

毫秒脉冲星偏振轮廓稳定性的研究*

李杰 游霄鹏[†]

(西南大学物理科学与技术学院 重庆 400715)

摘要 相对于正常脉冲星, 毫秒脉冲星是一类自转速度更快的中子星, 其发出的脉冲信号具有极高的稳定性. 脉冲星的偏振轮廓的稳定性是研究脉冲星辐射机制和星际介质性质的重要问题之一. 利用澳大利亚Parkes 64 m望远镜的观测数据, 对3颗毫秒脉冲星PSR J1022+1001、PSR J1730-2304和PSR J2129-5721的偏振轮廓稳定性进行了研究. 通过对观测数据的分析, 发现其偏振轮廓在不同时间存在着细小的变化. 分析轮廓变化的原因, 提出了可能的解释, 包括星际介质的影响、脉冲星本身内禀属性的不稳定性等.

关键词 脉冲星: 普通, 方法: 数据分析, 星际介质: 普通

中图分类号: P145; **文献标识码**: A

1 引言

脉冲星辐射轮廓的研究主要分为单脉冲轮廓和平均脉冲轮廓研究两类. 前人的研究表明, 单个脉冲的流量密度、形状以及偏振等特性都是不稳定的^[1]. Backer等^[2]发现某些脉冲星的单个脉冲在一些周期中消失不见之后又恢复到正常的情况, 这种现象称为脉冲消零. 研究表明, 在存在消零现象的脉冲星中, 年老的正常脉冲星的消零情况比年轻脉冲星更显著^[3]. 当把多个单脉冲按周期叠加后, 形成平均脉冲轮廓, 通常情况下, 平均脉冲轮廓非常稳定^[4-5]. 但前人的研究还是发现一些脉冲星的平均脉冲轮廓出现不稳定的现象, 比如模式变换^[6]、消零现象以及之后出现的相位变化^[2]等.

相对于正常脉冲星, 毫秒脉冲星由于其轮廓更加稳定, 被作为天然时钟来研究高精度测时及其相关课题, 如探测引力波^[7]等. 但有些毫秒脉冲星的累积轮廓也呈现出了明显的不稳定现象. 比如Brook等^[8]对38颗毫秒脉冲星的脉冲轮廓进行分析, 发现PSR J1713+0747、PSR B1937+21和PSR

J2145-0750存在明显的轮廓变化, 其中PSR B1937+21在长时间尺度上存在轮廓变化. 模式变换通常发生在长周期脉冲星中, Mahajan等^[9]发现毫秒脉冲星PSR B1957+20的脉冲轮廓也有模式变换的现象, 并且两种模式之间切换的时间仅为1.7 s. Backer等^[10]对PSR B1821-24进行了长时间的观测, 发现约有25%的脉冲轮廓发生了明显变化. Kramer等^[11]发现毫秒脉冲星PSR J1022+1001的轮廓不稳定性主要体现在两个峰值之间相对强度的变化.

引起脉冲星轮廓变化的因素很多. Shannon等^[12]对PSR J1713+0747进行了不同时间、不同后端处理器的观测研究, 他们认为轮廓变化主要是由自身内禀属性引起的, 而非仪器效应或星际介质散射. Ramachandran等^[13]对PSR J1022+1001的轮廓不稳定性进行了多频观测研究, 认为其轮廓变化的原因是磁层回流. 平均脉冲轮廓是在一定的带宽下消色散累积而成, 因此轮廓随不同的观测频率而产生变化^[14]. Dai等^[15]对24颗毫秒脉冲星的脉

2023-12-29收到原稿, 2024-03-02收到修改稿

*国家自然科学基金项目(12133004)资助

[†]yxp0910@swu.edu.cn

冲轮廓进行分析,发现脉冲轮廓的宽度以及各成分之间的间隔随频率有着复杂的变化.由于星际介质存在闪烁作用,星际闪烁会造成脉冲星辐射强度的变化. Cole等^[16]首次对脉冲星长期的辐射强度变化进行了研究,他们发现脉冲星的辐射强度变化存在不同时间尺度的变化,并且证明了这种变化是由星际介质的不规则衍射引起的. Wang等^[17]对一批脉冲星流量密度和色散量的关系进行了研究,发现它们之间呈负相关性. Kramer等^[18]通过多频段同时观测PSR B0329+54和PSR B1133+16,分析星际闪烁对单个脉冲强度的影响,发现不同频率上观测到的单个脉冲的流量密度发生了变化. Basu等^[19]从500颗脉冲星中检测到7颗脉冲星存在长期的轮廓演变,通过模拟发现,观测到的轮廓变化可能源于随机的单脉冲形状变化,并且还发现这种长期的轮廓变化通常与线偏振度有关. Fisher等^[20]研究了磁星Swift J1818-1607的总强度形状变化,观测到3种模式变化,发现3种模式之间切换的时间与自转速率的调制变化幅度相吻合. Ables等^[21]对PSR B0833-45在5个波段的脉冲轮廓进行分析,发现平均脉冲轮廓展宽的现象,这种现象是由于星际介质色散和散射造成的. Wang等^[22]通过分析500 m口径球面射电望远镜(Five hundred meter Aperture Spherical radio Telescope, FAST)所观测到的190颗脉冲星的几何参数,发现线偏振、圆偏振以及脉冲轮廓的宽度具有不同的频率依赖性.

