

浅谈超新星爆发

文冠一

(汶川卧龙自然保护区教育科 四川 623006)

超新星(Supernova)是恒星演化到最终阶段中子星之前时产生的一次最强大猛烈的爆发。爆发时恒星的光度突然增到原来的1000万倍以上,在超新星的亮度极大时,常常与它所在的星系的总亮度一样亮或者更亮,亮度变化幅度很大并且具有特殊的光谱。

超新星爆发是一种激烈的天体演化物理现象,爆发后遗留下来的残骸就是中子星。其中有一部分是我们可以观测到的旋转的中子星,我们把它们称之为脉冲星。超新星爆炸后在银河系内遗留下来的射电源、X射线和 γ 射线源是高能天体物理学所研究的主要课题,超新星的爆发过程是宇宙中合成铁属元素的基本物理过程,因此,核天体物理的大部分内容是通过超新星来研究的。

另外,对实验物理学来说,超新星爆发提供了一个在地面实验无法达到的,在极端情况下的核聚变过程、高能粒子之间的相互作用以及高能粒子与物质之间相互作用的实验条件。同时,由于超新星的爆发之激烈、能量之高可达到 10^{53} 尔格,这也是地面上的任何爆炸(包括氢弹爆炸)无法达到的。

超新星爆发作为一种天体的演化,它与恒星的演化、元素的演化、合成元素和高能天体物理以及天文学的前沿理论研究有着密切的关系,是目前天文学家和物理学家们的研究热点。

超新星的研究在我国有着较早的历史。我国历史文献中很早就有记载,这在遗留下来的

典籍中可以查阅到我国古代天文学家对超新星研究所做的观测记录资料,这些记录至今仍然有着重大的科学价值。早在三、四千年之前的殷虚甲骨文中,就已经有这类记录。其中有一段:“七月己巳夕豈出新大星并火”,意思是说,七月(己巳)黄昏时有一颗新星出现在大火(即心宿二)附近。

天空中突然出现一颗原来没有的明亮的星,是十分引人注目的,把它称为“新星”是很自然的事。因而,在近代欧洲也不约而同地把这种星叫做新星,并沿用至今。我国古代天文学家们把这种星归入客星一类。他们认为这种星往往是在不太长的时间里很亮,肉眼明星可见,过后又消失了,就好像来去匆匆的过客一样。从新星的出现到消失,每一颗星的寿命是不一样的,有的很短,只有几天,有的长一些,几个月或几十个月。

寿命大于半年以上的新星十分罕见,考察2000多年的历史记录,只有8颗新星有这样长的寿命。因此,天文学家们把它们称之为超新星,其中7颗的记录如下:

1. 公元185年12月7日在半人马座的 α 及 β 两颗星之间观测到的一颗超新星,于187年7月24日到8月21日之间消失,历时20个月,亮度星等为-8;

2. 393年在天蝎座中观测到的超新星,亮度星等为-1,寿命8个月;

3. 1006年在豺狼座中观测到的超新星,亮

前量子信息的研究至少可以从基本物理学的角度加深人们对信息本质的认识。事实上,从科技发展的历程中不难看出,科学和技术有着内在的互动关系。对科学真理的非功利追求也常常导致新技术的变革,深刻地影响人类的社会

生活。从爱因斯坦的狭义相对论到原子能的广泛应用,从量子力学到激光、半导体的发明,都是这方面的典型例证。我们希望,量子计算机和量子通讯的最终实现,会为这个观点提供更有说服力的新的范例。

度星等为 -8 到 -10, 寿命数年;

4. 1054 年在金牛座中观测到的超新星, 亮度星等为 15, 寿命 22 个月;

5. 1181 年在仙后座中观测到的超新星, 亮度星等为 0, 寿命 6 个月;

6. 1572 年在仙后座中观测到的超新星, 亮度星等为 -4, 寿命 18 个月;

7. 1604 年在蛇夫座中观测到的超新星, 亮度星等为 -2.5, 寿命 12 个月.

1572 年和 1604 年两颗超新星的发现已处在近代天文学萌芽的年代, 所以, 对它们有相当准确的测量. 第谷和开普勒也分别对这两颗星进行过相当仔细的观测.

