密近双星系统,其质量大的那一颗星演化得较快,它燃烧完氢后,接着燃烧氦,等到中心烧完氦其核心就变为碳和氧核的白矮星。而此时,小质量子星的物质就可能被它所吸积。若这一物质转移速率小过 $10^{-6}M_{\odot}/\text{年}$,那么在白矮星表面就会形成一个氢壳,当它达到点火温度时就产生爆发,但其规模小,与超新星无法相比,这就是普通的新星爆发。当转移速率在 $10^{-6}M_{\odot}/\text{年}$ 和 $3 \times 10^{-6}M_{\odot}/\text{年}$ 之间时,产生的氢聚变,以及接着发生的氦聚变,使其变为碳及氧。这一过程发生得很快,所产生的碳和氧使核心质量很快超过 $1.4M_{\odot}$ 的昌德拉塞卡极限,即它的密度可超过 3×10^9 克/立方厘米,并达到点火温度,在核心的碳被点燃后,就形成了超新星爆发。当然,若转移速率超过 $3 \times 10^{-6}M_{\odot}/\text{年}$,过程可能会更激烈,但现在尚未有一完备的理论图像来描绘它。

当白矮星中心温度达到碳的点火温度后,首先是在核心出现碳聚变,然后以亚音速的传输速度逐步将点火传到外层,将物质都变为铁属元属,在标准的称之为爆燃模型中将产生 ^{56}Ni ,总量为 $0.6M_{\odot}$ 。引起爆发的能量总和将达到上面提到的 10^{53} 尔格的数量级,但是释放的能量则需减去双星的束缚能。爆炸是那么厉害,它将把白矮星炸光而不留任何东西。

而Ⅱ型超新星则不同。它往往出现在旋涡星系的旋臂上,和恒星形成区有联系,而且它有丰富的氢。一个目前被普遍接受的模型是:Ⅱ型超新星的前身星是大质量恒星的引力坍缩。其大致图像是:质量大过 $10M_{\odot}$ 的恒星,在经过3 000万年甚至更短的时间后它的中心耗尽了氢,然后随着发生了5个核聚变过程,即氢聚变为碳和氧,碳变为氮和镁,氮变为氧和镁,氧和镁变为硅和硫,直到最终硅和硫聚变为铁属元素。最后一个聚变过程要求温度为 $3.5 \times 10^9\text{K}$ 。当完成后在其中心形成一个 $1.4M_{\odot}$ 的铁核;而在外层均为核反应的剩余物,在最外层则是氢。这时中心的核反应停止,引力收缩开始。当中心温度上升到 10^{10}K ,密度达到 10×10^9 克/平方厘米时,电子被“压”到原子核里去而导致重的富中子的同位素的产生,而高能辐射又将核撕成 α 粒子。两个过程都要带走一部分能量和压力,使得坍缩变得更快,超过了声速。当中心密度超过原子核的密度 2.7×10^{14} 克/立方厘米,它将阻止坍缩而产生激波

反弹,进而形成超新星爆发。激波的能量是 $4\sim 10\times 10^{51}$ 尔格量级。但它在向外传输过程中,由于中微子损耗及核光子离解为中子和质子而需耗散能量。现在的计算表明,若这一耗散太多的话就不能产生超新星爆发。而其中心,由于没有足够的力量平衡引力,形成一个黑洞。至于I₀型超新星,它也常出现于旋涡星系的旋臂上,所以应该也是大质量恒星的后代。目前的理论认为它的前身星是沃尔夫—拉叶星。这是大质量恒星演化到晚期的一种天体,其表面已无氢包层,所以在它的光谱中没有氢线。

上述模型似乎是很完美,一些观测事实支持这些模型。例如,它们均有足够的能量可以释放,I型超新星有强的中微子流(这在SN1987A₀已观测到了),I₀型超新星光谱中所出现的硅、硫等谱线,以及所产生的 ^{56}Ni 衰变为 ^{56}Co , ^{56}Fe 所释放的能量的时间过程与超新星亮度极大后的光变曲线可以符合,等等。但是,实际观测又对上述理论常给以冲击。例如,目前我们唯一已知前身星的超新星是SN1987A,它是I型超新星,但它的前身星是蓝超巨星而不是红超巨星。有一些超新星会从I型变为I型,如SN1993J。这就提出了一些特殊的问题,需要人们修改模型,再予以解释了。