前人的研究主要是研究脉冲总轮廓的变化,很少涉及偏振轮廓的稳定性研究. 本文主要研究了3颗毫秒脉冲星偏振轮廓的稳定性. 第2节介绍本文所用数据的来源以及数据的处理方法; 第3节分别展示了3颗毫秒脉冲星总强度轮廓、线偏振轮廓以及圆偏振轮廓的变化; 第4节用模拟的方法进行研究,分析了偏振轮廓产生不稳定性的原因; 第5节给出结论.

2 数据收集与处理

本文所用的数据来自澳大利亚Parkes 64 m射电望远镜的观测,挑选数据的原则为偏振轮廓较强,且受星际闪烁影响较大的脉冲星,最终挑选

了3颗毫秒脉冲星,分别是PSR J1022+1001、PSR J1730-2304和PSR J2129-5721. 这些数据的观测时间为2008年8月到2015年4月,每次观测的持续时间是64 min,子积分时间为1 min,每次观测之前都会有2 min的校准源信号观测. 为了消除由于不同后端处理器的影响,只选择了Parkes数字滤波器系统(Parkes Digital Filter Banks 4, PDFB4). 这3颗毫秒脉冲星的观测中心频率都为1369 MHz,带宽为256 MHz, PSR J1022+1001、PSR J1730-2304和PSR J2129-5721的观测通道数分别为2048、1024、512.

PSRCHIVE是专门用于处理脉冲星数据的软件,其提供了丰富的脉冲星数据处理功能模块和可视化工具,本文利用PSRCHIVE对观测数据进行后期处理^[23]. 由于受到窄带和脉冲射频干扰的影响,某些通道上的原始数据可能受到干扰,因此首先需要去除掉这些坏通道的数据. 此外在频带边缘的数据带来的增益很低,因此需要去除掉频带边缘各5%的数据,这样原本256 MHz的带宽就只剩下230.4 MHz,然后使用校准文件进行偏振校准和流量密度校准,其中流量密度校准采用Hydra A的观测数据进行处理. 另外,由于线偏振较强,需要消除法拉第旋转等效应,使用国际参考电离层(International Reference Ionosphere, IRI)模型消除地球电离层对法拉第旋转的影响. 接着,将所有子积分时间的数据叠加,得到没有经过频率压缩的数据. 最后对所有通道的数据消色散进行叠加,得到每次观测的偏振轮廓. 将所有观测的偏振轮廓进行叠加,最终得到信噪比极高的总平均偏振轮廓.

3 偏振轮廓的不稳定性

图1展示了3颗毫秒脉冲星在1369 MHz频率下的总平均偏振轮廓以及偏振位置角分布. PSR J1022+1001的总强度轮廓呈现出明显的双峰结构,线偏振轮廓呈3峰状态. 对于PSR J1730-2304,其总强度轮廓和线偏振轮廓都有3个明显的峰结构. PSR J2129-5721的总强度轮廓的主脉冲后伴随着一个尾随峰,线偏振轮廓呈双峰结构. 3颗毫秒脉冲星的圆偏振轮廓都呈现出明显的双峰结构.

