

毫秒脉冲星

李启斌

(中国科学院北京天文台)

提 要

毫秒脉冲星 PSR1937+214 的发现是近几年天体物理学中的一次重要事件。本文介绍了该星的发现史和主要观测事实。该星自转周期为 1.557806449023 毫秒,是转动最快的脉冲星。周期变率为 1.24×10^{-19} 秒/秒。在它的周围没有明亮的超新星遗迹。这颗脉冲星的引人注目的特征是磁场低和在 $P-\dot{P}$ 图上位置独特。文中还评述了解释这颗脉冲星的四种模型:(1)起源于吸积X射线双星的中子星, 通过从伴星吸积物质而加速到毫秒周期;(2) Michel 和 Dessler 提出的盘模型脉冲星中的普通一员;(3)双中子星并合体;(4)辐射年龄小的脉冲星。最后一种可能性是本文作者提出的。根据具有相似特征的脉冲星倾向于分布在同一条 $\dot{P}P^{-5}$ 等值线及可按等值线排成演化序列的事实, 作者按光速圆柱磁能衰减来定义脉冲星辐射年龄 $t: B/8\pi \propto \dot{P}P^{-5} = C_0 \exp(-2t/\tau)$ (τ 为磁能衰减时标), 并据此认为 PSR1937+214 和蟹状星云脉冲星、船帆座脉冲星都是辐射年轻的。

1982年11月, D. C. Backer^[1,2](加里福尼亚大学)等人, 在狐狸座发现了一颗周期为毫秒级的脉冲星: PSR1937+214。这颗脉冲星是迄今所观测到的脉冲星中转动最快的一颗, 它比以前所知转动最快的脉冲星——蟹状星云中心脉冲星还要快20倍。它的转动之快(每秒642周), 已经接近自转稳定性(离心力与引力平衡)的上限。这说明它是一颗不同凡响的脉冲星。不仅如此, 在它的性质和起源上还出现了严重的矛盾。按照一般理论, 根据它的周期之短, 可以认为它是一颗非常年轻的脉冲星。然而, 在它的周围并没有年轻脉冲星常常伴随着的、像蟹状星云似的明亮星云。它的周期变率很低, 又似乎表明它是一颗相当老的脉冲星。显然, 这些特点及其所产生的问题, 必然导致对脉冲星更深刻的理解, 因而引起了学术界强烈的兴趣和热烈的讨论。这里, 我们简单介绍它的发现经过, 主要观测特征以及关于它的性质和起源问题研究的现状。

一、发 现

这颗脉冲星的发现不是偶然所得, 而是一系列有目的地追求的结果。

这颗脉冲星早已作为一个射电源 4C21.53 记录在4C射电源表中。它有两个观测特性引起了 Backer 的注意。第一个特性是致密性。在1972年, 当它通过太阳风的时候, 出现了很强的

闪烁,表明它的角直径小于1角秒。而它的位置,比较接近银心方向,如果它是河外源,就要穿过整个银盘,在这样长的途程中,星际散射应使之变得相当弥漫,不会有闪烁出现。由此可推知它必定是一个银河系内的致密源。第二个特性是陡谱。1979年Richard的观测表明,它在分米波段的频谱极陡,谱指数为 $2(S \propto \nu^{-2})$ 。而陡谱是脉冲星特有的性质。此外,还观测到它和一个直径约 $60''$ 的平谱展源相重合,平谱展源乃是超新星遗迹的特点。Backer根据以上特点断言:4C21.53是一颗脉冲星,平谱展源是它周围的星云。由色散量测定得知,它的距离为2kpc左右,由星际介质引起的信号时延尚不足以将其脉冲信号抹掉。考虑到10毫秒以上的脉冲星巡视工作已经做得相当好,Backer认为4C21.53是一颗周期小于10毫秒的脉冲星,而且是可以观测到的。Arecibo天文台和Owens谷射电天文台应Backer之请求进行了搜寻,但是没有找到。

