

脉冲星观测研究的某些进展

夏晓阳

(天津师范大学物理系)

邓祖淦

(中国科技大学研究生院, 物理教学部)

提 要

近年来,对日益增加的脉冲星观测资料的分析和对毫秒脉冲星、射电和X射线脉冲双星的观测,对脉冲星的形成、演化和辐射机制等提出了越来越多的新问题。本文对这些新问题的观测依据进行了介绍。主要涉及下述几方面的问题:是否存在着在结构、形成和演化上均不相同的两类脉冲星?脉冲星是否有两种或两种以上的辐射机制在同时起作用?脉冲星射电辐射中的两种相互垂直的偏振模式,以及近年来在毫秒脉冲星、射电和X射线脉冲双星的观测中所发现的新现象等。

一、引 言

脉冲星一经发现就很快被确认为是高速旋转的强磁化的中子星^[1-4]。脉冲星所具有的极端物理条件如高密度($\sim 10^{15}\text{g/cm}^3$)、强磁场($\sim 10^{12}-10\text{G}$),引起了天文学家和物理学家的极大关注。近二十年以来,尽管已获得丰富的观测资料,并建立了各种关于中子星内部结构和脉冲星辐射机制的理论模型,但很多重要的观测事实仍得不到合理的解释。近年来,随着对观测资料的分析日渐深入,理论落后于观测的矛盾日趋明显。即使最流行的理论模型本身在观测事实面前也存在着许多矛盾。对脉冲星观测资料作系统的整理,以弄清目前理论模型所面临的由观测提出的新问题是很有必要的。

另一方面,毫秒脉冲星1937+214发现后,对短周期脉冲星的搜寻取得了一定进展。而毫秒脉冲星的研究又将脉冲星与双星系统的研究联系起来,从而推动了射电脉冲双星和X射线脉冲双星的观测和理论研究。在这一系列搜寻和观测中,发现了一些新的现象。例如,发现了准周期振荡天体^[5-6](QPO)和有超高能 γ 光子发射的天体^[7-9](Jemima)。这些新观测到的现象还没有得到合理的理论解释。

本文并不打算系统地总结和概括关于脉冲星的所有观测事实,而仅对目前一些未能得到合理的理论解释或尚未得到一致认识的重要观测事实进行较系统的介绍。其他的观测资料请读者查阅以前发表的一系列关于脉冲星的专著和评述文章^[10-12]。

二、是否存在着两类脉冲星?

Manchester和Taylor^[11]曾对196颗脉冲星的周期分布进行过分析。从当时观测到的196颗脉冲星按周期分析的直方图上可以看出,在 $P\sim 1\text{s}$ 附近的脉冲星明显减少。1982年黄介浩等

人^[13]用当时获得的296颗脉冲星的资料^[14]，并考虑到可能存在的不均匀性和选择效应后，对以距离在1.5kpc以内的脉冲星进行分析，得出同样的结果(图1)。迄今为止，脉冲星按周期分布的这种特征可以认为是确实的。

Shitov^[15]对脉冲星射电辐射的谱指数进行了定量的分析。他发现脉冲星的射电谱随着其周期的增大而向低频端移动。他还得出了在102—408—2700兆赫范围内的平均谱指数和脉冲周期的关系。其结果如图2所示。从图中可以清楚看到，恰恰在 $P \sim 1s$ 附近，平均射电谱指数出现突然改变的现象。

最近，Pineault^[16]对291颗脉冲星的射电光度分布进行了分析。图3为他所得的脉冲星按射电光度分布的直方图，由图上可见在 $\log l \sim 27.5$ 处的脉冲星明显缺少。图3中脉冲星分布的凹陷与脉冲星按周期分布在 $P \sim 1s$ 处的凹陷，看起来非常相似。Pineault还指出，这种凹陷特征，在某种假定下可以相互联系起来。

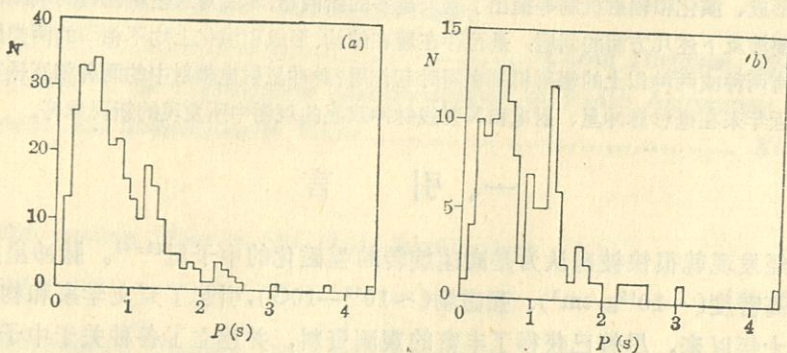


图1. 射电脉冲星的周期分布的直方图。
(a) 全部脉冲星的周期分布； (b) 与太阳系距离在1.5 kpc以内的脉冲星的周期分布^[13]。

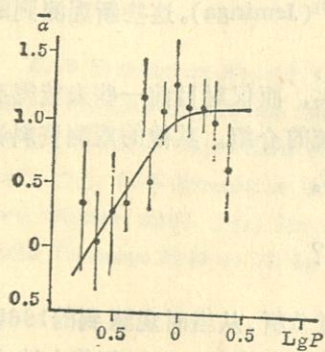


图2. 平均谱指数 $\bar{\alpha}$ (在102—408MHz)对脉冲星周期的依赖关系^[15]。

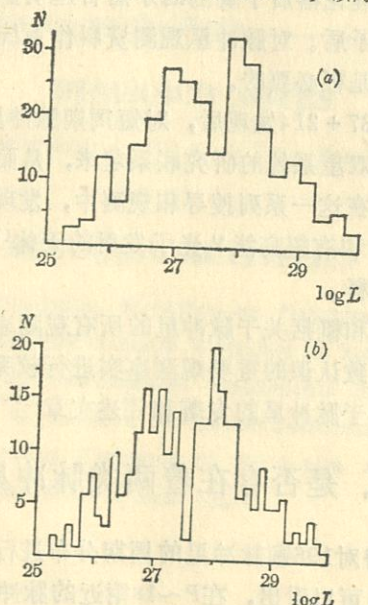


图3. 在不同光度对数间隔下脉冲星按光度对数分布的直方图。(a) $\Delta \log L = 0.25$, 和(b) $\Delta \log L = 0.125$ ^[16]。