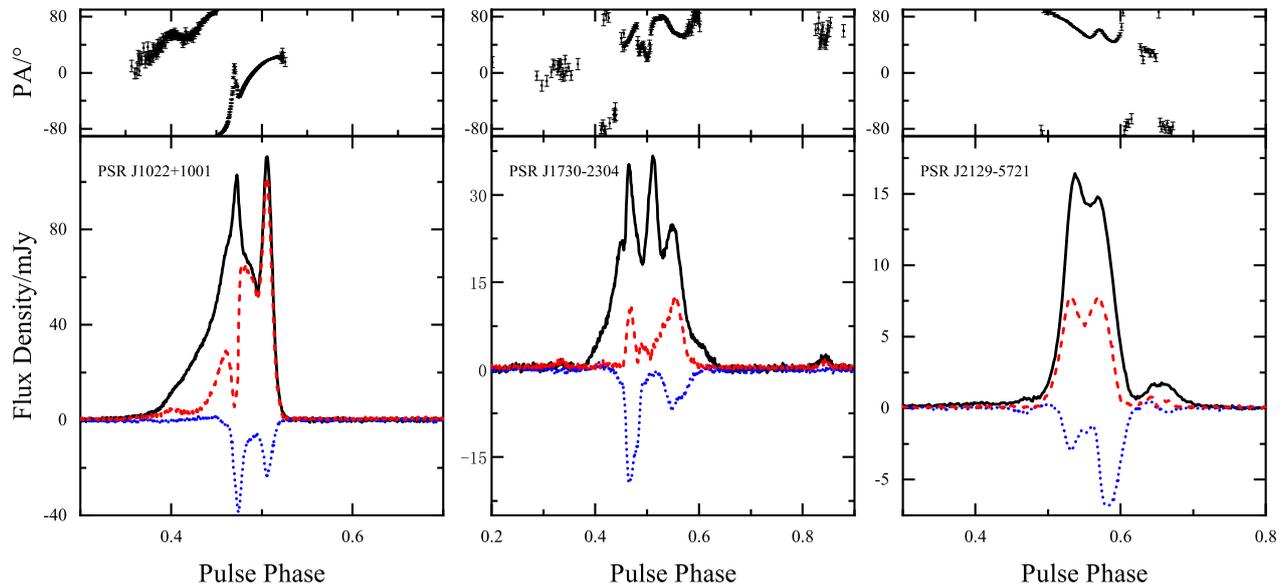


图 1 3颗毫秒脉冲星的总平均脉冲轮廓以及偏振位置角分布. 图的上半部分表示偏振位置角分布, 图下半部分中的黑色实线、蓝色虚线和红色点线分别表示总强度、线偏振轮廓以及圆偏振轮廓.

Fig. 1 Polarization profiles and the polarization position angles (PA) of the three millisecond pulsars. The upper part of the graph represents the polarization position angles distribution, and the black solid, blue dashed, and red dotted lines represent the total intensity, linear, and circular polarization, respectively.

图2展示了3颗毫秒脉冲星有着明显变化的两次偏振轮廓观测, 各偏振轮廓的强度都归一化到了最大峰值处. 从图中可以看出, 这3颗毫秒脉冲星的偏振轮廓都显示出一定的不稳定性. PSR J1022+1001的总强度轮廓以及圆偏振轮廓有着明显的变化, 这种变化主要体现在两个峰值之间相对强度的变化, 线偏振轮廓第2个峰以及第3个峰的强度也有明显的变化. PSR J1730-2304的线偏振轮廓和总强度轮廓的第1个峰有着较为明显的变化, 圆偏振轮廓在峰值处有着细微的变化. 对于PSR J2129-5721, 其总强度轮廓变化不大, 但是线偏振轮廓的第1个峰以及两峰之间的最低处变化明显, 其圆偏振轮廓的变化主要体现在第1个峰的流量密度变化.

图中呈现的3颗毫秒脉冲星的偏振轮廓变化明显高于噪声水平, 为了研究引起偏振轮廓变化的原因且尽量减少噪声对数据分析的影响, 挑选出信噪比相对较高的平均偏振轮廓进行研究, 其中PSR J1022+1001有59个、PSR J1730-2304有121个、PSR J2129-5721有136个.

4 偏振轮廓不稳定性的原因分析

脉冲星的偏振轮廓会随着观测频率的改变而发生变化. 3颗毫秒脉冲星的流量密度都会随着观测频率的增大而减小, 这是脉冲星自身的频谱性质所决定的. 但由于每个成分的谱指数差异显著, 使得各个成分之间流量密度的相对强度随频率的变化而不同, 从而导致轮廓随着观测频率而发生改变^[15]. 星际闪烁会使不同频段下偏振轮廓的流量密度发生改变, 而由于观测是在一定的带宽内进行, 因此造成了按频率叠加时所形成的平均偏振轮廓发生变化. 为了分析星际闪烁对毫秒脉冲星偏振轮廓稳定性的影响, 首先生成一个不受星际闪烁影响的标准偏振轮廓, 然后再根据每次观测的实际流量密度去模拟每次的观测.

4.1 生成标准轮廓

由于每次观测的偏振轮廓都会不同程度地受到星际闪烁的影响, 将3颗毫秒脉冲星每次观测的偏振轮廓进行叠加, 得到的总平均偏振轮廓能够有

效地消除星际闪烁的影响. 为了后续进行模拟研究, 将带宽为230.4 MHz的3个高信噪比的标准轮廓

平均分为8个子带, 每个子带宽28.8 MHz, 这样就得到了8个子带下的高信噪比偏振轮廓.

