



(一)
徐春娴 黄天祥

一、天上与人间

自古以来,天上的丰姿异态就吸引着人间的注意,使人类产生过多少神秘的幻想。那不断眨眼、亮度不等的天体,那如烟似雾的星云,那壮观的彗星和一闪即逝的流星……人类在不断地探索和认识。

人间的每一次重大科学技术的发展,都加深人类对天上——宇宙本质的理解。光学望远镜的发明,奠定了光学天文的基础,使人类的视野扩展了千、万倍。而近代射电技术的发展,又使人们能听到天体发出的“声音”——射电波,这导致射电天文的诞生,使人类能听到一百亿光年远处太空发出的无线电波。六十年代以来,宇航器的发射、大型高空科学气球的应用以及各种观测仪器灵敏度分辨率的提高,使我们对宇宙的了解更加深入:宇宙不是广漠的虚空,那里有各种各样的天体、宇宙线、星际气体、宇宙尘埃、引力场和电磁场。单从电磁场来讲,它是充满了全部波段,从射电、微波、红外线、可见光、紫外辐射直到X、 γ 射线。

虽然宇宙辐射的各波段本质相同,但光学天体却

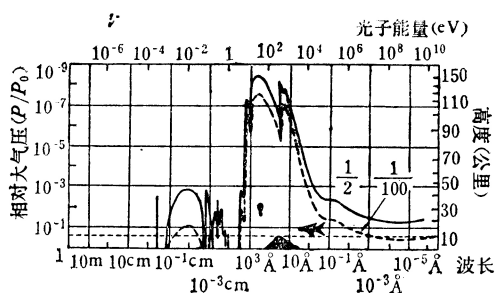


图1 电磁波在大气中的吸收随高度和波长的变化。
图中实曲线表示垂直入射的各波段电磁波衰减为原初1/2时的高度,虚线表示衰减为原初时的1/100的高度

是人类最早认识的天体。这是因为地球大气层对不同波段的吸收是不同的,生活在大气海洋下面的人类只能接收到可见光波和部分射电波;而自然选择的结果又使人类具有对可见光波段灵敏的仪器——眼睛。所

以我们虽然庆幸大气层挡住了那些致命的辐射,保护了人类的生命,但它却是人类观察宇宙的障碍(图1)。由图可见,在离地面十公里范围内,只有光学、射电和某些红外波段可以透过,而对于能量在几十keV的硬X射线是可以

在气球高度进行观测的。科学工作者一直在寻求冲破大气屏障的方法,近十多年来,航天技术的进步,探测仪器的发展,终于使天文工作进入了令人兴奋的全波天文阶段,天文学正经历一次新的飞跃。

X、 γ 辐射波长短,能量高,粒子性显得更为突出,因此除了软X波段还能用聚焦、分光一类的传统光学观测方法外,其余只能用粒子物理探测器。从现在的X、 γ 天文学实验情况来看,几乎所有的核物理、高能物理探测仪器都可以在X、 γ 天文学研究中得到应用,而这些仪器也往往采用通常的符合、反符合方法联合使用。这就使X、 γ 天文学研究从探测方法到物理内容上都与多种学科相关联,涉及到宇宙线物理、核物理、高能物理、天文学及宇宙学等。无疑X、 γ 天文学的深入研究,也将促进其他学科的发展。

二、X射线天文学简史

一八九五年,德国物理学家伦琴用克鲁克斯管研究阴极射线,意外发现了X射线。X射线是原子内层轨道电子跃迁(发出线谱)或快电子的韧致辐射(发出连续谱)而发射出来的光子。一般讲,光子能量在0.1—10keV叫软X射线,10—500keV称硬X射线,而能量更高的光子就属于 γ 射线了。