1981年,Backer请M. Goss对该源进行频谱观测。Goss用荷兰Westerbork天文台的仪器观测证实该源是陡谱源,但平谱源同陡谱源并不重合。事实上,4C21.53是四源的重合,东源(4C21.53E)是一对相距 $0''.8$ 的致密双源。而Westerbork的综合孔径观测表明,西源(4C2

1.53)也包含两个源,南源为致密源,北源为展源(图1)。1982年9月Goss又应Backer要求作偏振观测,得到该源线偏振度为30%,再一次支持脉冲星猜想。

1982年9月,Backer的研究生S. Kul-karni去Arecibo天文台用该台305米射电望远镜进行观测。终于在9月25日,在致密源的位置上记录到在傅里叶谱密度的642赫及谐频上有峰值。在七分钟观测中,有三分分钟出现如上信号。同年11月份,Backer使用了更好的仪器,在Arecibo天文台再次进行了观测,观测了七夜,证实了周期为1.558毫秒的脉冲信号的存在,从而完成了毫秒脉冲星的发现。确证为脉冲星以后,4C21.53命名为PSR1937+214。

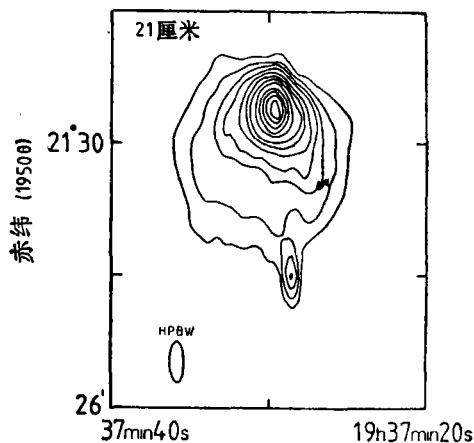


图 1

脉冲星的发现。确证为脉冲星以后,4C21.53命名为PSR1937+214。

二、主要观测特性

据Backer^[3]等在Arecibo天文台和M. Ashworth等^[4]在Jodrell Bank天文台观测的结果,脉冲星PSR1937+214的主要参数如下面的表。

关于这些参数,两家给出的数据在相当高精度上是一致的。

这颗脉冲星的脉冲波形是相当规则的,主脉冲和中介脉冲强度相近,位相差约 180° ,脉冲成分的半强宽度约125微秒,约相当于脉冲周期的8%(图2)。

在表中列出的 \dot{P} 值是1983年1月给出的修正值。在刚刚发现这颗脉冲星的时候,即1982年11月份,Backer在头两次报导^[1,5]中给出的 \dot{P} 值偏高得多,11月12日报导 $\dot{P}=3 \times 10^{-14}$,11

	Backer 等	Ashworth 等
$\alpha_{1950.0}$	$19^{\text{h}}37^{\text{m}}28^{\text{s}}.720 \pm 0''.013$	$19^{\text{h}}37^{\text{m}}28^{\text{s}}.72 \pm 0''.03$
$\delta_{1950.0}$	$21^{\circ}28'01''.3 \pm 0''.2$	$21^{\circ}28'01''.3 \pm 0''.5$
DM	71.20 ± 0.03 电子·秒差距/厘米 ³	70.5 ± 0.3 电子·秒差距/厘米 ³
$P(\text{ms})$	1.557806449023 ± 110	1.557806449059 ± 339
\dot{P}	$(1.24 \pm 0.25) \times 10^{-19} \text{ss}^{-1}$	$(1.67 \pm 0.71) \times 10^{-19} \text{ss}^{-1}$
历元	2445303.263	24455306.5

