

最强的超新星爆发

(北京大学 陈平 编译自 Steven K. Blau. *Physics Today*, 2016, (3): 14)

几个月前观测到的一次超新星爆发 ASASSN-15lh 对现有的超新星理论提出挑战。

所谓超新星爆发是指某些恒星以剧烈爆炸的方式走向死亡。超新星爆发时的光度很高，甚至可比其所在的宿主星系还要亮。在过去数十年里，天文学家们发现了一种新类型的超新星，名为“极亮型超新星”。极亮型超新星可比常见的超新星亮数十倍甚至上百倍。

由北京大学科维理天文与天体物理研究所东苏勃研究员领导的一支国际团队于去年夏天通过“全天自动超新星搜寻项目”(ASAS-SN)发现了迄今爆发能量最强的超新星。ASAS-SN是由美国俄亥州州立大学领衔的一个国际项目，其主要负责人之一是该大学的克里斯托弗·斯坦尼克教授。这颗极亮型超新星被命名为 ASASSN-15lh，其光度比之前记录保持者翻了一番。

ASASSN-15lh 的发现历程

搜寻超新星的传统方法是，观

测者事先选择一批已知星系，然后经常性地监测该星系样本来搜寻突然发生的爆发现象。斯坦尼克说，这种方法在超新星的发现上有选择偏差。十多年前，其时还是德克萨斯大学博士研究生的罗伯特·昆比尝试了一套崭新的超新星搜索方法——他领导的“德克萨斯超新星搜寻项目”持续不断地监测同一块天区——这样既可以在该天区囊括的已知的、通常较亮的星系中发现超新星，还可以在未知的、较暗的矮星系中做出发现。受此启发，斯坦尼克和合作者们开展了 ASAS-SN 项目，来频繁地扫描尽可能大面积的天区，从而能更加系统地发现超新星和其他暂变源。

目前 ASAS-SN 在夏威夷和智利各有一个节点，每个节点有 4 架 14 cm 口径的巡天望远镜。图 1 所示的照片是用来发现 ASASSN-15lh 的两

架位于智利的巡天望远镜。这些望远镜用来监测整个可见的夜空。该项目覆盖的天区占全天总面积的四分之三。在天气条件良好并且所有望远镜都正常工作的情况下，全天超新星自动搜寻项目可以在 48 小时之内对整个夜空完成一次扫描。

当 ASAS-SN 团队从巡天望远镜的数据中注意到这个源之后，他们很快用“拉斯坎帕纳斯全球望远镜网络”(LCOGT)中的一架 1 m 望远镜拍摄了更高分辨率的图像，并确认了这个超新星候选体。东苏勃和其合作者立即将 ASASSN-15lh 发现的信息公开给全球的超新星研究者，以使人们能够及时地进行更多的后续观测。ASASSN-15lh 引起了全球天文学家的强烈兴趣，世界上诸多大型望远镜和美国 NASA 的“雨燕”太空望远镜(SWIFT)马上开始了后续观测。时至今日，研究者们还在用从光学到 X 射线、射电等诸手段观测这个超新星。

位于智利的 2 m 杜邦望远镜于 2015 年 6 月 21 日拍摄到了 ASASSN-15lh 的第一条谱线。天文学家们用谱线来认证超新星抛射物中的化学组分和物理状态，为超新星归类并研究其爆发的物理过程。然而，ASASSN-15lh 的谱线远异于 ASAS-SN 已发现的数百颗超新星，这使天文学家们起初感到非常困惑。在与斯坦尼克等同事讨论后，东苏勃意识到 ASASSN-15lh 可能属于极亮型超新星。根据他的推测，若 ASASSN-15lh 的红移为 0.23，那么它最突出的谱线特征应与 2010 年发现的一颗极亮型超新星 PTF10cwr/SN 2010gx 的光谱极为匹配。如果这个推断是正确的，就应该可以在特定波长上看到超新星光线穿过宿主星系中气体产生的吸收谱线。而预期中的电离镁吸收谱线波长较



图1 “全天自动超新星搜寻项目”(ASAS-SN)位于智利安第斯山脉托洛洛山顶节点的两架 14 cm 口径的望远镜。天文学家们用它们发现了极亮型超新星 ASASSN-15lh

短，需要利用覆盖足够蓝端光谱的仪器才能观测到。十天之后，10 m 口径的“南非巨型望远镜”（SALT）终于成功拍摄到了所需光谱，测到星系红移为0.2326，证实了东苏勃的推断。通过红移可以确定 ASASSN-15lh 距离地球 38 亿光年，加上观测到的视亮度可以得到这颗超新星的真实光度。ASASSN-15lh 达到最高光度时是太阳光度的 5700 亿倍，是整个银河系恒星总亮度的 20 倍左右。图 2¹⁾ 将 ASASSN-15lh 光度随时间变化的曲线与其他超新星进行比较：ASASSN-15lh 在其峰值处比常见的 Ia 型超新星亮 200 倍，也比之前极亮型超新星爆发强度保持者 iPTF13ajg 亮两倍以上。