第谷在观测到 1572 超新星以后写道: “总之, 我们的结论是说这是一颗恒星 (指 1572 超新星), 不是任何可能发生的慧星, 也不是某种可能发生的低于或高于月球的火流星, 它正是自宇宙开始以来, 在以前的无穷的岁月中出现于天穹的发光的星.” 第谷的观测在当时欧洲的科学思想的发展上起过很大的作用.

1054 超新星是历史上有名的超新星, 因为它对现代天文学, 特别是相对论天体物理学所起的作用非常重要. 美国天文学家哈勃根据观测和计算认为 1054 超新星爆发后产生的蟹状星云就是 1054 超新星爆炸后的残余. 后来 Duyrendak 的分析进一步支持了这种论点. 1968 年天文学家们在 1054 超新星爆发后残余形成的蟹状星云中发现了一颗旋转的中子星, 即脉冲星.

美国天文学家兹维基从 30 年代开始到 60 年代, 在河外星系中发现了数十颗超新星爆发, 我国北京天文台从 1996 年 4 月发现第一颗超新星 SN1996W 到 1997 年 8 月为止共发现了 16 颗超新星爆发.

根据科学家们的观测和研究分析, 发现每一颗超新星的性质和特点各有异同, 因此, 科学家们根据对大量超新星光谱观测的结果分析对它们做了分类. 首先根据光谱中是否有氢谱线将超新星分为两大类. 有氢谱线的称为 I 型超新星, 无氢谱线的称为 II 型超新星. 对 I 型超新

星又可分为 I_a 、 I_b 、 I_c . I_a 中有硅谱线, 而 I_b 、 I_c 中没有. I_b 中有氮谱线, 而 I_c 中没有. 对 II 型超新星则根据它们的光变曲线是线性下降的或是光变曲线比较平缓而分为 II_L 和 II_P .

超新星爆发的物理过程和现象是怎样的呢? 让我们来看一看恒星的演化过程. 在恒星演化的过程中, 先是通过氢—氦聚变放出大量的能量, 所产生的高温、高压和恒星内部的引力相平衡, 形成了稳态的恒星. 这时的恒星称为主序星, 太阳就是一个比较典型的主序星.

在恒星演化的晚期, 不但氢燃料消耗完了, 而且通过氮—碳, 氮—氧等聚变, 氮也逐渐消耗完了. 在此过程中, 恒星的核心部分在自身引力的作用下不断地收缩, 结果使核心部分的密度越来越大, 引力越来越强, 促使其更进一步地收缩, 最后压力大到将原子的电子壳层“压碎”, 使得电子成为全体原子所公有, 而且是高度压缩的状态. 这时如果恒星的质量不超过钱德拉塞卡极限即 1.2—1.4 个太阳质量, 则高度压缩的“电子气”的费米电子简并压强能够抵住引力, 阻止恒星进一步坍缩, 这时就形成了白矮星. 白矮星的密度可达每立方厘米上千吨.

如果恒星的质量超过 1.2—1.4 个太阳质量, 费米电子简并压强抵不住强大的引力, 恒星不能稳定在白矮星状态, 必然进一步坍缩. 致使核心的温度和压力也进一步增高, 结果碳、氧等核之间的聚变反应也开始猛烈进行并放出巨大的能量, 能量巨大到在 1 秒钟的时间内释放出 10^{53} 尔格的能量, 相当于 100 颗太阳在其一生中所释放能量的总和, 进而导致更加猛烈的爆发, 猛烈的爆炸场面在寂静的宇宙中显得十分蔚为壮观, 上帝唇边的长笛在这里为超新星吹奏出了悲壮苍凉的死亡之曲.

超新星自身爆炸得粉碎, 碎片喷向四面八方. 所以在超新星爆发的过程中, 一方面其外层向外部空间喷射出大量物质和辐射, 同时也以极大的压力向中心挤压, 这样的高温、高压 (这里的高温和高压是地球上的实验室里无法达到的条件) 将电子压入到原子核中. 与核中的质子结合成为中子. 这样一来, 超新星的核

心部分就主要由中子组成了,这时“中子简并压强”就有可能抵挡住坍缩引力而达到平衡,就形成了天文学家们所熟悉的中子星。这在过去的超新星爆炸碎片中时常发现。中子星的密度是极高的,达到每立方厘米几亿吨。