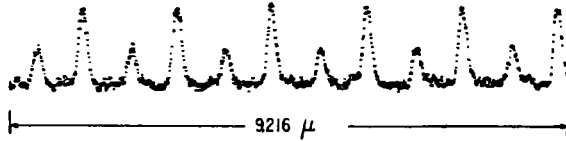


图2 PSR1937+214的脉冲轮廓

月29日报导 $\dot{P} = 10^{-15}$ 。如果自转能量损失率如此之高,应该期望探测到它的引力波辐射。这也是这颗星引起关注的因素之一。J. Hough 等人^[6]用英国格拉斯哥大学的引力波探测器在该脉冲星自转的二倍频(1284Hz)上进行了观测,结果没有发现强引力辐射,给出引力波振幅的上限为 $(0.8 \pm 1.5) \times 10^{-20}$ 。

前面已经指出,脉冲星附近的平谱展源同它相距甚远。在脉冲星周围并没有强同步辐射的星云区,也没有光学星云,说明它没有年轻脉冲星应该有的超新星残骸壳。

S. Djorgovski^[7]用里克天文台一米望远镜装置 CCD 观测的结果进行了光学证认,在该脉冲星位置上找到一颗 $m_r = 20 \pm 1$ 的红星(图3左)。然而在帕洛玛巡天图红片上却没有这颗星(图3右)。Djorgovski 观测的有效波长为 6500 \AA , 带宽 $\sim 1400 \text{ \AA}$, 与帕洛玛红片波段相近,而且,里克 CCD 图象上离脉冲星位置不远的另一颗 20 等星,在帕洛玛底片上却显然可见(图中 C 星的上方)。Djorgovski 据此提出了该星在近二十来年中视亮度增加了一等以上的可能性。Lebofsky 和 Riche^[8]用多镜面望远镜观测到该星的 CO 指数为 0.19 ± 0.03 , 可能在 2.3μ 处有

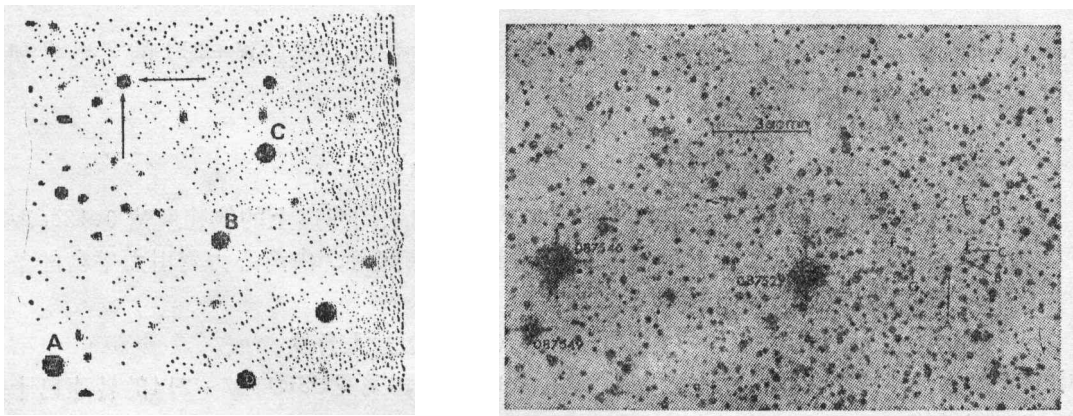


图3 左图为 Djorgovski 得到的 CCD 图象,箭头所指的是 PSR1937+214 的光学对应体;右图为帕洛玛巡天照片,符号“+”标示脉冲星应有的位置。

CO 带, 断定该星是一颗红化 8 等的 K 巨星。他们认为这颗星不可能是脉冲星的光学对应体。

1983 年 4 月, Manchester 等^[9]用英澳望远镜 (AAT) 在 Djorgovski 给出的候选星位置上观测到与 PSR1987 + 214 射电脉冲频率相同的光脉冲, 其红星等为 $R=19.4$ 。

