

# 基本粒子与不稳定性天体

范 钦 敏

太阳一类恒星属于稳定性天体。这类天体有很强的光辐射,而且,在相当长时间内,它们的辐射强度的变化是很细微的。除了稳定性天体以外,在宇宙空间还存在着大量不稳定性天体,如新星、超新星、脉冲星以及各种爆发源等。在这些天体上,经常可以观测到比较强的X射线流或 $\gamma$ 射线流或其它宇宙辐射,而且辐射强度常有某些变化。例如六十年代初期开始发现的能发射强烈X射线的星体——X射线源,就是一类不稳定性天体。这类天体发射的X射线强度不是恒定的,而且辐射功率很大,有的可达到太阳各种辐射功率总和的上千倍。可是,它们的光学亮度却比较微弱。这类X射线源,在1977年以前总共找到二百多个。近两年来,随着美国“高能天文台”卫星的发射,记录到的空间X射线源数目已猛增到一千多个,从而极大地丰富了对这类不稳定性天体的知识。

不稳定性天体的研究,在现代天文学中正占有越来越重要的地位。这是因为,不稳定天体的行为与天文学的一些基本课题如恒星晚期演化、星系核活动等都有直接的关系。同时,不稳定性天体的某些特性也正在引起粒子物理学工作者的关注。这是因为,强烈活动的不稳定性天体的动力学,在很大程度上与高能粒子相互作用有着密切的联系。

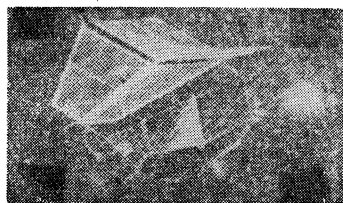


图1 观测空间X射线源的“高能天文台II”卫星图(又名“爱因斯坦天文台”)

起源于不稳定性天体的宇宙辐射,不但携带着天体演化的重要信息,而且还包含有微观粒子自身的无穷无尽的奥秘。因此,在不稳定天体研究与粒子物理学之间有着不少共通的内容。近年来高能物理学所取得的一些新成就,已经被引用到不稳定性天体的研究中去;而不稳定天体的一些观测事实,也正在为高能物理学的发展提供新的依据。现试举例如下:

## 中性流与超新星爆发

在弱作用与电磁作用统一的物理理论中,曾提出存在一类传递弱相互作用的粒子——中间玻色子。这类粒子虽然至今还未找到,但近年来的高能物理实验却找到了一些间接支持中间玻色子存在的证据。“中性流”的发现便是一例。所谓“中性流”,就是在中微子与核子碰撞时,除了在中微子与核子之间通过交换某个带电粒子(如假设的带电中间玻色子)而产生单个 $\mu$ 子的反应以外,还存在着另一类反应,只交换某个不带电粒子(如中性中间玻色子),从而不产生单个 $\mu$ 子,出射的粒子仍是电中性的中微子。这类反应在实验上已观测到,称为“中性流”反应。中性流的发现,是对弱电统一理论的一个有力支持。

超新星爆发是恒星晚期演化过程中发生的一种十分剧烈的释能过程。在爆发的几十天中,它所辐射的能量竟达到太阳几千万年辐射能量的总和。这么巨大的能量是通过什么途径释放出来的呢?对于这个问题,长期以来一直找不到确切的答案。“中性流”的发现,却为此提供了一条重要的线索。现在,不少人认为,超新星爆发与巨大的中微子流有着密切的关系,而中性流所传递的弱相互作用又起着特别重要的作用。

