

消 息

准周期振荡(QPO)——X射线天文学的最新进展

美国麻省理工学院天文学家 Walter H. G. Lewin 和荷兰阿姆斯特丹大学天文学家 Jan Van Paradijs 曾在 1986 年第三季度评述了准周期振荡现象, 现将他们文章的主要内容刊载于下。

X 射线天文学最近发现了称作准周期振荡的新现象, 这是使人感到惊奇的; 振荡的起源尚属未知。因此, 要判断其重要性, 为时尚早。

大约 50 个已知的低质量亮 X 射线双星是年龄很老的天体(其寿命为 $几 \times 10^9$ 年)。在大多数情况下, 它们包含有一颗中子星, 中子星从邻近的低质量伴星吸积物质。有证据表明, 中子星的偶极磁场随着其年龄而变弱(中子星诞生时, 其磁场强度高达 10^{13} 高斯)。磁场变得越弱, 吸积盘将越接近中子星, 而中子星就自转得越快(作为吸积转矩的结果, 它自转加速)。对很弱的磁场(例如 $\lesssim 10^7$ 高斯), 中子星可达到大约 1 毫秒的最短周期, 此周期可同中子星表面附近物质的开普勒周期相比拟。

一般来说, 在 X 射线双星中, 中子星的自转可作为相干 X 射线脉冲检测到, 这是中子星的磁极漏斗状吸积的结果。许多年轻、大质量的 X 射线双星中观测到有相干 X 射线脉冲, 其典型周期约在 1 秒到几百秒之间。

可是, 在缺乏足够强的磁场的情况下, 漏斗效应不会发生, 从而也不会观测到相干 X 射线脉冲。因此, 如果某些低质量 X 射线双星中的中子星的自转周期为 1 毫秒, 也许就不可能检测到 X 射线脉冲, 这是因为与其相联系的磁场弱, 不能汇集吸积物质。可是, 对于 10^{10} 高斯左右的磁场强度, 能汇集吸积物质(在此磁场强度, 脉冲仍处于毫秒级范围), 人们能检测出 X 射线脉冲。在过去整整十年中, 对毫秒脉冲作了大量的研究, 但毫无结果。1987 年发现了 6 毫秒射电脉冲双星 PSR 1953+29, 三个小组各自发表了下述看法: 它可能是低质量 X 射线双星演化的产物, 此双星的吸积过程因燃料耗尽而中止。这就重新激发起在吸积双星中探索毫秒 X 射线脉冲的兴趣。

麻省理工学院的许多人, 化了好几个月的时间再次仔细检查低质量 X 射线双星的高时间分辨率的 SAS-3 的数据。M. Weisskopf 主要利用从 HEAO 观测到的数据, 探索毫秒级脉冲。可是仍然没有发现毫秒级范围的 X 射线周期脉冲。

尽管如此, Lewin 及其在阿姆斯特丹的同事建议, 用欧洲 X 射线天文卫星 EXOSAT 再次探索毫秒脉冲。1984 年初提出观测 10 颗亮的低质量 X 射线双星的建议, 其中 GX 5-1 和 GX 349+2 首先被批准进行观测。

在 5 个星期的观测期间, 他们对 GX 5-1 的数据分析表明: 没有检测到相干 X 射线脉冲。可是, 显然已经发现了称谓准周期振荡(QPO)的新现象。此振荡的近似周期为 30 毫秒。随后几个月发现, 振荡的中心频率与 X 射线流量强相关; 当 X 射线流量接近其最低值时, 它大约是 20 赫兹(50 毫秒), 且当源强度高 30% 时, 中心频率高达约 40 赫兹(25 毫秒)。在源强度低时, 调制流量的幅度是 6%; 在源强度最高时, 幅度就减弱。

这项结果是由作者于 1985 年 3 月 8 日在 Garching 举行的非正式研究班上给出的, 通过电话迅速传到美国。在此结果公布之前, A. Alpar 和 J. Shaham 已经给出一个模型, 他们提出观测到的 QPO 的频率, 大约是吸积盘内边缘的开普勒频率和磁化中子星自转频率之差频; 1983 年, B. Warner 提出过相似的概念, 以解释在几个激变变星中观测到的光学振荡(周期在 10 秒到 10^2 秒, 这里吸积星是白矮星)。