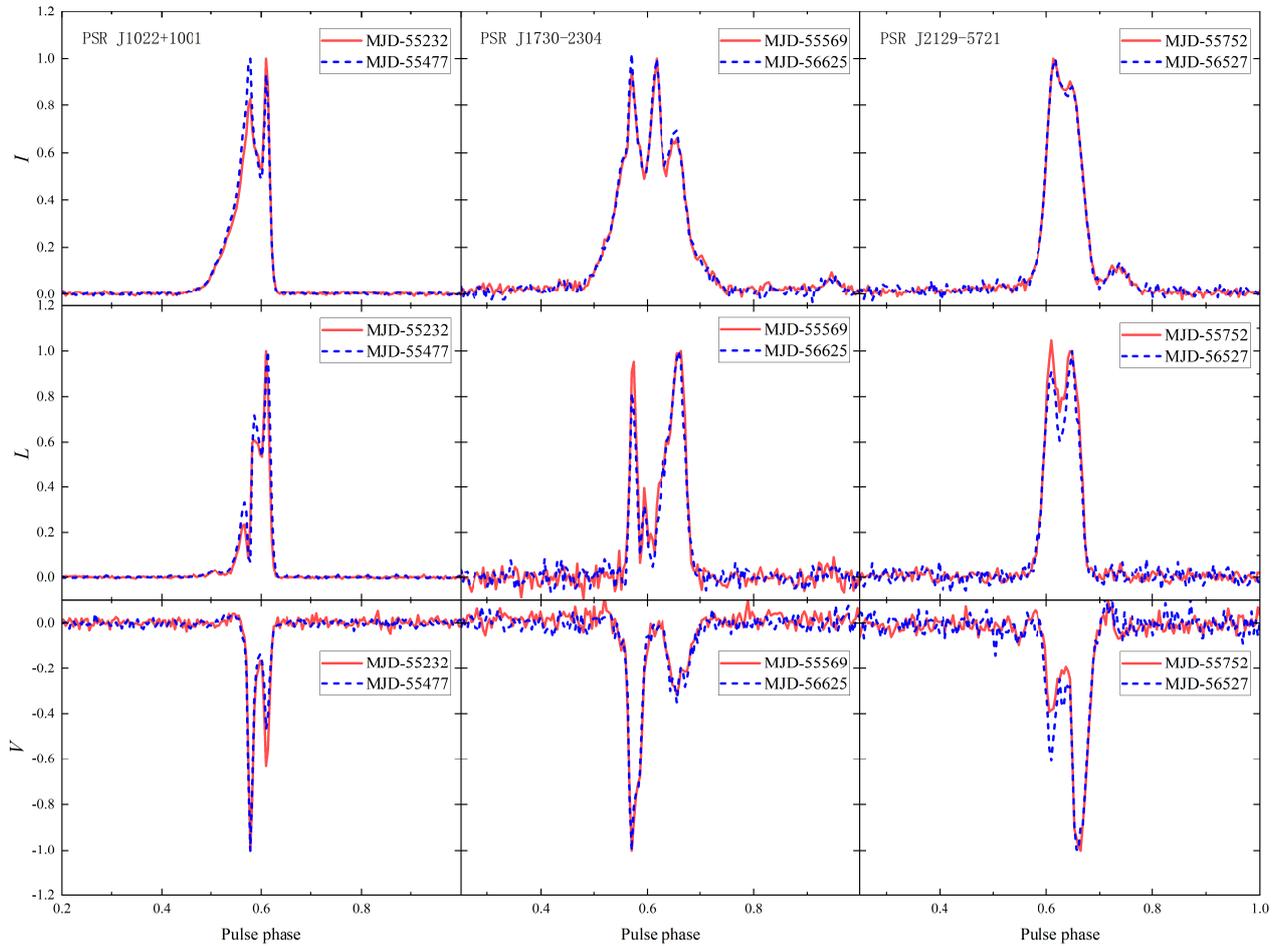


图2 3颗毫秒脉冲星有着明显变化的两次偏振轮廓观测. I 表示总强度, L 表示线偏振, V 表示圆偏振, 强度随相位的变化曲线为脉冲轮廓, 流量密度进行了归一化, 从左到右分别表示PSR J1022+1001、PSR J1730-2304和PSR J2129-5721这三颗星的偏振轮廓, 红色实线和蓝色虚线分别表示两次不同观测的偏振轮廓.