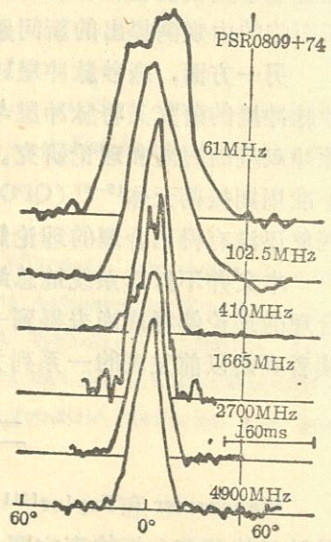


图4. PSR 0809+74的积分脉冲轮廓随观测频率的变化^[27]。

对上述观测事实的一种自然解释是, 脉冲星有两类。Mnatsakanyan^[17]曾试图用两类不同初始周期的脉冲星来解释其周期分布特征。彭秋和等人最初提出了可能存在着两种不同结构的中子星^[18], 黄介浩等人^[13, 19-20]在此基础上将脉冲星分为两类。黄介浩等人 and 邓祖淦等人^[23-24]证明了这种分类可以解释上述某些观测事实。Malov^[25-26]也提出可能存在着两类不同性质的脉冲星, 并认为这两类脉冲星产生辐射的机制和部位不同: 一类的辐射是在极冠附近, 而另一类却在通常所说的光速圆柱处。

另外一种可能性是, 这种分布的差异来源于脉冲星的不同演化阶段。但迄今为止还没有人认真提出过把上述观测现象解释为演化效应的理论。

如果的确有两类不同性质的脉冲星, 它们可能对应着两种在内部结构、磁层和辐射机制上都有本质区别的中子星。而这两类不同的中子星势必来源于不同类型的超新星爆发。近年来对 I 型超新星爆发有可能也会形成中子星的讨论, 也许能为存在两类脉冲星的理论提供进一步的依据。

尽管两类脉冲星的研究还处于开始阶段, 但它所提出的问题是十分吸引人的。确切的答案仍有待于观测和理论研究的进一步发展。

三、是否有两种或更多种辐射机制同时在起作用?

脉冲星射电辐射的一个重要特点是其积分轮廓非常稳定。即尽管个别脉冲无论在强度或位相上可以有很大差异, 但大量个别脉冲的叠加所得的积分轮廓却基本不随时间变化。一般认为这是由于辐射区磁场位形的稳定性决定的。

Manchester 和 Taylor^[11]早就注意到了某些脉冲星的射电辐射积分轮廓随频率而改变。近几年来, Rankin^[27-29]搜集和分析了各波段上所观测到的脉冲星射电辐射资料, 发现了一些以前不知道(或未被重视)的重要的观测事实。

首先, 她发现单峰的脉冲星其积分轮廓随频率有两种变化。一类如 PSR 0809+74, 随着频率变低, 观测到的脉冲轮廓变宽, 继而在峰的中部出现一个凹陷, 有的甚至最后形成两个峰(见图 4)。另一类如图 5 所示(以 PSR 1642-03 为例), 随着频率升高, 积分轮廓的峰两边出现两个肩。她将这两类不同的变化分别称为“锥”的(conal)和“核”(core)的辐射。

她还发现, 除积分轮廓不同外, 上述两类辐射的偏振性质也不同。对“锥”的一类, 随着频率升高, 辐射的线偏振度明显变低, 甚至变得完全没有线偏振; 其圆偏振不强。同时在积分轮廓边缘处有明显的消偏现象。但对“核”的一类, 偏振在很宽的频段内变化不大, 无论频率升高时还是在脉冲轮廓边缘处, 均无明显消偏。同时, “核”一类辐射中的圆偏振相当强, 有的甚至比其线偏振强。在线偏振度较低时, 圆偏振辐射强且对称(左旋和右旋强度可比较)。随着线偏振部分增强, 其圆偏振相应减弱。另一个特点是“核”的辐射谱较“锥”的谱更陡。Rankin指出, 可以从脉冲轮廓随频率变化的特征、偏振性质和辐射频谱这三方面来区分出“锥”和“核”的辐射。

Rankin从统计中发现, 仅有“锥”分量辐射的脉冲星极少, 总共只有10个左右。大部分脉冲星都有“核”分量的辐射。对双峰的脉冲星, 其两个峰属于“锥”分量, 而两峰间的联结部分(“桥”)则属于“核”辐射。对积分轮廓为三峰的脉冲星和更多峰的脉冲星, 中间那个峰一般属于“核”成份辐射, 而其旁边的两个或四个峰则属于“锥”成份辐射。