早在一九四一年,人们就认为太阳日冕中的一些谱线可能是失去了许多外层电子的铁离子发出的,这种情况说明日冕温度要在一百万度以上,而这样的高温也一定能发射X射线。但是地面实验却观测不到,其原因是大气吸收掉了太阳的X射线。到了一九四九年,美国海军实验研究室的一个小组用火箭进行通讯研究时,在八十公里高空接收到了太阳的X射线。一九五六年,他们又利用火箭气球联合装置探测,证明了X射线强度的突增与太阳耀斑有关。以后虽有很多天文学家利用气球和火箭观测太阳的硬X射线,但直到一九六二年,人们所知的X射线天体还仅仅是一个太阳。

一九六二年六月十八日,美国科学家发射了一枚装有高功效X射线探测器的“空中之蜂”探测火箭,目的是考察太阳的X射线在月球上引起的荧光,这是分析月面化学成分的一种方法。当火箭达到二百三十公

里高度时,意外地发现了两个非太阳的局部X射线源,这使得天文学家们大吃一惊。经过进一步的探测,精确地测定了两个X射线源的位置。一个是天蝎座X-1,它所发出的光子能量在4keV以上,其X射线功率至少是 3×10^{36} erg/sec,等于太阳X辐射量的 10^{13} 倍,而其自身的光学辐射只是X辐射的千分之一,但太阳的光学辐射却是自身X辐射的一百亿倍。一九六六年,日本天文学家发现了这个X射线源的光学对应体,是一颗十三等蓝星。另一个X射线源是金牛座X-1,即蟹状星云。从此,天文学史上揭开了又一篇新篇章,它不仅给天文观测提供了新手段,而且增添了一类具有奇特性质的新天体——X射线星。

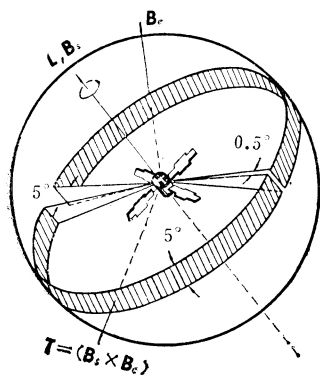


图2 在地球上,X射线探测器的扫描和控制原理。其控制由内部产生的沿自旋轴的磁场 B_i 与地磁场 B_e 之间相互作用形成的转矩 T 来实现

的新天体——X射线星。

一九七〇年十二月十二日,美国宇航局在肯尼亚

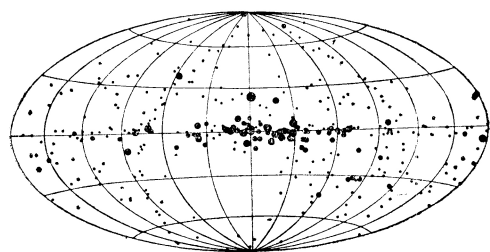


图3 “乌呼鲁”巡天时给出的X射线天图

发射了第一颗专用于X射线观测的“小天文卫星”。这颗在肯尼亚独立七周年纪念日发射的卫星被命名为“乌呼鲁”,当地斯瓦希里语“自由”的意思。它近三百公斤,在赤道上空483公里的轨道上运行,同时每十二分钟自转一周,当卫星自转时,X射线探测器在天空扫描一条 5° 宽的带;地面控制站每天把卫星自转轴的方向改变一次,就可以逐渐扫描全天区(图2)。“乌呼鲁”做出了令人难忘的发现,成为现代科学史中最有价值的实验之一。它首次给出了X射线天空的图象(图3),在它巡天的三年期间,发现了161个X射线源。它标志着X射线天文学进入了发展时期。此后,各国发射了更多的仪器对X射线源进行了深入研究。目前在轨道上运行的X射线天文卫星有印度、荷兰、美国、英国、

日本以及西欧的十几个卫星。其中应特别提到的是美国的“高能天文观测站”(HEAO,也叫爱因斯坦)系列卫星。如果把“乌呼鲁”卫星在X射线天文学中的作用比作伽利略望远镜在开辟光学天文中所起的作用,那么HEAO卫星的发射就相当于帕洛玛大型光学望远镜的建造了。HEAO卫星的发射和取得的成果使X射线天文学进入了成年时期。