三、几个初步推论

从不到一年的观测事实, 可以对这颗脉冲星的基本特性作一些简单的推断, 作为进一步研究的出发点。

1. 视年龄 按照转动磁偶极子的损失能量机制, 能量损失率应与自转速度的四次方成正比, 相应地, 自转角速度变率应与角速度立方成正比 ($\dot{\Omega} = -k\Omega^3$)。按此机制, 脉冲星的年龄为 $T = \frac{1}{2}P/\dot{P}$, 这是在最简化情况下得出的结果, 同实际年龄可能有很大的出入, 因此 T 值叫做视年龄。由 PSR1937 + 214 的 P 和 \dot{P} 的实测值可知它的视年龄为

$$T = \frac{1}{2} \frac{1.58 \times 10^{-3}}{1.24 \times 10^{-19}} \text{ 秒} = 2 \times 10^8 \text{ 年}$$

据此, PSR1937 + 214 应该是一颗相当老的脉冲星。

2. 磁场 1982 年 11 月底到 12 月初, V. Radhakrishnan 和 G. Srinivasan^[10] 就根据这颗脉冲星没有明亮的星云环绕等事实提出该星是一颗低磁场脉冲星 ($B < 4 \times 10^8 G$), 并预言它的周期变率应该比 Backer 当时给出的实测值 $\dot{P} = \times 10^{-14}$ 低 5 个量级, 即 $\dot{P} \sim 10^{-19}$; 几乎同时, Alpar 等^[11] 也从起源方面论证该星磁场应该很低 ($B = 2.9 \times 10^8 G$), 预言周期变率为 $\dot{P} = 5.5 \times 10^{-20}$ 。一个月后, Ashworth^[4] 等和 Backer 等^[3] 给出的 \dot{P} 修正值均为 10^{-19} 量级, 证实了上述两者的预言。可见, PSR1937 + 214 的确是一颗比一般脉冲星磁场 ($B \sim 10^{12} G$) 低得多的脉冲星。

事实上, 按照自转磁偶极子机制, 能量损失率为

$$\frac{dw}{dt} = I\Omega\dot{\Omega} = (B_0 r^3)^2 \Omega^4 C^{-3}$$

取中子星的转动惯量 $I = 10^{45}$ 克厘米², 半径 $r = 10$ 公里, 代入 PSR1937 + 214 的实测 Ω 和 $\dot{\Omega}$ 值, 得到它的表面磁场强度为

$$B_0 = 4 \times 10^8 G$$

关于这颗脉冲星的低磁场这一结论, 已为大家所公认。

3. 稳定性与扁率 PSR1937 + 214 的转速极快, 以致它的赤道上的线速度达 $0.13c$ (取半径 $r = 10 \text{ km}$)。这样的转速已接近破坏其自转稳定性, 事实上, 由离心力与引力平衡的条件 $\Omega^2 r = GM/r^2$ 可推得最短的自转周期为

$$P_{\min} = (3\pi)^{1/2} (G\rho)^{-1/2} = (1.4/P_{14})^{1/2} \text{ 毫秒}$$

若中子星密度为 $\rho = 2 \times 10^{14}$ 克/厘米³, 则 $P_{\min} = 0.8$ 毫秒, 可见 PSR1937 + 214 的转速已十分接近这一临界值。

快速自转的另一直接后果是它的外形具有较大的偏心率。平衡状态下的旋转椭球体的偏

心率由转动能同引力能之比决定

$$e = I\Omega^2 \left(\frac{GM^2}{R} \right)^{-1}$$

同前面一样取中子星的 I, M, R 典型值和 PSR1937 + 214 的实测 Ω 值, 可得 $e = 0.06$ 。对于中子星来说, 这是十分大的偏心率值, 这个 e 值意味着它的外壳中贮藏着非常大的势能, 有可能导致星震事件发生。高偏心率对中子星内部结构也会有很大的影响。R. Cowsik 等人^[12] 研究了由于它的偏心率高、惯性矩短和引力能增加, 从而使得它的演化同标准模型有所不同, 并且由动力学稳定性给出了该中子星平均密度的下限为 $\bar{\rho} > 1.7 \times 10^{14}$ 克/厘米³。