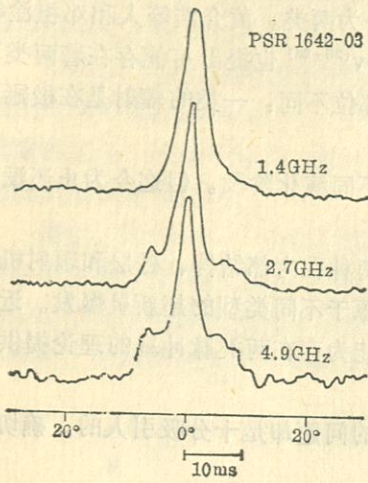


图5. PSR 1642-03的积分脉冲轮廓随观测频率的改变^[27]。

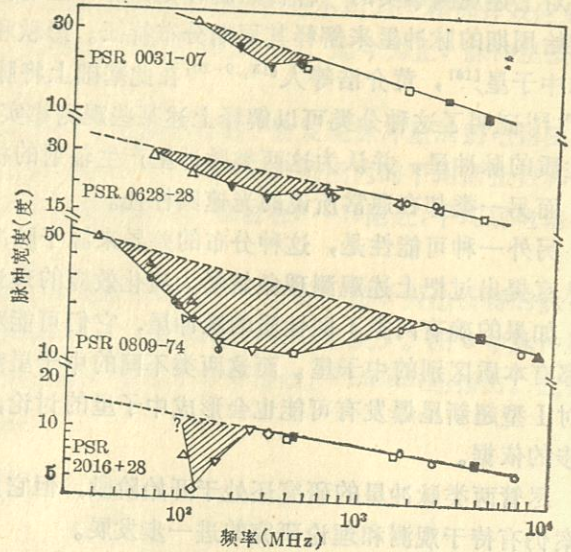


图6. 四个脉冲星0031-07, 0628-28, 0809+74和2016+28的平均轮廓宽度随频率的变化。实线是测量结果, 而中间部分虚线是由高频外插的结果。阴影部分可视为在中间频段“丢失”掉的轮廓宽度^[28]。

根据上述分析, Rankin认为“锥”和“核”成份是组成脉冲星射电辐射的两种成份。这两种辐射成份由不同的区域产生, 且其辐射机制也可能不同。Rankin认为, “锥”成份来自人们普遍接受的空心锥模型中等离子体沿开放磁力线运动时的相干曲率辐射, 而“核”成份的辐射可能来自更深即离脉冲星表面更近的区域。Rankin从对零脉冲、亚脉冲漂移和模式变化的研究提出, “核”成份的辐射可能是脉冲星辐射中更基本的辐射成份。

迄今, 对于“锥”成份辐射已作了相当多的研究, 并建立了各种各样的模型^[30-38], 但对“核”辐射机制还几乎无人进行过认真的研究。Rankin的分析对以前所有的关于脉冲星辐射机制的模型提出了一个严峻的问题: 它们必须能自然地给出符合观测特征的“核”辐射成份。乔国俊等人^[39]提出, “核”辐射的机制可能是由极冠表面附近的正、负电子对和在R-S模型^[38]里内隙(gap)中振荡的偶极辐射场所产生的逆康普顿散射。总之, 关于“核”成份辐射机制的研究, 似乎已成为脉冲星研究中一个日益重要的课题。

Bartel对 PSR0809+74 以及其他一些脉冲星的脉冲宽度随频率变化进行分析的结果表明^{[28], [40]}, 它并不是象人们以前所认为的那样脉冲的积分宽度随频率的升高而单调地变窄(这可由以前的空心锥模型加以解释)。Bartel发现 PSR0809+74的脉冲宽度随频率的变化如图6所示。由此图可见, 在高频和低频区, 脉冲的积分宽度都遵从同样的幂律随频率而变化。但是, 在中间的某一频段出现图中所示的所谓“吸收特性”。Bartel发现, 除了明显的双峰脉冲星外, 几乎所有具有其他各种积分轮廓的脉冲星都有此特征。这个特征可能是与“核”辐射成份的存在有关, 它不可能用空心锥模型来解释。

1970年, Backer^[41]发现个别脉冲星的积分轮廓出现两个或两个以上的模式, 即在一段时间内积分轮廓呈现一种形状而在另一段时间内积分轮廓却是另一种形状(图7给出了 PSR1237+25的两种不同模式; 图中实线表示正常模式, 虚线表示反常模式)。近年来, 从观测资料的

积累和分析中, 发现越来越多的脉冲星事实上都存在模式变化^[42-49]。因此, 模式变化并非是偶然和奇特的现象。在模式变换中, 各辐射分量的绝对强度和它们之间的相对强度都发生了很大的变化, 但偏振性质的变化不大。这说明发射区的磁场位形并无根本变化。观测表明^[29], 有模式变化的脉冲星其积分轮廓大部分是多峰或较复杂的形状。他们同时包含有“核”和“锥”成份的辐射, 而在模式变换时“核”和“锥”辐射的贡献也重新分配^[29]。由观测得出的对模式变化的这种分析, 也许会有助于了解长期困惑不解的模式转换的“开关现象”。

观测发现不少脉冲星还有零脉冲, 并且, 有模式变换的脉冲星往往都有零脉冲。这表明, 这两种现象很可能是有关联的。Wright 等人最近对 PSR 1112 + 50 就给出了一个最典型的例子^[48]。PSR 1112 + 50 有三种模式(见图 8), 其第二种模式有漂移亚脉冲, 而在第三种模式出现期间有大量的零脉冲。零脉冲的“关闭”时间有短有长, 短的仅缺一个脉冲, 而长的可达几分钟甚至数小时^[29]。值得注意的是, 仅有“核”辐射成份的脉冲星根本就不发生零脉冲, 也没有模式变换; 而既有“核”又有“锥”辐射的脉冲星, 在出现零脉冲时所有辐射都同时消失^[29]。这