高能天文观测站1号(HEAO-1)是1977年8月12日发射的,它上面载有X, γ 探测器,星体方位装置。它的自转轴总是指向太阳,每30分钟转一周,用射流系统控制方位,以便使太阳能电池总是朝向太阳。它的扫描方向垂直于转轴,当地球围绕太阳转动时,该自转轴的运动可使扫描在六个月内覆盖整个天区。

它的探测仪器有四个部分:(1)测0.15—20keV的X射线源装置,可以测能谱,强度以及时间特征。主探测器是七个薄窗正比管。(2)测0.2—60keV的宇宙线和弥漫X强度、能量分布的装置。主探测器是六个薄窗正比管的准直探测器。(3)精确测1—15keV的X射线天体的位置、大小和结构的装置。主体是二台配有正比计数器的扫描调制准直器,方位传感器。(4)硬X射线和低能 γ 的实验装置。测10keV—10MeV的X, γ 源的位置、光谱以及时间变化特性等。主探测器是闪烁计数器阵列。

HEAO-1在空中工作了十八个月,使已知X射线源的数目由350个猛增到1500多个;发现了一个可能的新黑洞G×339-4(原来认为有三个可能的黑洞:天鹅座X-1,圆规座X-1,天蝎座X-1);并且出人意料地发现了弥漫炽热等离子体存在的证据。这种气体约五亿度(K),而一般最热的恒星表面也多半低于十万度(K)。若它们在宇宙中是各向同性、均匀分布的,则它的物质总量比迄今我们所知道的各类天体的总和还多。这种气体发射X射线,并发现这里有铁的谱线。

HEAO-2于1978年11月13日发射,是瞄准式的,它的空间指向精度可达1角分。它载有一架X射线成像望远镜。这种望远镜,利用X射线在某些特定形状金属镜面上的掠射,把X射线聚焦成像,再利用微通道板把X射线转换成可见的像。用这台望远镜可以分辨出X源的哪一部分正在发射X射线、它的强度如何。譬如,它看到了M31星系中央膨胀部分有许多单个X源,其它源则是沿旋臂分布的。HEAO-2还发现了新的类星射电源,发现了星系团的二类X发射——均匀型和点源型。它还在六个超新星遗迹中发现了除铁以外的其它元素谱线,像硅、镁、硫、氩、钙等。

按计划SEAO-3在1979年9月发射,它将对宇宙 γ 源扫描。对于“高能天文观测站”的一系列新发现,理论家们提出了各种各样的推测和解释,但对各种理论作出结论为时尚早。

三、X 射线源的分类及其典型代表

目前共发现一千五百多个 X 射线源,也观测到了各向同性弥漫 X 辐射。大多数 X 射线源集中在银道面上,这些被认为是银河系内的 X 射线源;另外一些离银面较远,在天球上近似均匀分布,强度也较弱,被认为是河外 X 射线源。

<一> 河内 X 射线源

1. X 射线密近双星 在银河系中,双星系统约占全部恒星组合的一半,其中有一部分双星系统可以发出 X 射线。

发射 X 射线的双星是一对奇特的天体,其中一个成员是发射可见光的普通恒星——称主星,而另一成员则是发生了引力坍缩的致密伴星——它可以是白矮星、中子星或者是黑洞。这样的二颗星配成一对,在天空像跳舞似地彼此绕着对方转。这一类 X 射线源是 X 射线星中一个较大的家族。

双星系统能发出 X 射线,一般认为是由发射可见光的恒星流出的物质被吸引到致密伴星上,引力能转化为热能发出 X 射线,或者是引力能转化为粒子的动能再经韧致辐射或同步辐射发出 X 射线。我们知道中子星的密度是很大的,一个和太阳质量差不多的中子星,半径却只有十公里。所以,一个物体落到中子星表面上比落到太阳上所获得的引力能大七万倍,这么大的能量就有可能通过某些途径转化为 X 辐射。在这当中,由于致密伴星的情况不同,以及质量转移在时间上、空间上的差别,从而使双星系统的 X 辐射呈现出不同的形态。

