

超新星

南京大学天文系

戴文赛

高能天体是指释放能量或功率十分巨大的天体，这是天体物理学中的一类崭新的研究对象。超新星就是高能天体的一种。超新星爆发时，释放的能量比地球上火山爆发、台风或者氢弹爆炸要大亿万倍。超新星的爆发过程可能与中微子密切相关，近年来在高能物理领域内发现的中性流所传递的弱相互作用很可能在这里起着重要的作用。

新星不是新产生的恒星，而是原来就有的一颗恒星演化到晚期，也就是年老的时候，由于某种原因而爆发，光度在几天内激增，然后缓慢地恢复到大致原来的数值。1975年8月底在天鹅座里出现了一颗很亮的新星，报刊登载过消息。超新星爆发比新星还要猛烈。新星爆发时，亮度在两三天内增强几千倍到上百万倍，最亮时光度为太阳的几万到几百万倍；超新星的亮度则在几天内增强几千万到几十亿倍，最亮时光度为太阳的几亿到几十亿倍。一般新星爆发时，以每秒一、二百公里到二、三千公里的速度抛射出物质；超新星爆发时则以每秒一万公里到两万公里的速度抛射出物质。

目前从地球上每年平均可以观测到三颗在银河系内出现的新星，

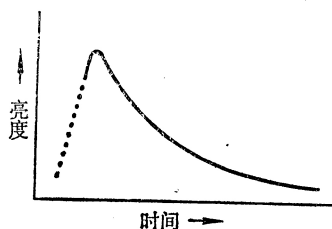


图1 超新星的光变曲线

也可以观测到在较近的河外星系里出现的新星。估计银河系内每年实际出现的新星有几十颗，但大多由于星际物质的吸光作用而未能观测到。超新星比新星少得多，一个星系里平均要好几十年才出现一颗超新星。

我国历代史书中有很多关于新星和超新星出现的记载。古书里新星称为“客星”，有时也称“星孛”，但星孛较常指彗星。《宋史》和其他几种史书都记载了公元1054年出现于金牛座的一个客星，描述为“昼见如太白，芒角出，色赤白，”肉眼可见22个月。古代记录下的新星，若肉眼可见期长于六个月，便较可能是超新星。今天在金牛座客星位置有一个星云，形如螃蟹，称为蟹状星云，它在膨胀着，从膨胀速度算出它于九百年前开始膨胀，所以蟹状星云是1054年超新星爆发时抛出的物质所形成的。1967年发现，蟹状星云中心一个不怎么亮的恒星是脉冲星，这是体积很小，但磁场极强、自转极快的中子星。超新星爆发后，或者彻底瓦解，变成一个膨胀着的

星云（即好些从一点向外飞奔的碎块、纤维），或者在把大部分物质抛出以后，还留下一小部分物质，成为中子星。

1572年11月上旬末，在仙后座中部出现一个白昼能看到，最亮时比金星还亮的新星，《明史》和《明实录》里都有记载，“当日而见，光异寻常”，肉眼在18个月中可见，所以是超新星。在欧洲，著名天文学家第谷·布拉赫（当时还年轻）也观测到这个新星，作了详细记录，所以在西方这个超新星称为第谷新星。我国观测者于11月8日看到，比第谷早三天。三十二年后，1604年，于蛇夫座又出现了一个超新星，肉眼可见12个月，《明史》和《续文献通考》里都有详细记载。在西方它被称为开普勒新星，因为著名天文学家开普勒对它进行过仔细的观测。

除上述三个以外，现认为有记录的银河系内超新星还有四个，即公元185, 393, 1006和1181年分别出现于半人马、天蝎、豺狼、仙后座的超新星，肉眼可见期分别为20个月，8个月，几年，和6个月。这

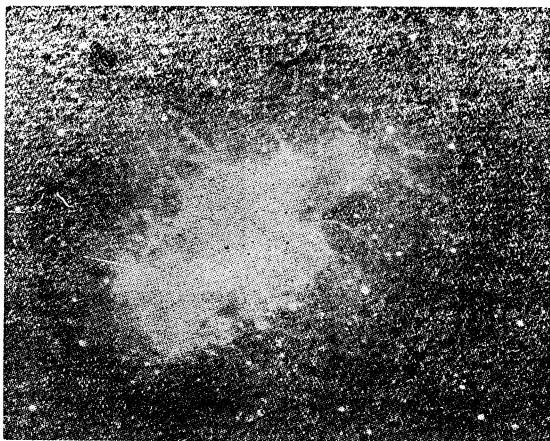


图2 蟹状星云

7个超新星在我国古书中都有记载,185和393年两个只有我国有记录;1006,1054,1181这三个日本也有记录;1572和1604这两个朝鲜也有记录;1006,1572,1604这三个欧洲也有记录;1006那一个阿拉伯人也有记录。在这七个历史超新星的位置上,今天都观测到射电源。