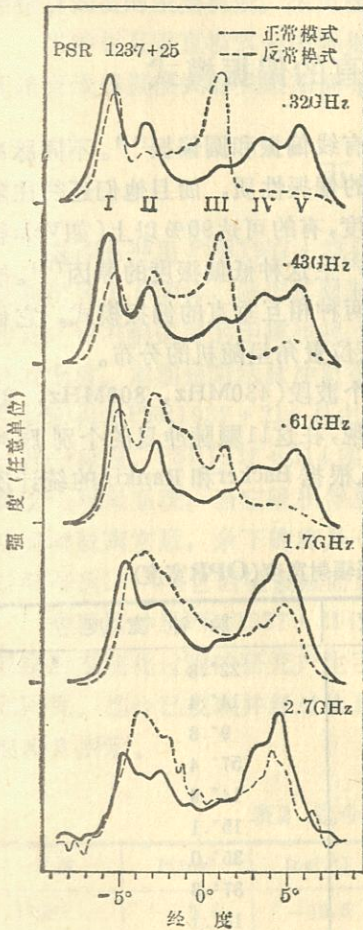


图 7. PSR 1237+25 在不同频率下的脉冲轮廓。正常模式是 1 000 次脉冲的平均, 而反常模式是 100 次的平均^[29]。

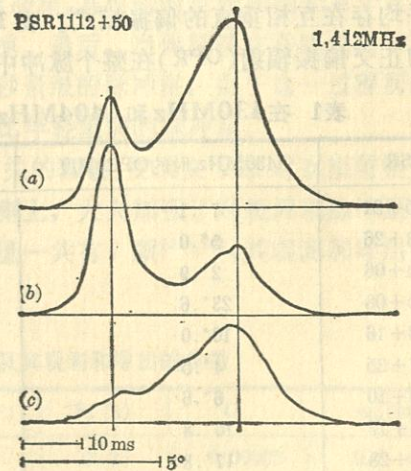


图 8. PSR 1112+50 在 1 412 MHz 的积分脉冲轮廓。(a) 2 400 个连续脉冲的积分轮廓; (b) 模式 1 的单个脉冲爆发的积分脉冲轮廓(总计 176 个); (c) 模式 2 的单个脉冲爆发(总计 193 个)的积分轮廓。此脉冲星有很高的零脉冲率^[48]。

似乎意味着“核”成份是更为基本的辐射成份，并且它与“锥”成份辐射有相当强的关联。以前，人们曾认为有零脉冲的脉冲星是年老的濒临死亡的脉冲星，而近来的观测事实否定了这一说法^[29]。上述新的观测和分析结果表明，对零脉冲和模式变化的进一步研究，有可能为我们提供两种辐射的机制和它们之间联系的信息，同时也对现有脉冲星辐射机制的各种模型提出了有待解决的新问题。

有规律的亚脉冲漂移是只有“锥”辐射的脉冲星所特有的现象。只有“核”成份辐射的脉冲星不但没有亚脉冲漂移，甚至不存在其辐射强度的规则起伏^[29]，即其辐射是“白谱”。可是，在同时具有“锥”和“核”辐射成份的脉冲星中，虽然没有经向辐射的亚脉冲，却观测到其强度起伏是有规则的^[29]。这同样说明“核”和“锥”辐射成份是不同机制并来源于不同部位的两种辐射。

总之，近年来对零脉冲、模式变换和漂移亚脉冲的研究，即为脉冲星存在两种或更多辐射成份提供了观测依据，又为射电脉冲星的辐射机制的研究提供了重要的新线索和新限制。

四、脉冲星射电辐射的两种互相垂直的偏振模式

众所周知，脉冲星射电辐射是偏振的，并且一般同时具有线偏振和圆偏振^[11]。不同脉冲星，甚至同一颗脉冲星脉冲轮廓的不同部份，都有很不相同的偏振性质，而且他们还往往随辐射的频率而变化^[50-51]。脉冲星射电辐射积分脉冲的线偏振度，有的可达90%以上(如Vela脉冲星)，而有的仅为百分之几。Manchester和Taylor曾讨论过产生这种低偏振度的原因^[11]。他们认为：(1)可能个别脉冲本身的线偏振度就低；(2)存在着两种相互垂直的偏振模式，它们的瞬时叠加将起到强的消线偏振作用；(3)可能是辐射的偏振位置角呈随机的分布。

近来，Stinebring等人^[51]对11颗强的低色散脉冲星在几个波段(430MHz, 800MHz, 和1404 MHz)的单个脉冲的偏振资料进行了系统整理。他们发现，在这11颗脉冲星的个别脉冲中几乎均存在互相垂直的偏振模式。表1列出Stinebring等人根据Backer和Rankin的统计所确定的正交偏振辐射(OPR)在整个脉冲中所占的宽度^[52]。

表1 在430MHz和1404MHz一些脉冲星的正交偏振辐射宽度(OPR宽度)

PSR	430MHz时的OPR宽度	1404MHz时的OPR宽度	脉冲宽度
0525+21	7°.1	7°.0	22°.8
0823+26	5°.0	4°.2	14°.4
0834+06	2°.9	3°.7	9°.8
0950+08	23°.6	35°.5	57°.4
1133+16	10°.0	3°.4	14°.9
1237+25	4°.5	1°.1	15°.1
1929+10	6°.6	11°.8	35°.0
1944+17	10°.8	1°.2	37°.3
20°6+28	17°.8	9°.1	14°.1
20°0+28	10°.5	9°.6	19°.5

从表1可以看出，OPR存在于所观测的频率范围内，而它在脉冲中所占的宽度，在某些脉冲星中随频率升高而增大，而在另外一些脉冲星中却随频率升高而减小。根据这一分析，Stinebring等人认为可能每颗脉冲星都存在着一个OPR宽度最大的频段，在此频段之外其