武仙座 X-1(Her X-1) 是脉冲 X 射线双星的代表。它发出严格周期性的 X 射线脉冲,其周期为 1.24 秒,而每 1.7 天被它的发射可见光的主星遮掩一次(这叫食周期,就跟日食、月食的道理相同)。它还有一个为期 35 天的周期,其中 11 天有 X 射线发射,其余天没有。它的发射可见光的主星在一个食周期内有接近二个星等的明暗变化,其光学最小值恰恰是 X 射线发射

的最低值。而在 1978 年,有人又观察到它还有线谱发射。

对于上述特征的一种解释如下:它的致密伴星是一个磁化中子星,它的自转轴和磁轴不在同一方向上,所以发出了有严格周期的脉冲。它的光学亮度的变化是由于主星对着 X 射线星的一面被 X 射线加热而发光,随着 X 射线通量的变化亮度也发生变化。当伴星转到离我们远的一边时,X 诱发的光辐射我们看不到,所以光学亮度最低。此时,我们测得的 X 发射由于主星的遮挡也取最低值。见图 4。而关于它的 24 天中断发射很可能是中子星自转轴的进动所致。

天鹅座 X-1(Cyg X-1) 是另一类双星系统——黑洞双星。它的 X 发射无周期性,也无规则的脉冲结构,它的 X 射线强度有为期 5、6 天的变化,这与光学周期一致。它的 X 发射区域较小,所以人们认为这是一个由黑洞和发光恒星组成的系统。黑洞不像磁化中子星,它是无磁场的,所以也就看不到 X 射线的脉冲形式。

X 射线新星(又叫暂现 X 射线源)是独具特点的一类 X 射线源。它们在天空中突然出现,又在几个星期或几个月内消失。这很像新星的出没,因此得名。例如麒麟座 X 射线新星(A0620-00)曾是 1975 年 8—9 月份天空中最亮的 X 射线星,经 42 天后便结束了它暂短的一生。它的最大强度是蟹状星云的 50 倍。

X 射线爆发源(简称 X 爆)则是另一种特点的 X 射线源。这类 X 射线源,在几秒或更短时间内,X 射线的辐射强度猛然上升,持续时间从几秒到几十分钟。它的爆发可以快速重复,或是准周期性出现,而且有一类爆发每次爆发的能量与中间等待的时间成比例。

对于 X 射线新星和 X 爆的解释真是众说纷云,莫衷一是。但通常认为它们仍属双星 X 射线源一类。因为若把吸积物质过程看作是某一偶然触发过程,则可以解释 X 射线新星;若把吸积过程看作受到某种类似于“闸门”机构的控制,也有可能解释 X 射线爆发源。

2. 超新星遗迹 一个质量为 4—8 倍太阳质量的恒星演化到晚期,由于核燃料耗尽,以致辐射压抵抗不了引力作用,就发生了所谓坍缩,成为我们所看到的超新星爆发。这样一个爆发能持续几个月,它的辐射能量可陡增至平时值的几百倍到几百万倍,且在几个月内便达到太阳辐射总能的几亿倍!

超新星爆发之所以引起人们重视,还不仅仅在于它爆发时的辉煌壮观,更主要是这个爆发的遗留物是这样丰富多彩、奇特有趣。比如说,超新星爆发能产生中子星、黑洞、高能宇宙线、重元素、膨胀星云、高速逃逸星,以及电磁辐射和引力波。