四、超新星与天文学研究

虽然超新星只是一种罕见的天象,但它在天文学研究中占有重要的位置,近年来始终是天体物理研究的热点,这是因为超新星的研究与一些重要的天体物理研究领域有着十分密切的关系。当然,首先应提到的是恒星演化。I型和II型超新星分别是密近双星和大质量恒星演化终极的过程。不仅如此,I型和II型超新星还与恒星起源有着密切关系。现代大质量恒星还被认为是超新星的星风将大分子云“吹”到一起形成的。而这又关系到近年来在河外星系研究中的热点——星爆星系,它们被认为内中有大规模的恒星正在形成,而这又被认为是超新星级联爆发的结果。

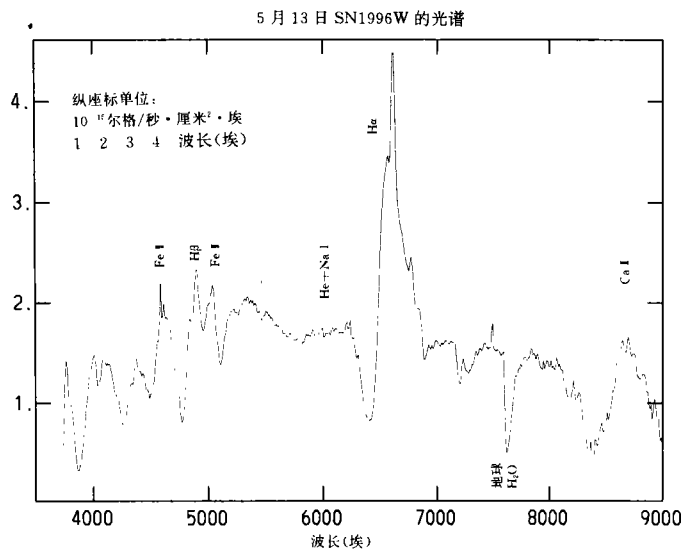
超新星的遗迹不仅会产生中子星,而且它们是银河系内最重要的射电、X射线和γ射线源。所以超新星又成为高能天体物理研究的主要对象。各星系不仅由恒星组成,还有大量星际物质存在,它们是天体物理学研究的主要对象之一。超新星爆发过程不仅把大量的物质抛向星际空间成为星际物质,它们的能量也大量地耗散在星际物质上,成为加热这些物质的主要能源。更应该提到的是在形成超新星前身星时,它的组成物是以轻元素(主要是氢)为主;但被超新星抛出的物质,则因经过超新星爆发时的原子“炼炉”,已经变“重”多了。

超新星不仅作为研究对象很重要,它又可以作

为工具——“标准烛光”来确定星系的距离,这在观测宇宙学上有着重要的意义。由于I₀型超新星是白矮星吸积物质,它的碳/氧核质量超过 $1.4M_{\odot}$ 就发生爆发,所以释放的能量是很接近的,因此它就被用来作为标准烛光。也就是我们可以从观测到的亮度极大时的视星等和亮度极大时的绝对星等的对照中推算出它的距离。尤其是,由于它是已知的最亮的星,所以我们可以从它判断更远的星系的距离,并用以核验哈勃常数。

五、超新星与物理学

超新星爆发给物理学家提供了一个非常好的核聚变过程的“实验”,也是一个粒子物理的极其难得的“实验”。因为这些条件在地面上是永远无法实现的,而通过超新星的观测,我们有可能对极端条件下的核聚变过程和粒子物理中粒子相互作用的一些过程的理论作出检验。当然,超新星爆发过程将比地面上的核爆炸过程来得激烈得多,爆炸物理学中的一些问题如激波的产生和耗散也可以从超新星爆发过程中去研究;而宇宙线的主要来源现在认为就是来自超新星爆发。所以超新星及其遗迹的研究始终得到物理界的热烈关注。



1996年5月13日的SN1996W的光谱图

六、SN1996W 和北京天文台的超新星观测研究计划

本文开始时提到北京天文台发现了超新星SN1996W。经国际天文学会向全世界天文界发布

(下转第17页)

间考验,在生产中一用即衰。为此,应该实事求是,建立严格的技术推广程序,必须有完备的鉴定过程和试验、示范过程,还要有严格的法律约束机制,对于因技术本身的问题使生产者蒙受损失的,要追究技术研制者和导入者的法律责任。各级地方政府要组织自己的技术监测鉴定机构,负责对应用于当地的技术进行审查、选择。要随时掌握技术信息和科技发展动态,对当地需要引进和推广的技术提出详细的计划。