OPR 宽度将逐步减小。

Stinebring 等人还从观测资料中发现, 某些脉冲星(如 PSR1929+10 等)除了在脉冲轮廓边缘外几乎在整个脉冲范围内线偏振度都很高, 而在脉冲轮廓的边缘, 特别是在其尾部, 线偏振度突然变得很低。观测表明, 在这些脉冲星中存在两种互相垂直的偏振模式, 其中一种模式仅在脉冲轮廓的两侧出现。另外有一些脉冲星(如 PSR2020+25 等)却在整个脉冲范围内线偏振度都不高。他们发现, 这种脉冲星在其脉冲范围中普遍地存在着两种相互垂直的偏振模式, 而且在有的部位这两种偏振模式的强度相近。当这两种偏振模式的强度接近相等时, 其线偏振度就几乎为零。

从观测中发现, 两种相互垂直的偏振模式的辐射强度在高频时强, 在低频时弱。所以, Stinebring 等人认为, 脉冲星射电辐射的高频消偏振很可能是由于高频时两种相互垂直的偏振模式同时增强的结果, 而不是由于在高频时偏振态的随机化而引起的。因此, 脉冲星射电辐射消偏振的主要机制, 很可能是由于两种相互垂直模式的瞬时叠加所造成的。

两种相互垂直模式是由辐射机制引起的还是由传播中的效应引起的, 圆偏振与这两种相互垂直线偏振模式的关系如何等等, 都是有待进一步解决的问题。

五、毫秒脉冲星和脉冲双星

毫秒脉冲星 PSR1937+214 的发现^[53], 引起了天文学家们极大的兴趣。PSR 1937+214 周期仅为 1.558ms, 由于其周期变率很小, 所以通常认为其表面磁场很弱, 大约为 10^9 G 量级。而且, 它与银道面的距离也很小。把以前的脉冲星理论用于 PSR1937+214, 一开始就遇到年龄的矛盾。周期短暗示脉冲星很年轻, 但磁场弱又表明它年龄很老。为了克服这一矛盾, 天文学家提出 PSR1937+214 是由双星演化而来的假说^[54-55], 这一假说逐步为人们所普遍接受。按这一假设, PSR1937+214 实际上是一颗年老的脉冲星, 其很短的自转周期是由于它过去曾属于一双星系统, 当它吸积伴星物质时其自转将加速。最后, 当伴星被它吞噬或由于其自身爆炸而脱离它后, 余下的将是一颗自转周期已达毫秒量级的脉冲星。由于这一过程所经历的时间可达 10^8 年, 它因磁衰减而成为一颗表面磁场远比年轻星弱的脉冲星。

毫秒脉冲星 PSR1937+214 的演化历史与双星有关的假说, 使天文学家对双星特别是密近双星后期演化过程的研究产生了更大的兴趣。在观测上, 大大加强了对短周期脉冲星的搜寻和研究。迄今已发现并经过认真研究的射电脉冲双星一共有 7 颗^[57-59], 其观测和导出的参数如表 2 所示。

表 2 迄今观测到的射电脉冲双星及其观测和导出的参量

PSR	P [ms]	$\log[\dot{P}]$	$\log B$ (G)	a	P_b (s)	C	$m_c(M_\odot)$
1855	5.4	-19.5	8.6	23	12.33	0.00002	0.2-0.4
1953+29	6.1	-19.5	8.6	100	117.35	0.0003	0.2-0.4
0655+64	195.6	-18.2	10.0	5	1.03	<0.00005	0.1-1.3
1913+16	59	-17.1	10.3	2.8	0.32	0.6171	1.38
1837	520.9	<-17.0	<10.9	6	1.81	<0.005	0.06-0.03
0820+02	864.9	-16.0	11.0	500	1232.4	0.0119	0.2-0.4
2303	1066.4	-15.0	11.8	29	12.34	0.6584	1.2-1.8

从表 2 中可以看出, 尽管射电脉冲双星只有 7 颗, 但是它们的自转周期、轨道周期、轨道大小和形状以及磁场等都覆盖了很大的范围。因此, 除了研究这些射电脉冲双星与毫秒脉冲星间的演化联系外, 还开始对射电脉冲双星演化进行了分类的研究^{[54-56], [60-62]}。

大约在与发现射电脉冲双星的同一时期, 人们也发现了一系列 X 射线脉冲双星^[63-66]。目前, 人们普遍认为射电脉冲双星是由 X 射线脉冲双星演化而来的。由于射电辐射和 X 射线辐射机制不同, 所以虽然认为这两种脉冲辐射均由高速旋转的中子星所产生, 但对这两种辐射和产生这两类辐射的天体的研究是分别进行的。近来, 随着对毫秒脉冲星及射电脉冲双星研究的进展, 对它们的前身 X 射线脉冲双星演化的研究也进一步深入。表 3 列出了观测到周期变化或 X 射线光度的 16 颗 X 射线脉冲双星的观测资料^{[65], [66]}。

表 3 X 射线脉冲星的观测数据

源	P (秒)	$\log(-\dot{P}/P)$ (秒) ⁻¹	$\log L$	P_b (天)
4U0115-73	0.71	-10.8	36.78	3.9
4U1656+35	1.24	-11.02	36.85	1.7
4U0115+63	0.556	-12.02	36.90	24.3
4U1118-60	4.84	-11.50	37.90	2.1
4U1626-67	7.68	-11.20	37.10	0.03
2S1417-624	17.64	-9.20		
OA01653-40	38.20	-9.80	35.60	110?
A0535-26	104	-9.50	37.30	>17
4U1728-24	114	-9.20	37.78	
4U1258-61	272		36.48	
4U0900-40	283	-11.50	36.78	9.0
4U1145-61	291	-11.50	36.30	>20
A1118-61	405		36.70	
4U1538-52	529	-10.50	36.60	3.7
4U1223-62	700	-10.02	37.00	47
4U0352+30	835	-11.20	34.00	581

van den Heuvel^[67] 将 X 射线脉冲双星分为两类, 并讨论了这两类脉冲星各自的演化路径。van den Heuvel 认为 X 射线脉冲双星可按伴星质量大于或小于中子星质量而被分成两类。对于前者, 由于伴星质量大于中子星质量, 逃逸质量转移是不可避免的。并且随着质量转移, 大质量伴星的洛希瓣缩小, 其对流包壳将膨胀, 导致一双星公共对流包壳的形成。在这种情况下, 由于大的摩擦阻力, 将使中子星与伴星核相互旋进。这样的演化导致形成轨道小、轨道周期短的射电脉冲星。对于后者, 最后形成的将是轨道及其周期均更大的射电脉冲双星系统。

