

星空“考古”

——来自超新星的“回光”

■田文武 易轩

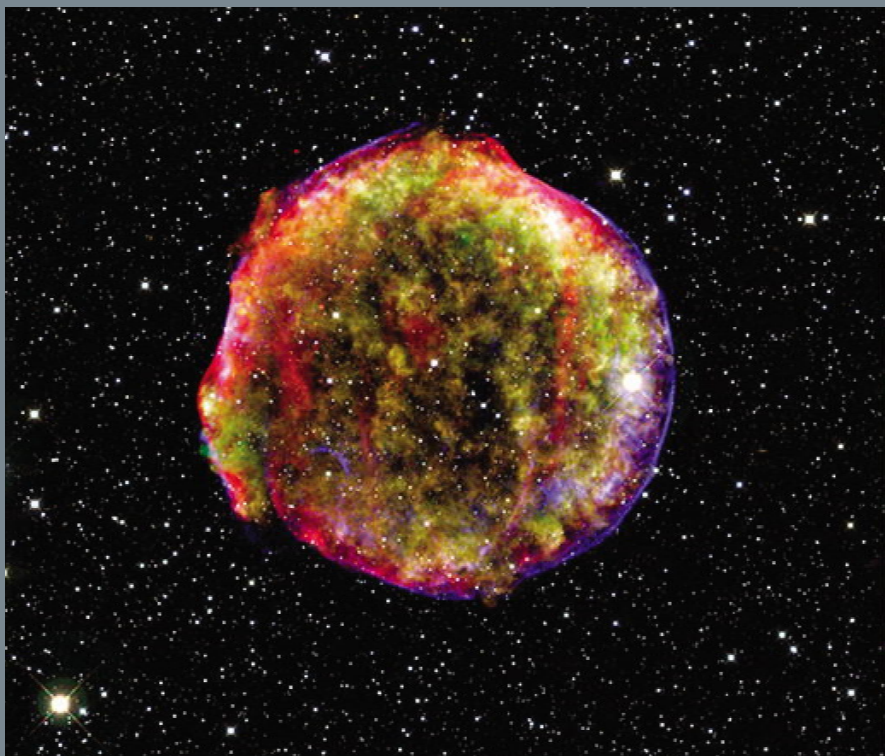
对天文学家而言,来自于遥远天体的星光他们探索宇宙之谜的最重要资料。最近,通过对超新星爆发后的“回光”的观测,德国、日本和荷兰的天文学家们联手完成了一次漂亮的“星空考古”,首次确认了437年前爆发的第谷超新星的真实身份,揭开了这个长达数百年之久的谜团:原来它的前身是一颗白矮星,死亡时变身

为一颗Ia型超新星(相关研究论文刊登在12月4日的《自然》(Nature)杂志上)。由于第谷超新星遗迹位于银河系内,较其他超新星遗迹距离我们更近,因而研究它能够帮助天文学家更好地理解Ia型超新星的性质,此外,这一发现也为暗能量研究提供了重要线索。