1604年到现在,已过去三百七十多年了,在银河系里该出现另一个明亮的超新星了。一些天文工作者认为,在不太久的将来会在地上观测到一个银河系内很亮的超新星。

脉冲星从发现到现在的十年中,数目逐渐增多,1975年为止已发现约150个。恒星演化到晚期,如果质量不超过太阳质量的3倍,便可以经过超新星爆发而直接演化为中子星,成为脉冲星。所以已发现的脉冲星中只有一小部分是超新星的残骸,也称超新星遗迹,符号是SNR(从Supernova remnant而来)。一些膨胀气云,延伸的射电源、x射线源也可能是SNR,观测、研究SNR是研究超新星的一条途径。最近列出了120个可能是SNR的天体。在此举两个例子。一个是仙后A,它是天空中除太阳以外,视射电强度最大的射电源,但在其位置,在光学照片上并不是一个天体,而是二百来个碎片和纤维,以每秒七千多公里的速度离开中心点,估算出它们是公元1700年左右一个超新星爆发的遗迹。这个超新星的距离约11000光年,所以这个超新星爆发实际上发生于 $11000 + (1977 - 1700) = 11277$ 年前。由于距离大,星际吸光使得这个超新星最亮时也像个五等星,因此才未引起注意,才无记录留下来。另一例子是南天的古姆星云(古姆是发现者的名字),我国海南岛和西沙群岛可以看到它的全部。这个星云的直径约1200光年,距离约1500光年,所以在船帆、船艏等星座占了很大一部分天空,40°×90°,肉眼看不出它,

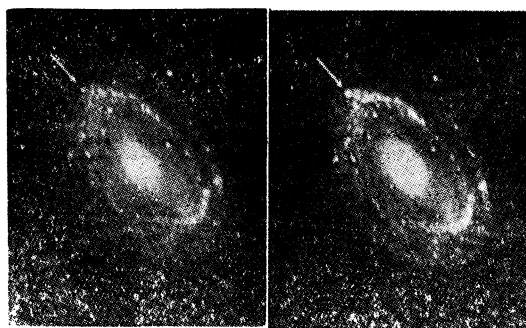


图3 在河外星系里出现的一颗超新星

得用广角望远镜拍照,长时间露光,才拍得出这个星云的照片。在这个星云里有脉冲星、x源、变星,它是一个超新星遗迹,这个星于九千年前爆发。

由于银河系内超新星很少出现,所以目前主要观测、研究在河外星系里出现的超新星。1885年在离银河系最近的一个河外星系,仙女座大星云里,观测到一颗超新星。从那时候到现在,一共已在河外星系里观测到350多颗超新星,其中除了18颗以外,都是1933年以后发现的。

观测超新星,首先是观测它的光度变化情况,得出光变曲线,同时测定它的颜色变化,并观测它的光谱变化。新星在发亮到极大亮度前后,光谱线由一个很宽的发射线部分和一个很窄的吸收线部分组成,吸收线在发射线紫端,即波长较短那一端。发射线中心在该谱线的正常波长处。新星爆发时,抛出很多物质,这些物质形成一个膨胀着的气壳,在其内产生了发射线。物质有向观测者前来的,有离观测者而去的,也有向两旁运动的,由于多普

勒效应、发射线便很宽。在观测者和新星之间的那一部分气壳(图6中有影条部分),吸收新星本部发出的光,产生了窄的吸收线,这部分向着观测者而来,由于多普勒效应,吸收线向紫的方向位移。从位移或从发射线宽度可定出新星抛射物质的速度。