4. 守时性 新发现的这颗脉冲星的自转周期的稳定度高达 0^{-19} 量级, 这是到目前为止所知道的宇宙中最稳定的周期性。如果它能保持这样的稳定度, 不出现蟹状星云中心脉冲星和 Vela 脉冲星那样的跃变现象, 就可以作为最准确的钟, 其精度比最好的原子钟还要高 5 个量级。采用它作为时间和频率的基准, 可使天体测量和物理实验达到更高的精度。脉冲到达时间的拟合可直接用于改进太阳系的距离和质量的测定。

四、性质与起源

在刚刚发现的时候报导的 $\dot{P} = 3 \times 10^{-14}$, 意味着这颗脉冲星年龄仅 750 年左右, 然而在它的位置上并没有出现过超新星, 也没有明亮的星云。这种奇怪的情形引起了关于它的性质与起源的讨论。现在虽然已将 \dot{P} 值修正到 10^{-19} , 视年龄已大大加长, 但这颗脉冲星在 $P-\dot{P}$ 图(见图 4) 上的独特位置仍然表明它的性质和起源有很大的特殊性, 需要离开通行的标准模型来考虑。这里介绍现在已提出的几种观点。

1. 有双星吸积史的中子星 Radhakrishnan 和 Srinivasan^[10] 在 PSR1937 + 214 发现后不到一个月内, 就根据快速自转和没有超新星遗迹环绕等事实提出了这种看法, 认为该星原来是一个低磁场吸积 X 射线双星系统, 由于吸积, 自转加快到毫秒级, 第二次爆发后成为单星。几乎同时, Alpar 等^[11] 提出了类似的看法。他们也认为该星是双星中的低磁场中子星, 从伴星吸积物质, 形成吸积盘, 通过盘中物质向星的表面转移而把角动量带给中子星使之转动加快达到毫秒级。吸积停止后自转渐渐减慢达到现今状态。他们提出了两种具体的吸积图象, 并计算了达到平衡周期的吸积时间和吸积量。一种情形是伴星为低质量星, 吸积率为 $10^{-9} \sim 10^{-10} M_{\odot}/\text{年}$, 经过 $10^9 \sim 10^{10}$ 年的吸积, $10^{-1} M_{\odot}$ 的物质转移到中子星上。另一种情形是伴星为高质量星, 物质交流很快, 只要 10^4 年。他们认为 PSR1937 + 214 同其他几颗在 $P-\dot{P}$ 图中偏左下方的双星 PSR1913 + 16, 0820 + 02, 0655 + 64 以及单星 PSR1952 + 29 和 1804 + 08 共同属于一种新类型的脉冲星——吸积加快的脉冲星。

后来, Fabian 等^[13], Arons^[14] 的讨论也都是这一类的看法。

这种吸积加速机制曾经成功地解释了 X 射线脉冲双星的观测事实, 转用到这里是容易被理解的。这种观点的一个成功的事实是: 在报导出来的 \dot{P} 观测值还是 10^{-14} 的时候, 他们就预言了 \dot{P} 值为 10^{-19} 量级, 两个月后就被观测所证实了。

这种看法也有很大的问题, 我们将在介绍别的模型时指出。

2. 带盘的中子星 Michel 和 Dessler^[15] 在最近几年中曾经对标准模型持反对态度, 他们认为标准模型没有处理好共转磁层排出的正负电子平衡问题, 为此, 他们提出了带盘的中子星模型, 认为所有的脉冲星都有盘。根据这种模型, 他们认为 PSR1937 + 214 并不特殊, 只是磁场比大多数脉冲星弱 100 倍的正常脉冲星, 像这样的快脉冲星不会是很稀有的, 不是什么新类型, 也不需作特殊的解释。按照这种模型, 脉冲星的平均射电光度为

$$L = 10^{30} (\dot{P}/10^{-18}) (10/P)^{8/3} \text{ 尔格/秒}$$

对于 PSR1937 + 214, 射电光度值应为 10^{31} 尔格/秒, 同观测值为 3×10^{30} 尔格/秒是一致的。另外, 按照盘模型 PSR1937 + 214 不会有强的 X 射线和 γ 射线辐射, 这也是同观测相符的。