爆发机制和能量来源之谜

ASASSN-15lh 不仅有最高的峰值光度，它至今辐射出的总能量已超过 10^{52} ergs——这点让研究者们尤为惊讶。用来解释超新星辐射能量来源的几种常见机制似乎对 ASASSN-15lh 均不适用。在白矮星爆炸形成 Ia 型超新星的过程中，碳元素和氧元素通过热核反应形成不稳定的镍-56 同位素，而镍-56 通过核衰变可释放出大量能量。但若想在几个月内产生 10^{52} ergs 的辐射能量则需至少 30 到 50 倍太阳质量的镍-56，而这需要极高质量恒星的爆炸才可能合成。另一种供能机制是通过超新星爆发的抛射物与星周物质的激波相互作用，但在 ASASSN-15lh 中却没有探测到氢元素的迹象，而一般认为星周物质应含这种宇宙中最丰富的元素，所以用这种机制来解释难以行得通。

极亮型超新星一种可能的能源机制是所谓的磁中子星模型。在这个模型中，恒星通过核塌缩过程爆

发后会在中心遗留下一个磁场极高的快速自转的中子星，即磁中子星。磁中子星的典型磁场强度需高达 10^{14} G，与之相比，地球的磁场强度只有十分之几高斯。如同一个旋转的磁偶极子，磁中子星自转逐渐变慢并可将自转能转变为其他能量。经过一种复杂的、尚未被完全理解的物理过程，磁中子星发出的磁化

星风可与超新星爆炸抛射物相互作用并将其加热，从而高温的抛射物可产生强辐射。

在银河系中，天文学家们已经观测到了一些磁中子星，但已发现的磁中子星自转周期为 10 s 左右。在模型中，磁中子星的自转周期需快到 1 ms 才能够有足够高的自转能来为 ASASSN-15lh 的辐射供能，不过天文学家从未观测到自转如此之快的磁中子星。这也许是因为在磁中子星形成后的几个月后就丢失了大量的自转能，所以观测到的磁中子星自转较慢。除此之外，理论天体物理学家意识到，如果毫秒磁中子星转速达到 1 ms，其离心力就会将近达到使星体自身撕裂的极限，也就是说，ASASSN-15lh 把磁中子星模型推至其能解释的能量上限。南京大学戴子高教授率领的团队最近在《天体物理学杂志》发表文章指出，磁夸克星的自转速度理论上可快于 1 ms，也许可以更好地解释 ASASSN-15lh 能量的来

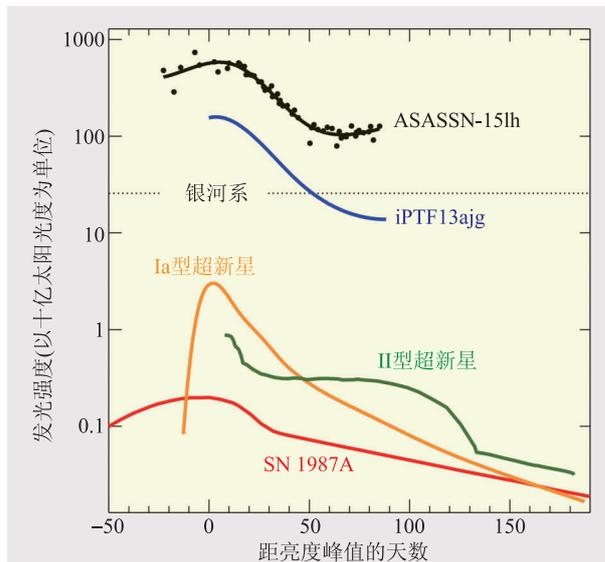


图2 ASASSN-15lh 光度随时间变化的曲线与其他超新星的比较。在其峰值，ASASSN-15lh 比典型的 Ia 型超新星亮 200 倍，也比之前爆发强度记录保持者 iPTF13ajg 亮两倍以上

源。还有人提出 ASASSN-15lh 的能量来源或许与黑洞有关。

更多不同寻常之处

2015 年 9 月份开始，观测结果显示 ASASSN-15lh 在辐射出的能量和温度上都出现了出乎意料的升高。新辐射出的能量大部分处于紫外波段。研究磁中子星的理论学家布莱恩·梅茨格指出，超新星爆发的中性抛射物对紫外辐射是不透明的，不过一段时间后，这些中性物质会被电离使得紫外辐射得以穿透超新星的抛射物。然而要想确定 ASASSN-15lh 出现的辐射能量的增强是否如布莱恩所猜测的那样还为时过早。

以往发现的 20 多个极亮型超新星大多是在矮星系中被发现的。这些矮星系光度比银河系低得多。然而，ASASSN-15lh 却在一个比银河系还要亮数倍的星系中。随着超新星逐渐变暗，包括哈勃太空望远镜在内的后续观测将能更好地研究宿主星系，会对理解极亮型超新星爆发的环境有重要意义。

1) 图2由译者提供。