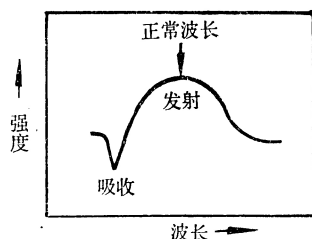


图5 新星光谱线的轮廓

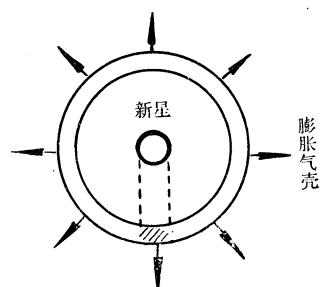


图6 新星的膨胀壳

的光,产生了窄的吸收线,这部分向着观测者而来,由于多普勒效应,吸收线向紫的方向位移。从位移或从发射线宽度可定出新星抛射物质的速度。

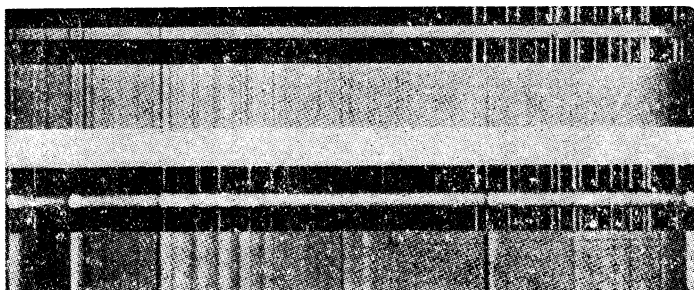


图4 1934年武仙座新星的光谱。上图爆发前摄的,下图爆发后摄。

超新星的光谱比新星复杂,因为爆发更猛烈,抛射速度更大,发射线非常宽,使得相邻的发射线混杂在一起。亮度极大,前后几天,超新星基本上只有连续光谱(以后就出现很宽的发射线),有些谱线在紫端有吸收线,和新星类似。按照光谱和光度的变化情况,超新星被分为几个类型。第一类爆发很猛烈,亮度极大时,光度平均为太阳光度的30亿倍。第二类超新星爆发没有第一类那么猛烈,亮度极大时光度平均为太阳的10亿倍,都出现在漩涡星系的旋臂区域。除这两类以外,还有其他类型的超新星。

关于超新星爆发的原因,应当同恒星的演化联系起来谈。恒星演化到晚期,当内心温度上升到2亿度时,由氢核聚变成的氦核便进一步聚变成 ^{12}C 和 ^{16}O 。当温度进一步升高时,两个 ^{12}C 会聚变成 ^{24}Mg 或 ^4He 和 ^{20}Ne ,两个 ^{16}O 会聚变成 ^{32}S ,或 ^4He 和 ^{28}Si ,这些反应会成为爆炸性的。有人认为这种爆炸性核反应导致超新星的爆发。

晚期恒星内心由于温度和密度都极高,会产生大量的中微子。中微子是中性的,穿透力很强,很快逃逸,带走很多能量,这可能导致恒星的引力坍缩,恒星以极大的速度收缩,引力势能转化为爆发所需的能量。

另一种可能的爆发机制称为“中微子沉淀”。恒星演化后期,核心部分的物质密度很大,形成了一个硬核心,以后继续收缩落下的物质碰到硬核心时会产生冲击波,冲击波向外传播,经过处形成密度很大的区域。内部产生的中微子外出经过这些区域时,会受到吸收和散射,自由程大大减短,在外层储存下来,沉淀下来,并把大量的能量转交给外层物质,导致外壳的膨胀,出现爆发现象。

最近理论上提出了一种新的超新星爆发机制,它同高能物理关系密切。恒星演化后期,只要它还没爆发,碳核、氧核、硅核就会进一步

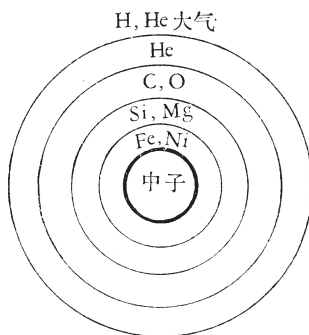


图7 晚期恒星内部的化学元素分布

聚变成一直到铁核 ^{56}Fe 的重核。当中心密度和温度进一步升高,电子的能量便增大到足够以打进铁核里,同其中的质子合成中子,并使中子离开核,终于形成一个以中子为主要组成单位的中子核心。此时恒星内部的化学元素分布如图7所示。中子核心形成过程中也产生大量的中微子。近年来通过高能物理的实验和理论探讨,发现中微子具有一种新形式的弱相互作用——中性流作用。由于参与作用的是中性流,中子核心之外的以铁为主的壳层里的铁原子核内各核子(中子和质子)就可以对中微子产生相干散射,中微子通过这种散射便在铁壳层上产生强大的压力,把铁壳层推向外,导致超新星的爆发,中子核心则留下来成为中子星。

从上述可以看到,超新星这种

高能天体上的物质过程及其解释,同高能物理和原子核物理有密切关系,其研究结果可以为高能物理和核物理的发展提供一些有用的资料。今天对超新星的了解还很不夠,对其爆发原因还未有一致的看法,还需要继续观测和研究。