3. 双中子星并合体 Henrichs 和 van den Heuvel^[16] 首先指出了吸积加速模型的困难: 如果伴星是低质量, 则这颗伴星还应存在, 但是观测表明 PSR1937 + 214 并没有伴星; 如果伴星是大质量星, 它又不可能存在足够长的时间使吸积物质达到所需的 $0.1M_{\odot}$ 以上。演化计算表明, $M \geq 15M_{\odot}$ 的伴星生存期不超过 10^7 年, 为了加速中子星自转而获得足够的吸积物, 要求在伴星整个生存期间按艾丁顿光度的吸积率吸积。然而, 对于这样高质量的伴星, 只能在不到 10^5 年的时间造成这样的吸积率。他们还指出, PSR1937 + 214 的自转能比 PSR1913 + 16 高三个量级, 比 PSR0655 + 64 高四个量级, 说明它们没有共同的演化史。

鉴于吸积加速模型的困难, Henrichs 和 van den Heuvel 提出了另一种模型。在他们的模型中, PSR1937 + 214 是一对相距很近的中子星合并而成的。这种模型的原型是近距双中子星 PSR1913 + 16, 由两颗质量约 $1.4M_{\odot}$ 的中子星构成, 由于引力辐射, 其轨道角动量逐渐减小, 两星渐渐靠近, 在大约 3.1×10^8 年之内不可避免地要完全靠在一起成为一颗中子星。合并时轨道周期为 ~ 1 毫秒, 除合并中一部分角动量转化为引力波爆发辐射出去外, 轨道角动量转化为自转角动量, 遂达到现在的 1.5 毫秒周期。因为在合并前经历了 $10^7 \sim 10^8$ 年, 在这期间, 磁场由 $10^{12}G$ 量级衰减到 10^8G 量级 (假定磁场衰减时标为 5×10^6 年)。

4. 辐射年龄小的脉冲星 吸积加速模型除了前面指出的困难以外, 观测到 PSR1937 + 214 存在光学脉冲的事实又使得它同其他几颗 \dot{P} 值低的脉冲星归为一类的观点出现问题。事实上这些脉冲星都没有光脉冲。有光脉冲是一个重要的标志, 现在只观测到蟹状星云中心脉冲星和船帆座脉冲星有光脉冲。注意到这些事实, 本文作者认为^[17] PSR1937 + 214 同蟹状星云中心脉冲星和船帆座脉冲星是同一类型的脉冲星。这种看法是以光速圆柱模型为基础的。按照光速圆柱模型, 脉冲星的辐射起源于光速圆柱附近脉冲的性质决定于光速圆柱的磁能

$$\frac{B^2}{8\pi} = \frac{\pi^2 I}{C^3} \dot{P} P^{-5}$$

以下事实支持这种模型:

- (1) 脉冲截止线同 $\dot{P} P^{-5} = C$ 一致^[18];
- (2) 具有脉冲漂移行为和脉冲亏缺现象的脉冲星倾向于沿 $\dot{P} P^{-5}$ 等值线分布, 靠近截止线^[18, 19] (图 4 中表示为小圆圈);
- (3) $\dot{P} P^{-5}$ 值高的脉冲星的自转能量损失同射电辐射能比值高, PSR1937 + 214 的这一比值为 10^6 , 与蟹状星云中心脉冲星和船帆座脉冲星的这一比值 10^7 相近, 而靠近截止线, 这一比值为 $10^{[20]}$;