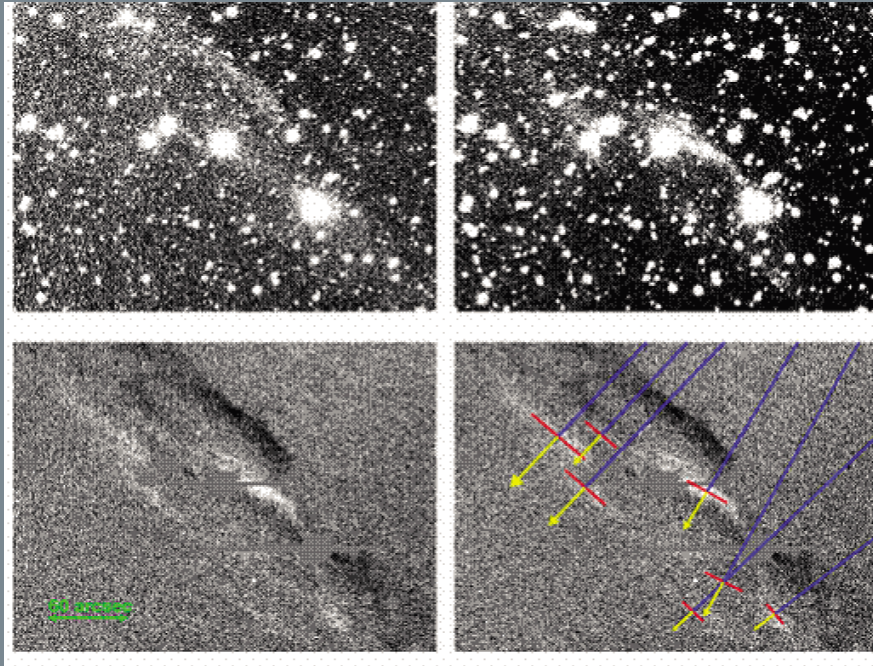
超新星就是一颗(质量大小不同)恒

星核心能源耗尽后走向死亡时的猛烈爆发,这时的恒星将释放出巨大能量,在短短几天的时间里亮度陡然增加数千万甚至上亿倍,以致于天上好像突然出现了一颗“新”恒星,天文学家称之为超新星——星星并不是新的,只是暂时比原来亮得多。超新星爆发后,恒星完全被瓦解,亮度也迅速降低,最终成为一团星云状的残骸,这就是超新星遗迹。根据爆发时的光谱特征,天文学家把超新星分为两大类:I型和II型。其中I型超新星又可以根据它们的光谱特征分为三类:Ia型、Ib型和Ic型。Ia型和其他型超新星具有完全不同的爆发机制,其爆发前恒星的质量几乎是恒定的,即1.4倍太阳质量,所以Ia型超新星在爆发时的最大亮度基本都是相同的,故它们是天文学家用来测定遥远星系距离的最好示踪物。对它们的长期观测导致天文学家10年前发现宇宙是加速膨胀的,并暗示宇宙中有神秘的暗能量存在,所以Ia型超新星的研究也最受人们关注,被视为探究宇宙最终命运的最重要线索之一。

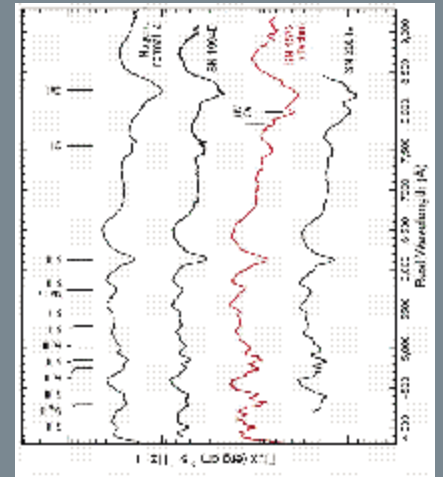
第谷超新星(sn1572)爆发于1572年11月11日,著名的丹麦天文学家第谷·布拉赫发现了它的爆发。他在观测日记中写道:“我看见一个新的、罕见的星星,其光亮盖住了其他行星的光亮,好像直接在我的头顶闪烁。这束光线最终变得像金星一样亮,16个月后,它消失了。”这次爆发留下了一团炽热的星云状残骸,后来的天文学家称之为“第谷超新星遗迹”。其实中国古人在第谷看到前3天的11月8日就对此爆发也有很清楚的记录,并且连续观测了它18个月(作者感谢北京天文台蒋世仰老师和武家璧博士帮助查证这一记录)。从那时开始,它就一直是天文学家们



这张华丽的图片由NASA的斯必泽望远镜和钱德拉X射线空间望远镜以及西班牙Calar Alto天文台拍摄的照片叠加而成,其中的主角就是著名的“第谷超新星遗迹”,400多年前第谷·布拉赫以及与他同时代的天文学家们最先目睹了这颗超新星的爆发。那次爆发留下了这团烈焰升腾的热气体云,时至今日它依然是天文学家们热门研究的对象。图中绿色和黄色显示的是超新星遗迹本身的物质组分,由于遗迹正在不断膨胀而与星际空间的物质发生相互作用,因此在壳层最外侧形成了一个由极高能电子构成的蓝色球壳,它实际上就是碰撞产生的激波。壳层边缘的红色物质是从遗迹之外混合进来的星际尘埃,它们被壳层激波加热后发出了24微米波长的红外辐射。图中的白色亮点是前景和背景恒星。



第一次探测到第谷超新星的回光(Rest et al. 2008, ApJL, 681, 81)。第一排的两张图是在不同时间用同一光学望远镜对第谷超新星附近同一天区的成像图。第二排的两张图是第一排两张图相减的结果。如两图在两个历元其间无变化,它们的差图应没有任何天象特征。实际差图明显揭示一些剩余的亮(和暗)条纹。红色代表条纹的大小。黄色箭头显示了条纹运动的方向,蓝色线往回追踪条纹的起始处。图中的五条蓝线可追踪到同一焦点,正好是第谷超新星的位置。两个历元期间,估计的条纹运动速度也接近光速。这说明这些亮(和暗)条纹正是第谷超新星的回光。