可是, 夏晓阳、邓祖淦^[68] 对表 3 所列出的 X 射线脉冲双星观测资料的分析表明, X 射线脉冲双星的演化并不能仅由伴星的质量唯一确定。它们的 X 射线光度、周期变率以及由回旋辐射谱线所间接得到的磁场信息均表明, 短周期和长周期 X 射线脉冲星在性质上有明显的差异, 而这种差异是不能从上述伴星质量的分类加以解释的。夏晓阳等人认为, 中子星本身的性质尤其是中子星的磁场在 X 射线脉冲星的演化中也应起着重要作用。

X 射线脉冲双星、射电脉冲双星和毫秒脉冲星的演化以及它们之间存在着演化联系, 已成为脉冲星研究的一个重要的尚待解决的课题。

六、QPO 现象

人们普遍认为, X 射线脉冲双星中的中子星可能是由于吸积其伴星的物质而加速成为毫秒脉冲星的, 因此为搜寻这种短周期脉冲作了不少努力。虽然至今这种搜寻尚未取得确定的结果, 但在这种搜寻过程中却意外地发现了准周期振荡现象(QPO现象)。

van der Klis 等人^[69]用 X 射线天文卫星 Exosat 上的中能探测器去观测亮银心 X 射线源 GX5-1, 以寻求短周期 X 射线脉冲时, 发现了它的准周期振荡现象。迄今为止观测到有 QPO 现象的天体已达 9 个。

van der Klis 等对 GX5-1 (即 4U1758-25) 发射的在 1—18keV 的 X 射线辐射随时间的变化进行功率谱分析。他们发现其平均功率谱有一宽峰, 如图 9 所示。峰的中心频率随源的强度增加而增加。由图 9 可以看到, 从图 9(a) 到图 9(f), 随着源强度的递增, 其平均功率谱中峰的中心频率也随之增高。

图 10 所示为功率谱中峰的中心频率随源强度的变化。由此图可以看出, 中心频率随源强度的变化几乎是线性的。功率谱中峰的存在意味着 GX5-1 的 X 射线辐射中存在着明显的周期性变化, 但峰的频率随源强度的变化不是严格周期性的。所以, 现在这种现象被称为准周期振荡。除了准周期振荡频率外, 在功率谱分析中发现峰的宽度也单调地依赖于源的强度 (见图 9)。

由于准周期振荡频率 ν_c 随源强度而改变, 因此它不可能是某一致密天体的旋转频率。最初提出对准周期振荡进行解释的较引人注意的模型是 Alper 和 Shaham 等人^[70-71]的差频模型。他们认为 GX5-1 可能含有一颗磁场弱而旋转很快的中子星, 中子星所吸

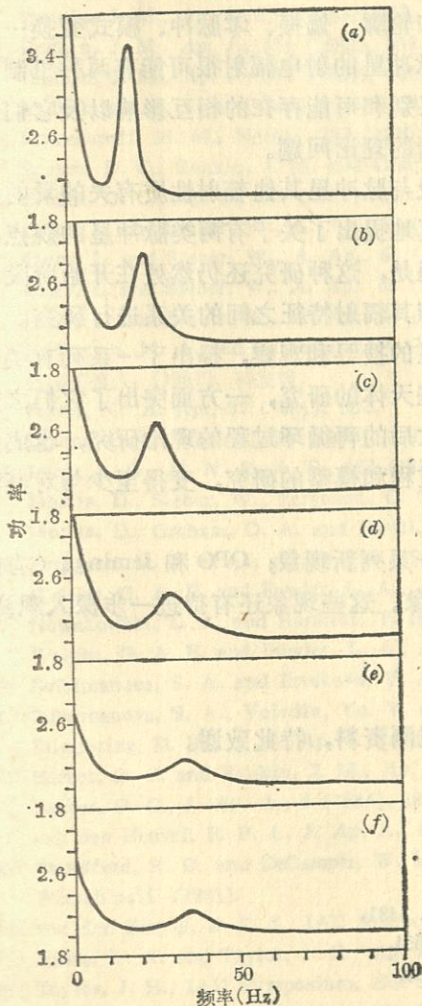


图 9. GX5-1 在六种不同源强度间隔中的平均功率谱。注意到峰的中心频率和宽度随源强度的变化^[69]。

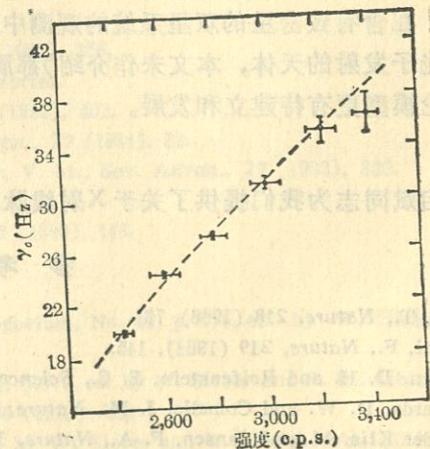


图 10. 功率谱的中心频率 ν_c 随源强度的变化。虚线是 van der Klis 等人给出的拟合曲线^[69]。显然, 直线也能很好地拟合这些点。

积的物质形成一吸积盘。观测到的准周期振荡频率是中子星旋转频率和内盘转动频率之差。此模型（还有一些其他的模型）的一个主要的观测依据是准周期振荡频率与源的 X 射线辐射强度间的线性关系。