(4) PSR1937 + 214 同蟹状星云中心脉冲星、船帆座脉冲星是仅有的有光学脉冲的脉冲星,三者分布在同一条 B^2 等值线附近(图 4)。

由此可见,具有相同辐射性质的脉冲星倾向于沿同一条 B^2 等值线分布。不仅如此,按照光速圆柱磁能的大小,即 $\dot{P}P^{-5}$ 等值线从左向右,各种辐射特征的脉冲星构成一个时间演化序列:

(1) 最左边: PSR1937 + 214, 蟹状星云中心脉冲星, 船帆座脉冲星。磁能强。自转能量损失大, 按一定效率转化为射电辐射外尚有丰富余能, 有光学辐射, 这些脉冲星是辐射初期的脉冲星, 在它们的左边, 没有脉冲星出现。

(2) 一般脉冲星。

(3) 靠近截止线, 供能不足, 脉冲星衰老, 辐射间竭性地出现。

(4) 截止线, 磁能很低, 辐射完全停止, 右边再也没有脉冲星出现。

根据这种时间演化序列性, 可把光速圆柱磁能作为脉冲星辐射阶段的标志。因此我们从光速圆柱磁能的衰减来定义脉冲星的辐射年龄 t :

$$\dot{P}P^{-5} = C_0 \exp(-2t/\tau)$$

τ 约为 10^6 年量级。

在 PSR1937 + 214、0531 + 21、0833 - 45 所相应的等辐射年龄线左边没有脉冲星出现, 而 PSR0531 + 21(蟹状星云中心脉冲星) 又是只有 1000 年历史的极年轻脉冲星, 从而可以认为这条线是辐射的起始线, 这三颗星同属于辐射年龄小的脉冲星。

是否会发现在起始线左边的脉冲星, 对于上述看法是一个检验。最近报道^[21]又发现了一颗周期为毫秒级的脉冲星 1953 + 29, 周期 $P = 6.13369 \pm 0.000019$ 毫秒, $\dot{P} < 0.58 \times 10^{-16}$ 秒秒⁻¹, $DM = 104.5 \pm 0.3$, 是一个圆轨道双星, 轨道周期为 120 ± 4 天。在 $P-\dot{P}$ 图上位置接近起始线, 若 \dot{P} 值进一步测定后能肯定这一点, 则应属辐射年龄小的脉冲星, 应期望有光脉冲出现。它的进一步观测将对辐射年龄假说是一个检验, 对其他模型也同样是一个检验。当然, 为了检验各种观点, 我们还期望发现更多的毫秒脉冲星。

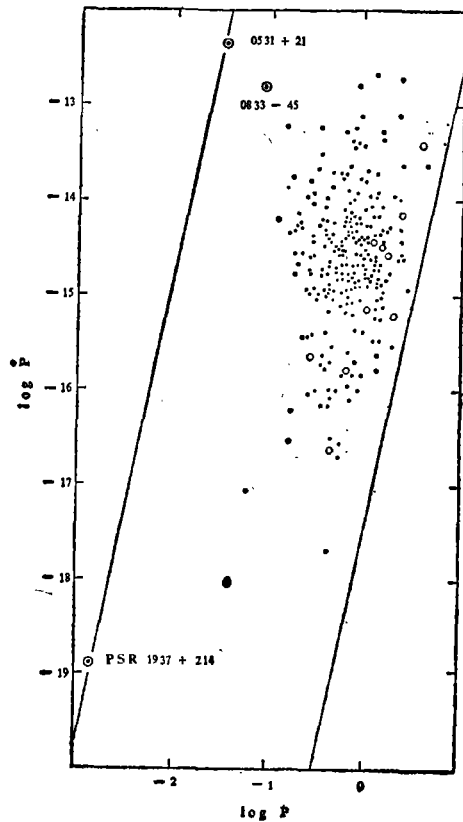


图 4

参 考 文 献

- [1] Backer D. C., Kulkarni, S., Heiles, C., Davis, M. & Goss, M., *IAU Circ. No.3473* (1982);
 [2] Backer, D., Kulkarni, S., Heiles, C., Davis, M. & Goss, M., *Nature*, 300 (1982), 615.
 [3] Backer, D., Kulkarni, S., & Taylor, J., *Nature*, 301 (1983), 314.