金牛座 X-1(TanX-1) 便是一个超新星遗迹,它是 1054 年超新星爆发的遗留物。这个处在金牛座中的巨大蟹状气体云(所以也叫蟹状星云),离地球六千光

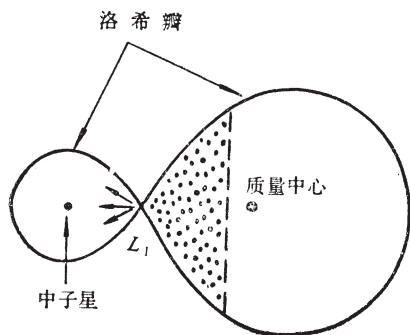


图 4 关于武仙座 X-1 的 X 射线发射的一个高能理论模型

年, X射线发射区域约 200 光年, 它的中心是脉冲星 PSR0531。PSR0531 被认为是那次爆炸形成的一颗高速旋转的中子星, 它提供周围气云加热所需的能量并以自己转速变慢为代价。这些热等离子体再通过某种方式发出 X 射线。这个中子星同时发出射电、可见光、X、 γ 脉冲, 而它发射的 X 射线对蟹状星云 X 发射的贡献约为十分之一。

天鹅环 (Cyg loop) 是另一类超新星遗迹, 它年龄很大, 辐射区域广、辐射谱的特征也不同。但它的中间没发现有脉冲星。这可能由于该中子星的磁轴不对着我们, 或者是因为它太老、转速太慢以致于不能提供辐射所需的能源。它的 X 射线发射区域是一膨胀的气壳。

〈二〉河外 X 射线源

直到一九二〇年人们才知道除了我们银河系外还有别的星系。所以河外天文学是一个年轻的领域。现已辨认的河外 X 射线源大体有五类:

1. 普通星系: 大麦哲伦星云 (LMC) 和小麦哲伦星云 (SMC) 离我们约十六万光年, 是离我们银河系最近的二个小型星系。而仙女座大星云 (M31) 是一双臂大星系, 离我们约二百二十万光年。它们与银河系一样属普通星系。普通星系 X 辐射只占全部辐射能的 10^{-5} 。它们的 X 发射可看作是其中个别 X 源发射的总和。

2. 射电星系: 这种星系有强射电发射。半人马座 (CenA-NGC5128) 就是个椭圆射电巨星系, 它比 M31 远四倍。其 X 辐射被认为是星系核心处的一定结构及其活动所造成的。

3. 星系团: 星系团有很多个星系组成。它们的 X 辐射往往是区域性的辐射, 区域的大小从 3300 光年到

3.3 百万光年。室女座星系团 (M87) 距我们 7 千万光年, 质量是银河系的 30 倍, 它除有 X 发射外, 还有光学辐射和强射电发射。

4. 赛佛特星系 赛佛特星系的显著特点是其核心异乎寻常的亮, 且有高度激发的发射线存在。乌呼鲁巡天时发现 NGC4151 有 X 发射, 且发射区域很小, 但离我们最近的二个赛佛特星系 NGC4051 和 NGC1068 却没发现有 X 发射。最近已知道有约 20 个 X 射线赛佛特星系。

5. 类星体 类星体 3C273 的 X 发射是在 1970 年发现的, 乌呼鲁进一步证实了它。根据红移进行推算, 它离我们约二亿光年, 它的 X 辐射范围是十三百万光年, 这已像星系团 X 源的大小了。

关于河外 X 源的说明是不清楚的。

〈三〉X 射线背景辐射

实验表明, 在整个天空, 处处都有丰富的 X 射线通量, 它们来自四面八方, 这使宇宙好像泡在了能量为 0.25keV—几 MeV 的光子海洋中。X 背景辐射的存在妨碍了远处及微弱 X 源的探测。关于它的起源有各种说法。有人认为这是各星系的 X 辐射或是星系内部各分立 X 射线源的辐射叠加效果。也有可能这是电子对 2.7°K 微波背景逆康普顿散射形成的, 这一切有待于进一步观测和认识。

总的来讲, X 射线天文学的现状似乎是这样的: 实验已揭示出大量的新现象新天体, 但对于这些现象, 天体物理学家尚不能作出令人满意的解释。这就好像一个新大陆的发现, 航道基本上是开通了, 新大陆已遥遥在望, 但越往前走就会发现更多的新现象, 新问题, 而且弄清它们的性质和物理机制确实是一件需长期观察和深入研究工作。

(待续)