Fig. 2 The polarization profiles of three millisecond pulsars with significantly changing from two observations. I represents total intensity, L represents linear polarization, V represents circular polarization, the intensity with phase variation curve is the pulse profile and the flux density was normalized, from left to right representing the polarization profiles of PSR J1022+1001, PSR J1730-2304 and PSR J2129-5721, respectively. The red solid line and blue dashed lines represent the polarization profiles of the two different observations.

平均偏振轮廓能反映出脉冲星辐射区结构, 可以看成是辐射区独立存在的单个成分叠加而成, 并且每个成分都遵循高斯分布^[24], 即每个偏振轮廓都可以看成是由多个独立的高斯成分叠加所得到的结果. 因此, 为了进一步消除噪声的影响, 将8个频段下的高信噪比偏振轮廓进行拟合, 拟合函数如下

式:

$$f(\varphi) = \sum_i^n a_i e^{-4 \ln 2 (\varphi - b_i)^2 / c_i^2}, \quad (1)$$

其中 $f(\varphi)$ 表示拟合得到的轮廓, φ 表示相位, n 表示该偏振轮廓有 n 个成分, i 表示该偏振轮廓的第 i 个成分, a_i 表示第 i 个成分的峰值, b_i 表示第 i 个成分峰

值所对应的相位, c_i 表示第 i 个成分的半高全宽. 这样就得到了 8 个子带的分析轮廓. 由于每个子带宽只有 28.8 MHz, 而且是由于多次观测叠加后的结果, 因此认为在子带宽内轮廓受星际闪烁的影响很小, 因此将 8 个频段下的高信噪比分析轮廓作为标准轮廓. 3 颗脉冲星的拟合结果分别如图 3、4、5 所示.

由图不难看出, 偏振轮廓随频率确实存在明显的变化, 例如 PSR J1022+1001 和 PSR J1730-2304

的总强度轮廓随着频率的增加, 左峰和右峰的峰值比从小于 1 逐渐变化到大于 1. PSR J1730-2304 的线偏振轮廓峰值比也随着频率的增加而变大. 3 颗毫秒脉冲星圆偏振轮廓的两个峰值之间的流量密度相对大小也随着频率的增加逐渐减小. 由于偏振轮廓会随着频率的改变而变化, 因此当脉冲信号受到星际闪烁影响时, 导致不同频率下偏振轮廓的流量密度发生变化, 使叠加形成的平均脉冲轮廓形状更倾向于流量密度更大频率的脉冲轮廓.