- [4] Ashworth, M., Lyne, A. & Smith, F., *Nature*, **301** (1983), 313.
 [5] Backer, D., Kulkarni, S. & Heiles, C., *IAU Circ.*, No.3746 (1982).
 [6] Hough, J., Drever, R., Ward, H., Munley, A., Newton, G., Meers, B., Hoggan, S. & Kerr, G., *Nature*, **303** (1983), 216.
 [7] Djorgovski, S., *Nature*, **300** (1982), 618.
 [8] Lebofsky, & Riech, G., *IAU Circ.* No.3809 (1983).
 [9] Manchester, R., Peterson, B. & Wallace, P., *IAU Circ.* No. 3795 (1983).
 [10] Radhakrishnan, V. & Srinivasan, G., *Current Science*, **51** (1982), No.23, 1096
 [11] Alpar, M., Cheng, A., Ruderman, M. & Shaham, J., *Nature*, **300** (1982), 728.
 [12] Cowsik, R., Ghosh, P. & Melvin, M., *Nature*, **303** (1983), 308.
 [13] Fabian, A., Pringle, J., Verbunt, F. & Wade, R., *Nature*, **301** (1983), 222.
 [14] Arons, J., *Nature*, **302** (1983), 301.
 [15] Michel, F. & Dessler, A., *Nature*, **303** (1983), 48.
 [16] Henrichs, H. & van den Heuvel, P., *Nature*, **303** (1983), 213.
 [17] 李启斌, 在理论天体物理学学术讨论会上的报告, 乌鲁木齐, 1983年3月.
 [18] Smith, F., 脉冲星(中译本), (1982).
 [19] 汪珍如, 初一, 天文学报, **22**(1981), No.1, 69.
 [20] 吴鑫基, 杨海寿, 乔国俊, 邓国祥, 天文学报, **20**(1979), No.3, 224.
 [21] Boriakoff, V., Buccheri, R. & Fauci, F., *IAU Circ.*, No.3806 (1983).

Millisecond Pulsar

Li Qi-bin

(Beijing Observatory, Academia Sinica)

Abstract

The discovery of the millisecond pulsar PSR 1937 + 214 is one of the most important events in astrophysics in recent years. The history of discovery and main observational facts of this pulsar are described in this paper. The period P of the recently discovered ultrafast pulsar is 1.557806449023ms with a derivative \dot{P} of $1.24 \times 10^{-19} \text{ss}^{-1}$. No bright supernova remnant has been observed around this pulsar. The millisecond pulsar is remarkable for its low magnetic field and its isolated position in $P-\dot{P}$ diagram. Four types of the models for the millisecond pulsar are reviewed. (1) a recycled neutron star previously in an accreting X-ray binary system which accretes for a long time from a surrounding keplerian disk and spun up to millisecond period. (2) a common pulsar in terms of the disk model developed by Michel and Dessler. (3) a coalescence of a close neutron-star binary. (4) a radiatively young pulsar. The last possibility is proposed by the author. Based on the facts that pulsars with similar characteristics are distributed along a equivalent line of $B^2/2\pi \propto \dot{P}P^5$ and that an order of evolution is shown for pulsars in various lines, the author defines a radiative age t according to the decay of the magnetic energy at the light cylinder $B^2/8\pi \propto \dot{P}P^5 = C_0 \exp(-2t/\tau)$, where τ is the time scale for the decay of magnetic energy. PSR 1937 + 214 is regarded as radiatively young as Crab pulsar and Vela pulsar.