第谷超新星遗迹(红色)和典型的Ia型超新星遗迹的光谱比较图,可以看出它们具有相似的特征。

竞相探索的目标。不过,直到19世纪末期光谱学应用到天文学研究上时,天文学家们才开始有能力对超新星进行分类,而那时第谷超新星的爆发已经过去了几百年,当初那颗亮彻寰宇的恒星早已归于平寂,化作了一团黯淡的稀薄气团,对它的观测已无法直接获得“一手”信息,天文学家一直难以准确将它归类。近十几年来,随着观测手段的不断提高,人们逐渐认为它可能是一个Ia型超新星,但是有些观测特征又似乎与典型的Ia超新星并不相符。为它“验明正身”的唯一方法,就是寻找到第谷超新星爆发时候的光谱。但已经时隔400多年,它当年倾尽全力喷射而出的万丈烈芒如今究竟归于何方呢?

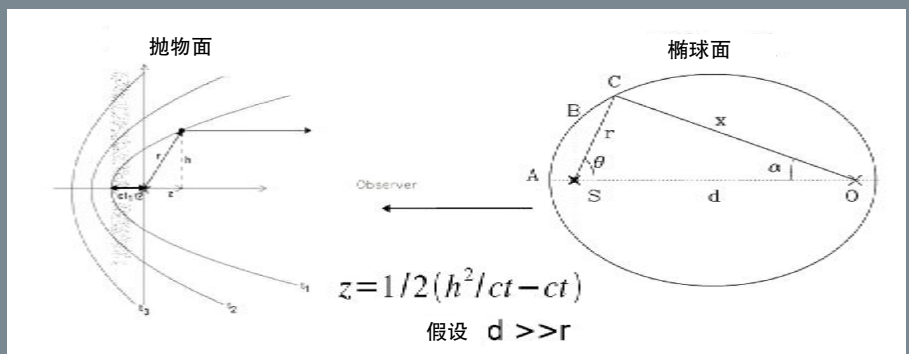
要想直接捕获当时的星光已经不再现实了(除非把地球的距离再外推437光年),于是天文学家们巧妙地利用了一个新的手段——观测它爆发后的回光。

什么是回光(light echo)?我们可以把它和回声做个类比。声音是声波作用于人的耳膜而产生的听觉效果,声波在物理学上属于“机械波”的范畴,而光线也是一种波,称为“电磁波”,既然都是波,那么就

必定具有某些类似的性质,例如波的反射。声音的反射也就是回声,当声源向各处发出声波后,声波遇到障碍物会被反射,然后改变方向继续传播。由于声速有限,经过障碍物反射过的声波要比直接传向接收者的声波到达得迟一些,听起来的效果就是同样的声响被重复。例如,在影

院里看电影时,会发现电影院里的墙壁凹凸不平,就是让声波四面八方形成无规律的漫反射,从而减弱回音,否则每个对白都被重复几遍,那就败兴之极了。

类似地,如果新星或超新星突然爆发,并且在它周围有足够厚的尘埃,那么它在它爆发一段时间之后,当其爆发时发出的光线抵达尘埃所在的地方时,尘埃会对光线进行散射,不过与我们通常所见的回声略有不同的是,除了散射,尘埃还能吸收超新星的光线,然后再以不同的波长辐射出来。从尘埃散射和再辐射过来的光就是天文学家所指的超新星的“回光”。在我们日常生活中,这种光反射的现象其实是