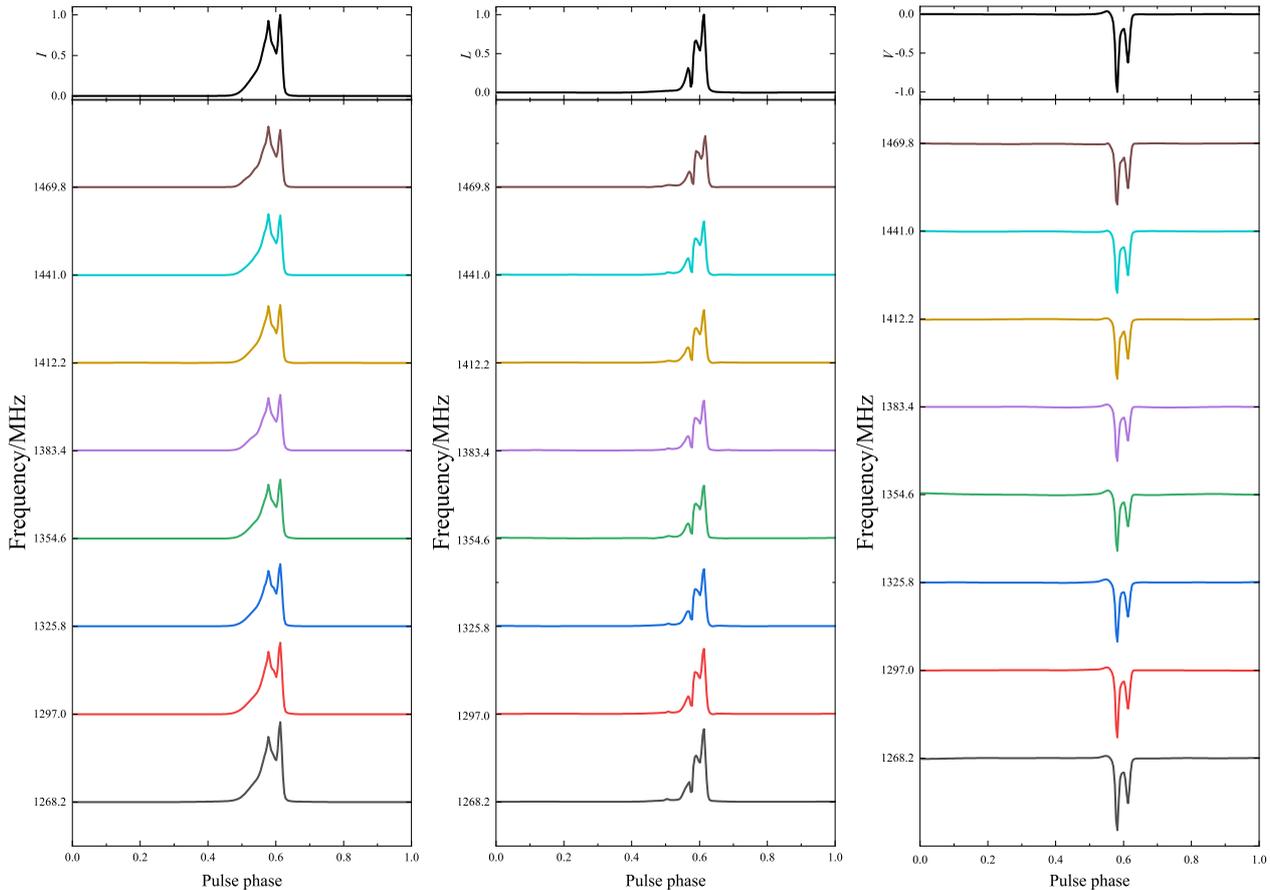


图 3 PSR J1022+1001 的偏振轮廓在 8 个频段下的高斯拟合图. 下图为 8 个频段下的高斯拟合图, 上图为 8 个频段叠加形成的分析轮廓, 左图表示总强度, 中图表示线偏振, 右图表示圆偏振.

Fig. 3 The Gaussian fitting plots of the polarization profile of PSR J1022+1001 in eight frequency bands. The lower panels show the Gaussian fitting plots in eight frequency bands, while the upper panel shows the combined profiles formed from the eight frequency bands. The left plot represents the total intensity, the middle plot represents the linear polarization, and the right plot represents the circular polarization.