以上我们讨论了恒星演化到它终结时的超新星爆发的物理过程和物理现象,下面我们具体来讨论一下两类不同的超新星爆发的物理过程和物理现象。

首先我们来看 I_a 型超新星,由于它在光谱线中缺少氢光谱线,并且出现在各星系中,因此,人们提出了 I_a 型超新星是密近双星演化到晚期的结果,由于密近双星具有自转同步性和轨道圆化的特征,所以它的物理图像是:两双星的初始质量之和小于 8 倍太阳质量,其中质量较大的一个演化得较快,在其核心燃烧完氢后,接着燃烧氦,通过氦-碳,氦-氧等聚变,氦也逐渐消耗完了。在此过程中,恒星的中心部分在自身引力的作用下不断地收缩,结果是核心的密度越来越大,引力越来越强,在高温、高压和强大的引力作用下更进一步地收缩。如果这时恒星的质量不超过钱德拉塞卡极限 1.2—1.4 倍太阳质量的话,这时的恒星就演化成了密度为每立方厘米上千吨的白矮星。然而,质量较小的子星的物质在白矮星强大的引力作用下将被它吸积,吸积时物质的转移速率小于每年 10^{-8} 倍太阳质量时,小量子星的物质被吸积到大量子星形成的白矮星的周围形成一个氢壳层,并产生氢聚变,这就是超新星爆发。

当吸积物质的转移速率在每年 10^{-8} 倍至 10^{-6} 倍太阳质量时,大量子星演化后形成的白矮星的外表层是氢壳层,这时将产生氢聚变,然后将产生氦聚变,其结果使得白矮星的碳核质量超过钱德拉塞卡极限,中心密度超过每立方厘米 3×10^9 克。在高温、高压和强大引力的作用下将产生十分猛烈的超新星爆发,爆发产生的总能量可达 10^{53} 尔格的数量级。当吸积物质的转移速率超过每年 10^{-6} 倍太阳质量时,爆炸会比前面所述的更为迅猛。

对 II 型超新星,由于它的光谱线以氢线为

主,而且常常出现在恒星形成区,天文学家们普遍认为 II 型超新星是因为大质量恒星由于引力坍缩而引发的,其物理图像是:一个质量大于 10 倍太阳质量的恒星,在 3000 万年或更短的时间内其核心首先产生氢聚变,然后依次为氢变为碳和氧,碳变为氦和镁,镁、氦变为氧和镁,氧和镁变为硅和硫,直到最终硅和硫聚变为铁属元素,这就形成一个中心温度达 3.5×10^9 K,质量为 1.4 倍太阳质量的铁心和聚变的残留物,由于铁属元素的原子核束缚能最小,它的核反应不释放能量而只吸收能量,这就造成了引力坍缩。当核心的温度升高到 10^{10} K 和密度达到每立方厘米 10^{10} 克时,电子被“挤压”到原子核中,导致富中子的同位素产生,而高能辐射又将核压碎成 α 粒子。这两个过程都是吸收能量,使坍缩变得更快。当中心密度超过每立方厘米 2.7×10^{14} 克的核物质密度时,将引发极为猛烈的超新星爆发,在爆发过程中一方面其外层向外部空间抛射出大量物质和辐射,同时也以极大的压力向中心挤压,从而形成密度超过每立方厘米 10^{14} 克的中子星。

对于 I_b 型超新星,目前普遍的理论认为它也是大质量恒星演化到晚期由于引力坍缩而产生的,但由于它的前身是沃尔夫-拉叶星(最炽热的一类恒星,首先由沃尔夫和拉叶两天文学家发现,因此而得名),所以 I_b 型超新星的前身在演化过程中外壳将在迅猛的爆发中被抛射或以超星风的形式损失掉,这大量的质量损失并向外的抛射带走了大量的能量,能量的释放主要是以发射中微子的形式放出的,其次约为 1% 的能量是以电磁波的形式释放出来的。由于它的外表层无氢壳层,所以它的光谱中没有氢谱线。

综上所述,我们讨论了两大类超新星爆发,经过大量的观测分析说明观测事实显然与超新星爆发的理论模型有较好的吻合。但由于每一颗超新星都各有特点,所以实际的观测结果又常常与理论模型之间产生一些差异。不过,这在超新星模型的理论发展和完备的过程中是很正常的事。