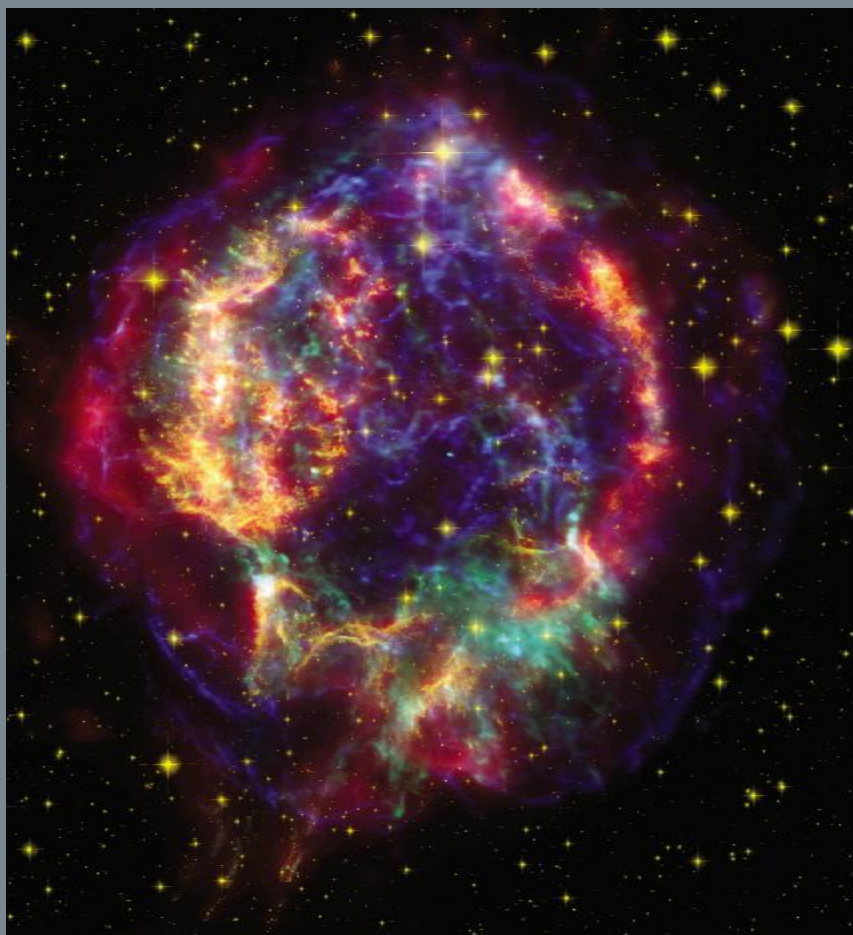
回光往往因天体的爆发(如新星、超新星等现象)而被人们观测到。当爆发逐渐减弱后,距离爆发天体越来越远的地方会依次增亮。假设在超新星遗迹后有一个尘埃带,如图中的灰色区域所示,从超新星爆发之初到某段时间内,尘埃带被加热,它将反射超新星的光芒或者吸收超新星辐射后发出红外辐射。一个简单几何关系可描述回光的空间分布:在给定一个延迟时间(t)时,我们看到的回光应(如C)分布在一个以超新星爆发点(S)和地球为焦点(O)的椭圆面上,这个面离爆发点的最近距离是 $ct/2$ (看右图),如超新星到我们的距离很远($d \gg r$),椭圆面可近似用抛物面来描述(左图)。



超链接:

仙后座 A 超新星遗迹的回光

仙后座 A 超新星遗迹是银河系中最年轻的超新星遗迹之一，大约爆发于 325 年前。然而，由于缺乏爆炸当时的观察记录，所以人们关于这颗超新星发源于什么所知甚少。直到 2008 年 5 月 30 日刊《科学》杂志的一篇研究中，Krause 等人报道在来自仙后座 A 超新星爆炸所产生的直接光线扫过地球 3 个世纪之后，他们观测到了它的散射型“回光”，其所得光谱显示仙后座 A 是一颗 IIb 型超新星。这与第谷超新星不同，它是一颗大质量恒星在演化到红巨星阶段后（中心氢燃烧完毕），失去了外围的大部分氢壳层，氢核坍塌而爆发后形成的。值得一提的是，天文学家不仅观测到了它在光学波段通过尘埃散射形成的光学回光，还在红外波段通过斯必泽空间红外望远镜探测到了其周围尘埃被加热后再辐射出来的红外回光。这些回光的观测不仅结束了持续很久的对其前身星的争论，而且为天文学家通过把其爆发过程与其遗迹性质联系起来研究超新星物理提供了新的视角。



仙后座 A 超新星遗迹的 X 射线、可见光及红外光合成照片，其中的红外照片由斯必泽空间红外望远镜拍摄。天文学家比较相隔一年所拍摄的仙后座 A 超新星遗迹的照片时发现它在以非常大的速率向外扩张，这实际上回光效应所产生的假象。来自超新星的光加热了周围较远处的尘埃，而这些回光现在刚传到我们眼里。随着时间增加，更外围的尘埃会渐次亮起，产生星云向外扩张的假象。仙后座 A 位于北天星座的仙后座内，距离我们约 10000 光年。