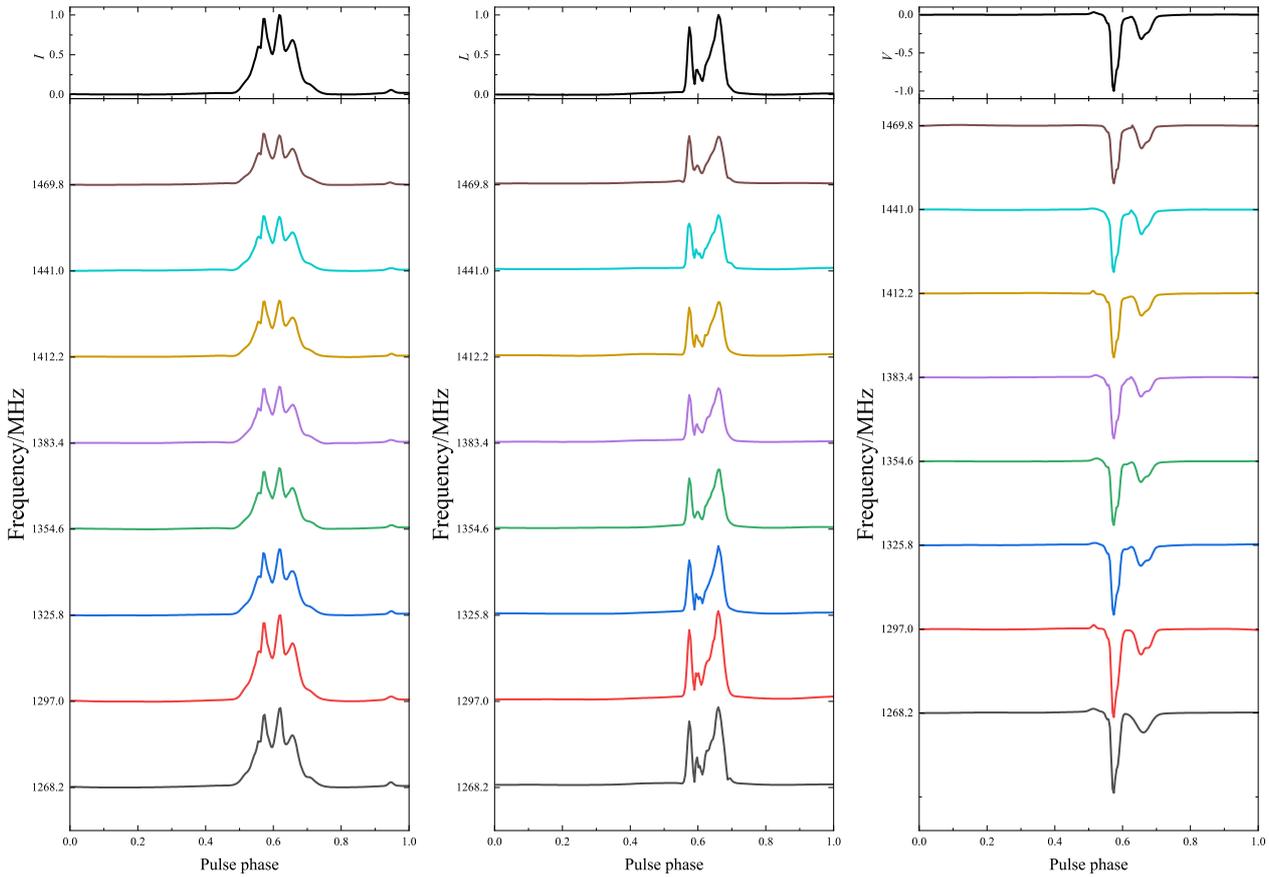


图 4 同图3, PSR J1730-2304的偏振轮廓在8个频段下的高斯拟合图.

Fig. 4 As Fig. 3, Gaussian fitting diagrams of polarization profile of PSR J1730-2304 at eight frequency bands.

4.2 轮廓模拟以及相关性计算

得到了标准分析轮廓后, 用每个子带的分析轮廓去模拟每次观测的偏振轮廓, 即将每个子带的分析轮廓的流量密度按照观测轮廓相应子带下的流量密度去调整, 然后叠加形成每次观测的模拟轮廓. 如果每次观测的偏振轮廓只受闪烁的影响, 原则上就能很好地模拟每次观测的偏振轮廓. 模拟计算如下式:

$$F(\varphi) = \frac{\sum_i^8 R_i f_i(\varphi)}{8}, \quad (2)$$

其中 $F(\varphi)$ 表示模拟轮廓, i 表示8个子带下的第 i 个子带, R_i 表示在第 i 个子带下观测轮廓与分析轮廓流量密度的比值, $f_i(\varphi)$ 是第 i 个子带下用高斯函数拟合后的分析轮廓. 这样模拟每次观测数据叠加形成的平均偏振轮廓就可以用函数 $F(\varphi)$ 表示. 图6展

示了3颗毫秒脉冲星其中一次观测轮廓的模拟结果.

从图6中的观测偏振轮廓与模拟轮廓的拟合相似程度可以看出星际闪烁对偏振轮廓影响程度的大小. 对于PSR J1022+1001, 其总强度轮廓和圆偏振轮廓拟合较好, 但其线偏振轮廓对于第1个峰拟合情况较好, 观测轮廓在后两个峰的流量密度都明显高于模拟轮廓. 对于PSR J1730-2304, 其总强度轮廓和圆偏振轮廓拟合较好, 其线偏振轮廓在峰值处拟合情况很好, 但是在波谷处拟合情况稍差, 观测轮廓在波谷处的流量密度明显低于模拟轮廓. 对于PSR J2129-5721, 观测轮廓的总强度轮廓和线偏振轮廓在第1个峰值处的流量密度都高于模拟轮廓, 第2个峰拟合较好, 圆偏振轮廓在两个峰位置处的流量密度都高于模拟轮廓.