组建一支好队伍。科技推广普及面的大小、推广质量的高低都取决于一支强有力的科技推广队伍。农业科技推广从技术的创造产生到应用于生产,涉及科研工作者、推广工作者、农民群众三个方面,这支队伍的培育,必须着眼于各个环节。一是要重视科学家的培养,给他们充分的深造和理论基础提高的机会,并要求他们到生产实际中锻炼提高,造就一批既能解决生产实际问题,又能源源不断地为生产提供先进适用技术的科学家。二是要重视科技推广专业队伍的建设,使先进适用的技术从科学家那里准确无误地传播给农民。还要充分认识技术推广对整个社会和政府的绝对利益,投资组建各级推广网络,壮大推广专业机构和队伍。三是培养和造就一批有文化、懂技术的农业劳动生产者队伍,要逐步建立绿色证书制度,对农民进行农业经营上岗前的培训,提高农民群众的技术水平。只有取得绿色证书以后,方赋予其农业生产经营权和土地使用权。

形成一个好体系。要从科研院所将农业科技成果顺利地转化为生产力,没有一个良好的推广体系

是不行的。根据陕西农科院 229 小麦良种推广的经验,可以组织如下几种适应市场经济运行的新体系。

(1)由成果创造者牵头,通过产品、技术交换,形成经济联系,组成“成果研制单位—成果推广单位—成果示范村”线点式、松散自愿型推广体系。

(2)由成果研制创造者与政府联合,借助政府的力量和新闻媒介的宣传,由省向地、县、乡、村逐级下达推广任务,形成发散式的政府激励约束型推广体系。

(3)由成果研制创造单位以成果为商品,与农民群众直接进行交换,形成市场中介式的两极发展型体系。

制定一套好政策。目前我们在农业技术推广方面有三个方面的政策不到位。一是农技创造者及推广者的利益与生产效益脱节,粮食增产了,他们得不到相应的好处;粮食减产他们也不承担相应的责任。二是推广工作者的待遇不到位,成果奖励、突出贡献专家评定、跨世纪学科带头人的选拔、专业技术职务的晋升,都向科研倾斜。三是科技推广经费不到位,政府支持力度小,重科研、轻推广。为此,应迅速出台如下政策:一是允许农技研究、推广单位和科技工作者,在农业生产因应用推广新技术而增产的份额中,抽取一定比例的科技成本补偿费。二是在成果奖励、人才选拔、职称晋升、经费投放中专设推广指标,与科研形成双轨。三是增加农技推广经费,在财政拨款、农业投资中给粮食技术推广专门切块,使之有足额配套的经费支撑。

(责任编辑 冷远猷)

(上接第 39 页)

后,它已被众多的天文学家所观测到。北京天文台也连续地用 2.16 米望远镜观测它的光谱和用 60 厘米的望远镜测它的亮度。在附图中我们给出了 5 月 13 日的光谱。从光谱我们可以推断,它是一个 II 型超新星。它的膨胀速度为 9600 公里/秒。而且截止到 6 月 1 日作者结束本文时它的亮度和光谱变化均很小。这是一个很奇特的超新星。在过去已知的超新星中只有 SN1987A 和它相似,但它的变化比 SN1987A 还要慢。考虑到它处在恒星形成区,所以我们认为它完全可能是一个比 SN1987A 有更稠密大气的蓝超巨星爆发的结果。当然,这一判断有待于我们进一步观测和理论模型计算来确定。

超新星的观测研究在天文学研究中有极重要的位置,但在没有更大型的观测设备的条件下,仅利用我们现有的 2.16 米和 60 厘米望远镜,我们也

可以作出出色的成果,所以它是一项适合我国国情的基础研究项目。在国家自然科学基金委员会的支持下,北京天文台从 1993 年开始已经取得了包括发现 SN1996W 在内的一系列成果。现在我们不仅可以发现超新星,用光谱观测它们,测出它们的光变曲线,而且还可以用模型来拟合这些光谱和光变曲线,求出爆发的物理过程。同时超新星观测研究是一项富于挑战性的工作,我们和国外同行既有合作又有竞争,争谁先发现,谁的观测资料好、模型作得好。北京天文台从事超新星研究的人员主要是一批刚拿到博士学位的年青人和博士研究生,我想在这一领域内,他们将会在今后的竞争中作出出色的成果来,在世人的面前显示出,我们将无愧于我们的祖先。

(责任编辑 王宏章)