如果把这一模型应用到 GX 5-1 源上, 其中子星的自转周期为 10.5 ± 0.4 毫秒, 磁场约 10^{10} 高斯。此结果支持了对 PSR 1953+29 提出的假说, 从而也支持了老年 X 射线双星中的中子星自转很快的概念。可是, 这个有魅力的结果也有些难点。假若磁场像模型所暗示的那样强, 物质应接近磁极吸积, 我们会看到相干 X 射线脉冲, 但是却并没有观测到。

自从在 GX 5-1 源中发现 QPO 后, 在 Sco X-1,

GX5-2、GX17+2、快速X射线暴MXB1730-335、4U/MXB1820-30以及GX 349+2中,陆续发现有QPO现象。

在Sco X-1中,QPO的频率大约可从6赫兹变化到20赫兹。在X射线宁静期,频率倾向于6赫兹,它与源的强度负相关。可是,当观测到20赫兹振荡时,有时它们与源强度正相关。当源亮时(X射线耀亮期),没有观测到QPO。

对快速X射线暴来说,在大多数(并非全部)X射线爆发时都观测到QPO,这是由于间歇吸积的结果。有时在爆发期之间的持续发射期间,也可观测到QPO(并非总是可以观测到)。在爆发起始期间,QPO的频率与爆发流量负相关(平均峰值流量愈高,QPO的频率愈低)。在持续发射期间,QPO的频率显示出特殊的S形图案(起初在爆发后不久大约从3赫兹开始增大到4赫兹,不到15分钟后,减小到2赫兹)。

作者认为QPO现象的发现可追溯到1971年,当时Angel等人分析了火箭的观测结果后指出:“从Sco X-1在4分钟内的X射线流量的分析,表明有频率为1赫兹—10赫兹的振荡的证据,典型的持续时间是1分钟”。很可能就是他们第一次观测到了QPO现象(尽管由于统计显著性不高而有相当的不确定性)。

到1985年10月15日为止,没有几个结果发表,但数据的不断积累指示出越来越复杂的QPO特性,这使理论家难以提出适当的模型来对它们作出解释。作者认为,所观测到的QPO频率和源强度之间的负相关,对迄今提出的所有模型都是一个严重的困难。许多人提出QPO可能起源于磁层,可是现在尚无定论。假若是这样,中子星的磁偶极场强度可高达 10^{10} 高斯,这样强的磁场可能表明了,要么偶极场衰减得不像预计的那么快,要么在这些很年轻(几

$\times 10^6$ 年)的系统中的中子星是很年轻的。作者认为第一种可能性不能排除,不过他们只讨论了后一种情况。

许多很老的双星系统中可能包含着一颗吸积白矮星,它们仅仅最近(几 $\times 10^7$ 年以前)才超过Chandrasekhar极限,并坍缩成一颗中子星。他们相信以 $10^{-9}M_{\odot}/$ 年这种恰当的速率吸积的白矮星,在经典的新星爆发过程中抛出物质,因此不会坍缩成中子星;可是,如果吸积速率足够高($\gtrsim 10^{-9}M_{\odot}/$ 年),新星爆发可能不会发生,白矮星坍缩成中子星也许就是不可避免的了。假若低质量的供能星(donor)是主序星的话,这样大的质量转移率很可能难以维持足够长的时间(因此不能做到把十分之个太阳质量转移到白矮星上)。然而,如果供能星向巨星分支演化,它的核演化就可以保持大质量流有足够长的时间。

QPO可能优先在具有主序后伴星的低质量双星系统中观测到的观念,仅仅是根据了这么一些“也许”、“可能”、“如果”等等而来的。在这一推论性的观念具体化了之后,Sco X-1和Cyg X-2才表现出了QPO现象。对于这种观念人们曾经是很欣赏的(而且目前仍然如此),其原因是这两个源都有一颗主序后伴星(轨道周期均超过15小时)。可是,表现有QPO的其他五源(其中还没有一个取得光学证认)是否也有主序后伴星,仍然有待观测;它们的轨道周期也尚属未知。作者指出,如果在轨道周期为几个小时的低质量系统(这样的系统中供能星可能是主序星)中发现QPO,他们的观念将会遇到困难。在本文付印之前,这种情况可能就已经发生了。

刘金铭据 *Comments on Astrophys.*,

11 (1986),pp.127—134.

Quasi Periodic Oscillations, the Latest Development in X-ray Astronomy

(Liu Jinming)