但是，随着观测和分析的不断深入以及更多有 QPO 现象的天体的发现，人们逐渐认识到 QPO 现象似乎比最初看到的要更为复杂。例如 Hasinger^[72] 对有 QPO 现象的 Cyg X-2 的观测资料的分析表明：QPO 频率 ν_c 对 X 射线谱形状的依赖更强，而与辐射强度的关系并不是完全线性的，如图 10 所示。QPO 现象是近期发现的一种现象，更深入的了解有赖于进一步和更多的观测。目前，无论从理论上还是观测上，对 QPO 现象的认识都还非常肤浅。

结 束 语

本文对近年来有关脉冲星的观测资料作了简单的介绍。综上所述可见：

(1) 与脉冲星磁层和辐射有关的观测资料已进一步完善，其特点是在更宽频段上进行多波段观测的结果作比较，并将射电辐射的各种特征如轮廓、偏振、零脉冲、模式变换……等相互联系起来进行分析。这些观测和分析都表明，脉冲星的射电辐射很可能有两种机制在同时起作用。而这两种机制的具体模型，它们之间的区别和可能存在的相互影响以及它们在射电脉冲星可观测特征中的表现等，都提出了一系列新的理论问题。

(2) 从脉冲星按周期分布所表现出来的特征，以及与脉冲星其他辐射性质有关的量的分布，都暗示着脉冲星可能有不同类型。近年来，开始认真地提出了关于有两类脉冲星的观点，并提出了一些具体分类的模型和其内部结构的模型。但是，这种研究还仍然处在开始阶段。进一步的发展势必依赖于从理论上对脉冲星内部结构与其辐射特征之间的关系进行研究。

(3) 毫秒脉冲星、射电脉冲双星和 X 射线脉冲双星的搜寻和观察，提出了一系列有关脉冲星特别是含有脉冲星的双星系统演化的问题。对这些天体的研究，一方面突出了它们之间的演化联系，另一方面对于在双星系统中的脉冲星死亡后的再循环过程的理论研究，也成为重要的问题。这一系列的发展，使得对脉冲星的演化过程和模型的研究，变得至少与对其辐射机制和模型的研究同样重要。

(4) 在含有致密星的双星系统的观测中，发现了一系列新现象；QPO 和 Jeminga（有超高能 γ 光子发射的天体，本文未作介绍）都属于这类现象。这些现象还有待进一步深入观测，而其理论模型更有待建立和发展。

李启斌同志为我们提供了关于 X 射线脉冲双星的观测资料，特此致谢。

参 考 文 献

- [1] Gold, T., *Nature*, 218 (1968), 731.
- [2] Pacini, F., *Nature*, 219 (1963), 145.
- [3] Staelin, D. H. and Reifenstein, E. C., *Science*, 162 (1968), 1481.
- [4] Richards, D. W. and Comelle, J. M., *Nature*, 222 (1969), 551.
- [5] van der Klis, M. and Jansen, F. A., *Nature*, 313 (1985), 768.
- [6] van der Klis, M. et al., *Nature*, 316 (1985), 225.
- [7] Fichtel, C. E. et al., *Astrophys. J.*, 198 (1975), 163.
- [8] Thompson, D. J. et al., *Astrophys. J.*, 213 (1977), 252.