无处不在的（人类第一次测定光速的大小就是利用了光的反射），只不过我们日常接触的物体的尺度相比于光速实在是太微不足道了，反射光不像回声那么易于察觉。但在宇宙空间里，天体彼此间距极远，回光现象就相当明显。例如，这次观测到的第谷超新星遗迹的回光，就比它爆发时直接射向地球的光晚了 436 年才抵达地球。通常反射回光的物质主要是分布在星际空间中的尘埃，它们可以位于超新星的周边，也可以远在离超新星几百光年之外。尽管回光到达地球的时间要长于超新星爆发时的直射光，但它们的研究价值是一样的，因为与超新星爆发时的光线有关的一切都被回光保存了下来，我们能够通过回光分析超新星的光谱并确定它的类型、距离，甚至还能知道它在爆发时合成了哪些化学元素。

在这次研究中，尽管第谷超新星的回光只有 1572 年第谷观测时的星光的一千亿分之一，但借助于夏威夷岛上口径 8.2 米的昴星团光学望远镜，天文学家最终获得了回光的光谱，发现它与典型的 Ia 型超新星光谱别无二致，因此确认第谷超新星是一颗 Ia 型超新星。

与观测超新星爆发时的直射光相比，回光的探测要困难得多。由于宇宙空间尘埃微粒分布的复杂性，回光一般都十分微弱，迄今为止，天文学家只找到了为数不多的几例超新星回光实例。不过超新星爆发的持续时间往往只有短短几天，而且无法事先预料，天文学家只能“守株待兔”，而星际尘埃散射的回光在超新星爆发后很长一段时期内都有可能被探测到，更有利于人们对像第谷超新星这样的“高龄”超新星进行研究。

现在，回光现象在天文研究中的重要性正不断提高，天文学家们观测回光的能力也在逐年提高。回光的意义不仅在于照亮星际尘埃的结构，还可以协助进行距离的测量，在天文学上，距离是最难确定的数据之一。例如 2008 年初曾有天文学家利用回光法精确地测量了造父变星船底座 RS 的距离。其原理就是，通过监测周边不同位置回光的光变，再结合反射星云团块之间的角距离，可以给出恒星与地球的距离。这一工作改进了造父变星的定标，甚至会影响到宇宙学的研究。再比如说，我们现在已探测到第谷超新星的回光并确定它是 Ia 型超新星。因 Ia 型超新星爆发时的最大亮

度基本都是相同的,而历史已纪录了第谷超新星爆发时的观测亮度。观测亮度和真实最大亮度的差别主要取决于超新星离我们的距离。就象黑夜中汽车的灯光一样,越远越暗。所以我们现在也可以较好地测量第谷超新星的距离了。同样,天文学家可以观测更多其他星系中的 Ia 型超新星的回光并测定遥远星系的距离。此外

对超新星回光的研究还有助于理解 Ia 型超新星爆发的物理机制,这也是目前天文学上仍然悬而未决的一大难题。人们一般认为 Ia 型超新星爆发发生于一颗白矮星和一个红巨星组成的密近双星系统里,白矮星通过从其伴星吸积物质质量超过钱德拉塞卡极限(即 1.4 倍太阳质量)后而爆炸,而另有一种理论则认为 Ia 型超新星

的爆发是通过两颗白矮星的合并而发生,孰是孰非仍待进一步确证。回光现象在天文中还有很多其他的应用,比如研究年轻的超新星遗迹周围星际介质的三维结构,测量年轻超新星遗迹及相关的脉冲星的年龄或距离,测量星系团的距离和通过对高红移伽玛射线爆的回声观测来诊断重子物质密度等等。[A]

(责任编辑 李鉴)



船帆座超新星遗迹(美国斯必泽空间红外望远镜拍摄)



超链接:

何为超新星遗迹?

超新星遗迹(Supernova remnant,缩写为 SNR)是超新星爆发时抛出的物质在向外膨胀的过程中与星际介质相互作用而形成的星云状天体。目前天文学家在银河系内已经发现了 270 多颗超新星遗迹,其中最著名的首推金牛座“蟹状星云”,它是公元 1054 年一颗超新星爆发后留下的,我国古人最先发现并详细记录下了它的爆发过程,这也是人类历史上最早的超新星爆发记录。

超新星遗迹根据形状,可以大致分为三类:1、壳层型超新星遗迹,它们最明显的特点是具有壳层结构,中央没有致密天体的辐射源,这一类在已发现的超新星遗迹中占到 80%以上。第谷超新星遗迹属于此类;2、实心型超新星遗迹,又称类蟹状星云型,其原型是著名的蟹状星云,这一类超新星遗迹没有壳层结构,中央具有致密天体提供能量(蟹状星云里是一颗中子星);3、复合型超新星遗迹,结合了壳层型和实心型的特点,既具有提供能量的中央致密天体,又具有抛射物与星际介质作用形成的壳层结构,典型的天体是船帆座超新星遗迹。