超新星爆发的关键在于,在引力坍缩的最后阶段,星体的巨额能量如何从炽热的核心部分突然发散出去。我们知道,在恒星演化晚期,只要它还没有爆发,碳核、氧核、硅核等就会进一步聚变成铁核,由此形成一个以大量中子为核心、以铁作内壳层、以其它轻元素作外壳层的星体壳层结构。由于存在中性流作用,从中子核心部分产生的大量中微子与周围的粒子以及与原子核散射时,中微子可以保持为中微子,并不衰变成 $\mu$ 子。更重要的是中微子的这种散射是一种相干散射,散射截面与核子以及与原子核重量的平方成正比,正因为如此,在星体核心部分,没有重的原子核,中微子的散射作用相对地说弱一点;而在铁壳层里,中微子散射作用则显著地增强。中微子在星体内部的这一幅

散射图象,在中性流发现之前是无法知晓的。随着超新星内部引力坍塌的加剧,在铁壳层里,中微子的相干散射会愈演愈烈,从而产生十分巨大的辐射压力。当辐射压力大到足以使铁壳层急剧地向外膨胀时,巨大的能量便从星体内部突然地发散到星体表面并辐射出去,从而导致超新星爆发。

当然,超新星爆发是一个复杂的天体演化过程,如今还有很多奥秘没有被揭开,对爆发的成因也还没有取得完全一致的看法。不过,可以肯定的一点是,中微子及其中性流作用对爆发过程确实起着重要的作用。

### 高能作用与超密天体

超新星爆发后,中子核心部分残留下来便成为中子星。例如蟹状星云脉冲星就是1054年超新星爆发后留下来的一颗中子星。中子星具有很高的物质密

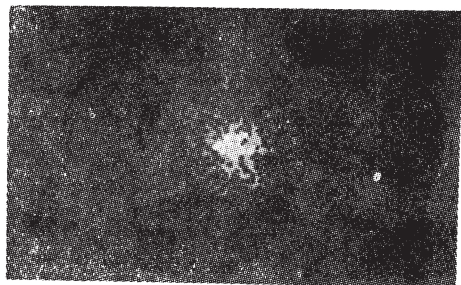


图2 用《高能天文台 II》的影像 X 射线望远镜首次拍摄到的一个 X 射线源——天鹅座 X-1 的照片,不少人认为,天鹅座 X-1 很可能是一个黑洞,如果真是这样,这就是第一张黑洞照片

度,差不多接近于原子核的密度( $\sim 10^{15}$  克/厘米<sup>3</sup>)。不过,在中子星这类物质中,由于各个核子间的相互作用能量比它们的固有能量小得多,核子之间的距离可以认为比较远,因此,这类物质仍然可以看作是由一个个核子组成的非连续态物质。然而,有迹象表明,在恒星或星系或总星系演化过程的某些阶段上,可能会出现一些比中子星还要密集的超密天体,其核子密度可以比中子星大数十倍甚至数百倍。它们也属于一类不稳定性天体。这类天体的状态与高能粒子的相互作用有着深刻的内在联系。

在超密天体上,由于提供给单个核子的空间已小于它的正常大小,于是这类粒子不再具有正常质量,它们存在的状态也会有所改变。

如果我们能够对超密天体的运动过程有所了解,特别是如果能得到有关超密天体状态方程的一些信息,那末,借助这些信息,便能从超密态这一角度来研究粒子的结构和弱作用乃至下一层次物质结构和行为。另外,在超密天体上,引力起着重要的作用,而在粒子碰撞过程中,引力是不重要的。比较这两种不同类型客体的有关信息,也是有意义的。

超密天体的寻找,是天文学面临的一项重大课题。从理论上讲,这类天体的存在是完全可能的。例如,去年美国两位物理学家提出的“夸克星理论”就是一例。所谓“夸克星”,就是由大量夸克组成的星体。这类星体属于超密天体的范畴。“夸克星理论”利用粒子物理学的“口袋模型”,论证了稳定的夸克星是能够存在的,并且认为,这类天体从外表上看非常类似于中子星,甚至目前被证认为中子星的那些星体,可能有些就是夸克星。现在的问题是如何去探测这类夸克星,尤其是如何把它们从中子星的迷雾中鉴别出来。这类工作目前正在引起天文学家和物理学家共同的兴趣。