- [9] Swanenburg, B. N. et al., *Astrophys. J.*, 243 (1981), L69.
- [10] Smith, F. G., *Pulsars*, Cambridge Univ. Press, (1977).
- [11] Manchester, R. N. and Taylor, J. H., *Pulsars*, Freeman, San Francisco, (1977).
- [12] Michel, F. C., *Rev. Mod. Phys.*, 54 (1982) No. 1, 1.
- [13] Huang, J. H., Huang, K. L. and Peng, Q. H., *A. Ap.*, 117 (1983), 205.
- [14] Manchester, R. N. and Taylor, J. H., *Astron. J.*, 86 (1981), 1953.
- [15] Shitov, Yu. P., *Sov. Astron.*, 27 (1983), No. 3, 314.
- [16] Pineault, S., *Astrophys. J.*, 301 (1986), 145.
- [17] Mnatsakanyan, M. A., *Astrophysics*, 15 (1979), 342.
- [18] Peng, Q. H., Huang, K. L. and Huang, J. H., *A. Ap.*, 107 (1982), 258.
- [19] Huang, J. H., Lingenfelter, R. E., Peng, Q. H. and Huang, K. L., *A. Ap.*, 113 (1982), 9.
- [20] Huang, J. H., Huang, K. L. and Peng, Q. H., *A. Ap.*, 148 (1985), 391.
- [21] Huang, J. H., IAU Symposium, No. 125, (1986), in press.
- [22] Huang, J. H., Deng, Z. G. and Xia X. Y., Preprint series of STST, No. 151, (1986).
- [23] Deng, Z. G., Huang, J. H. and Xia, X. Y., *Ap. S. S.*, 129 (1986), 53.
- [24] Deng, Z. G., Huang, J. H. and Xia, X. Y., IAU Symposium, No. 125, (1986), in press.
- [25] Malov, I. F., *Sov. Astron.*, 29 (1985), 144.
- [26] Malov, I. F., *Sov. Astron.*, 29 (1985), 355.
- [27] Rankin, J. M., *Ap. J.*, 274 (1983), 333.
- [28] Rankin, J. M., *Ap. J.*, 274 (1983), 359.
- [29] Rankin, J. M., *Ap. J.*, 301 (1986), 901.
- [30] Radhakrishnan, V. and Cooke, D. J., *Ap. Letters*, 3 (1969), 225.
- [31] Komesaroff, M. M., *Nature*, 225 (1970), 612.
- [32] Backer, D. C., Rankin, J. M. and Campbell, D. B., *Nature*, 263 (1976), 202.
- [33] Backer, D. C., *Ap. J.*, 209 (1976), 895.
- [34] Oster, L. and Sieber, W., *A. Ap.*, 58 (1977), 303.
- [35] Oster, L. and Sieber, W., *A. Ap.*, 61 (1977), 445.
- [36] Oster, L. and Sieber, W., *A. Ap.*, 65 (1978), 173.
- [37] Oster, L. and Sieber, W., *A. Ap.*, 65 (1978), 79.
- [38] Ruderman, M. A. and Sutherland, P. G., *Ap. J.*, 196 (1975), 51.
- [39] 乔国俊等人, (1987), 待发表.
- [40] Bartel, N., *A. Ap.*, 97 (1981), 384.
- [41] Backer, D. C., *Nature*, 228 (1970), 1297.
- [42] Lyne, A. G., *M. N. R. A. S.*, 153 (1971), 27.
- [43] Morris, D., Sieber, W., Ferguson, D. C. and Bartel, N., *A. Ap.*, 84 (1980), 260.
- [44] Morris, D., Graham, D. A. and Bartel, N., *M. N. R. A. S.*, 194 (1981), 7.
- [45] Ferguson, D. C. et al., *A. Ap.*, 94 (1981), L6.
- [46] Wright, G. A. E. and Fowler, L. A., *A. Ap.*, 101 (1981), 356.
- [47] Nowakowski, L. A. and Hankins, T. H., (1985), preprint.
- [48] Wright, G. A. E. and Fowler, L. A., *A. Ap.*, 160 (1986), 402.
- [49] Suleimanova, S. A. and Izvekova, V. A., *Sov. Astron.*, 27 (1984), 32.
- [50] Suleimanova, S. A., Volodin, Yu. V. and Malofeev, V. M., *Sov. Astron.*, 27 (1983), 322.
- [51] Stinebring, D. R., et al., *Ap. J. Suppl.*, 55 (1984), 247.
- [52] Backer, D. C. and Rankin, J. M., *Ap. J. Suppl.*, 41 (1980), 143.
- [53] Backer, D. C., *J. Ap. A.*, 5 (1984), 187.
- [54] van den Heuvel, E. P. J., *J. Ap. A.*, 5 (1984), 209.
- [55] Blandford, R. D. and DeCampli, W. M., IAU Symposium, No. 95, p.371, ed. by W. Sieber and R. Wielebinski, (1981).
- [56] van den Heuvel, E. P. J., IAU Symposium, No. 95, p.379, ed. by W. Sieber and R. Wielebinski, (1981).
- [57] Hulse, R. A. and Taylor, J. H., *Ap. J. Letters*, 195 (1975), L51.
- [58] Taylor, J. H., IAU Symposium, No. 95, p.361, ed. by W. Sieber and R. Wielebinski, (1981).
- [59] Taylor, J. H., IAU Symposium, No. 125, (1986), in press.
- [60] Smarr, L. L. and Blandford, R. D., *Ap. J.*, 207 (1976), 574.

- [64] Srinivasan, G. and van den Heuvel, E. P. J., *A. Ap.*, 108 (1982), 143.
 [62] Alpar, M. A., Cheng, A. F., Ruderman, M. A. and Shaham, J., *Nature*, 300 (1982), 143.
 [63] Amnuel, P. R. and Guseinov, O. H., *Ap. J. Suppl.*, 41 (1979), 327.
 [64] Amneul, P. R. et al., *Ap. S. S.*, 82 (1982), 3.
 [65] Blair, D. G. and Candy, B. N., *M. N. R. A. S.*, 212 (1985), 219.
 [66] White, N. E., Swank, J. H. and Holt, S. S., *Ap. J.*, 270 (1983), 711.
 [67] van den Heuvel, E. P. J. and Taam, R. E., *Nature*, 309 (1984), 235.
 [68] 夏晓阳, 邓祖淦, (1987), 待发表.
 [69] van der Klis, M. et al., *Nature*, 316 (1985), 225.
 [70] Lamb, F. K., Shibasaki, N., Alpar, M. A. and Shaham, J., *Nature*, 317 (1985), 681.
 [71] Shaham, J., IAU Symposium, No. 125, (1986), in press.
 [72] Hasinger, G., MPE preprint 61, (1986),

(责任编辑 刘金铭)

Some Progresses in the Observational Studies of Pulsars*

Xia Xiaoyang

(Department of Physics, Tianjin Normal University)

Deng Zupan

(Dept. of Phys., Graduate School, Univ. of Sci. and Tech. of China)

Abstract

Recent years, the careful and systematical analyses of the observational data about pulsars and the evidences provided from the observations of millisecond pulsars, radio and X-ray binary pulsars have posed more and more problems on the formation, evolution and radiation mechanisms of pulsars. In this review, the authors have given a brief introduction on the observational evidences related to these problems. Following problems have been involved in this work: a) Are there two pulsar types which are different from each other in all aspects of structures, formation and evolutions? b) Are there two or more radiation mechanisms working on one pulsar at the same time? c) The two perpendicular polarization modes in the radio radiation of pulsars and the relative problems; and, d) Some new phenomena discovered from the observations of millisecond pulsars, radio and X-ray binary pulsars have also been introduced briefly.

* Project supported by National Fund of Natural Sciences.