### 反粒子与宇宙中的反物质世界

在微观世界里,所有的粒子都有它的反粒子,这是物质世界的一种基本的对称性。假如宇宙在物质和反物质方面也具有这种对称性的话,那末在宇宙空间就会存在反物质世界。在这个世界里,物质的构成将完全是另一番景象:恒星或星系将由大量反原子组成,反原子由反原子核及阳电子组成,反原子核则由反质子、反中子组成。要是果真在宇宙空间找到了这样的反物质世界,则对于宇宙论、天体演化学及粒子物理学都是一桩重大的事件。

多年来,人们认为初始宇宙射线可能会给我们带来空间反物质的信息,因为,宇宙射线是宇宙中各种星体活动的产物,那些由反原子组成的星体上所发出的射线,就很可能包含相当多的反粒子及反原子核。然而,观测表明,在初始宇宙射线中,反粒子(主要是反质子)所占的份额是很少的。通常仅占千分之几甚至万分之几。要从这些微量的反粒子流中,去推断宇宙反物质的存在是一件相当困难的事情,因为这里涉及到宇宙线的起源等问题。至于初始宇宙射线中的反原子核,特别是重的反核(如反铁核等),它们与反物质的联系则比较直接。这是因为宇宙线粒子在其传播过程中,通过与星际介质或星系际介质碰撞产生上述反核的几率是极小的。所以,如果能在宇宙射线中观测到反核,则就找到了宇宙反物质存在的有力证据。不过,由于这类反核的数目非常稀少,鉴别和探测它们很困难,因此目前还没有得到确切的结果。

在初始宇宙射线中,反物质为什么如此之少呢?以前曾有人猜想,初始宇宙射线中的反质子,可能在其传播过程中会衰变,因而不容易被观测到。去年,在西欧中心的交叉储存环中,利用“随机冷却”(stochastic cooling)技术,首次实现了反质子束被保持在储存环中,长达85个小时。由此可见,至少在85小时内反质子与质子一样是稳定的。这样,初始宇宙射线中反物质稀少的原因还是不得而知。

寻找宇宙反物质的工作已持续很多年。特别是对

银河系中反物质的寻找,已作了多种尝试,都没有得出大量反物质存在的确凿证据。然而,去年贝尔实验室的三位研究人员在这方面却取得了重大的突破,他们



图3 第一个反质子储存环

发现在银河系中心区域存在着大量的阳电子,阳电子就是反电子,从而论证了银河系中反物质的存在。他们的观测是利用气球载的 $\gamma$ 射线望远镜进行的。在望远镜对准银河系中心方向所测得的 $\gamma$ 射线能谱中,在511千电子伏处观测到一个很尖的峰,这正好是电子与反电子(阳电子)湮没产生两个 $\gamma$ 光子的能峰。根据湮没谱线的强度,推得银心方向电子与反电子湮没率竟达 $7.2 \times 10^{42}$ /秒,这是个十分巨大的湮没事件,它差不多与银河系内所有宇宙线荷电粒子的产生率相当。

银河系中心反物质的发现,为宇宙反物质的寻找开辟了一条重要的途径。不仅如此,它还还为研究星系演化及其粒子转化等提供了宝贵的信息。因为,银河系中心与一般星系中心一样,是一个强烈活动的不稳定区域,在那里存在着大量的高能粒子作用过程。巨额电子与反电子湮没事例的发现,将会加深对粒子相互作用过程的认识,同时,也有助于揭示星系核活动的奥秘。

综上所述,不稳定性天体的特征与高能粒子的行为有着密切的联系。正因为如此,近年来高能物理学的发展,不仅丰富了对极小尺度(微观世界)物质行为的认识,而且也有助于对极大尺度(宇观世界)物质行为的了解。同时,不稳定性天体的研究成果,也决不局限于宇观世界本身,它们也正在为揭开微观世界的奥秘提供宝贵的信息。(题头设计:顾震羲)