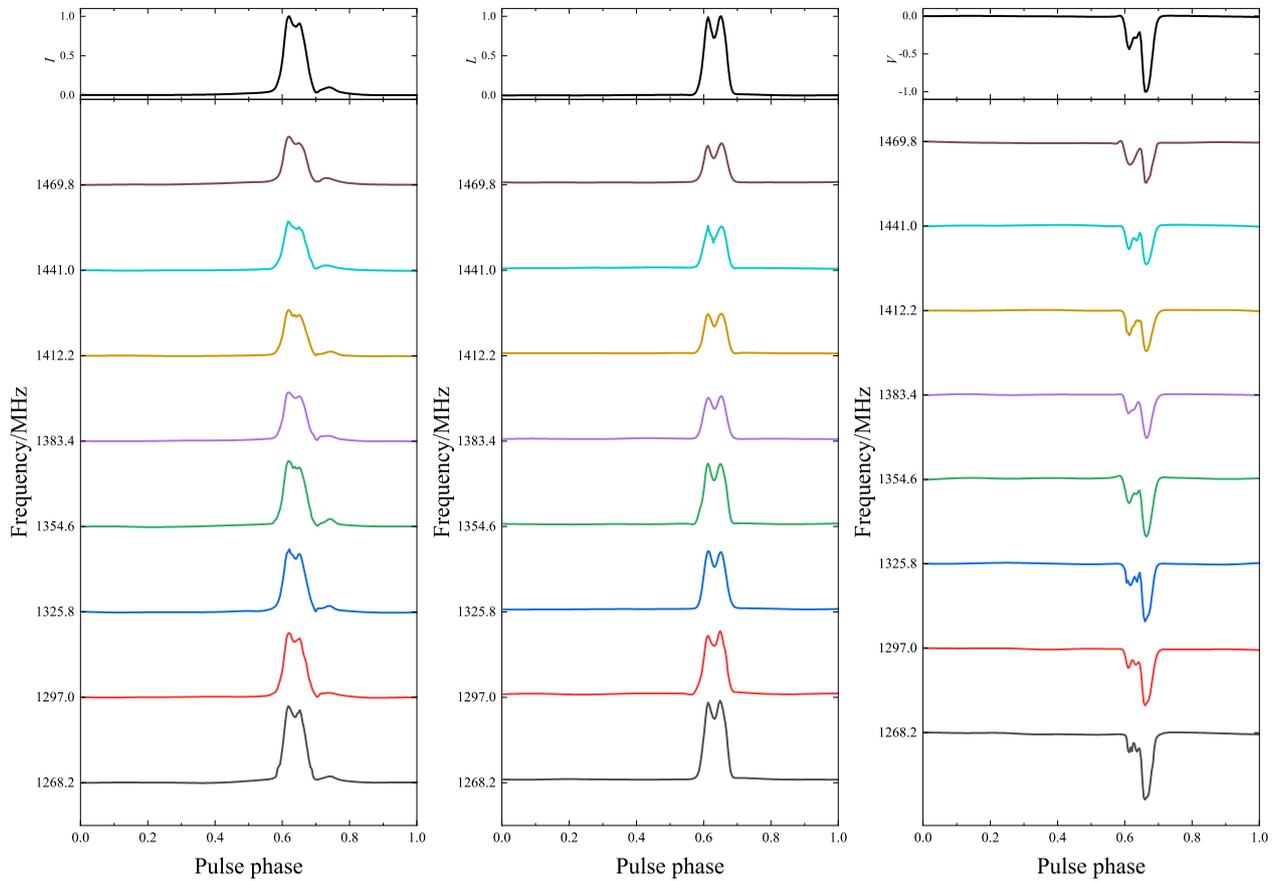


图5 同图3, PSR J2129-5721的偏振轮廓在8个频段下的高斯拟合图.

Fig. 5 As Fig. 3, Gaussian fitting diagrams of polarization profile of PSR J2129-5721 in eight frequency bands.

由于每次观测的平均偏振轮廓的细微变化从图中不容易体现出来, 因此采用相关系数的方法来描述偏振轮廓的稳定性. 用相关系数 ρ 来描述每一次观测轮廓与分析轮廓之间的整体相关性, 轮廓的不稳定性可以从相关系数的大小体现出, 相关系数 ρ 的计算如下式:

$$\rho_1 = \frac{\sum_{i=1}^{256} (X_{1i} - \bar{X}_1) (Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{256} (X_{1i} - \bar{X}_1)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{256} (Y_i - \bar{Y})^2}},$$

$$\rho_2 = \frac{\sum_{i=1}^{256} (X_{2i} - \bar{X}_2) (Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{256} (X_{2i} - \bar{X}_2)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{256} (Y_i - \bar{Y})^2}}, \quad (3)$$

其中 ρ_1 表示标准轮廓与观测轮廓之间的相关系数, ρ_2 表示模拟轮廓与观测轮廓之间的相关系数, i 表

示第 i 个采样数, X_{1i} 表示标准轮廓在第 i 个采样下的流量密度, X_{2i} 表示模拟轮廓在第 i 个采样下的流量密度, Y_i 表示观测轮廓在第 i 个采样下的流量密度, \bar{X}_1 、 \bar{X}_2 分别表示标准轮廓与模拟轮廓的流量密度, \bar{Y} 表示观测轮廓的流量密度.

用轮廓模拟以及相关系数计算的方法, 可以计算出用标准轮廓与每次观测的偏振轮廓的相关系数以及模拟后的轮廓与每次观测的偏振轮廓之间的相关系数. 如果模拟后相关系数提高, 则说明模拟星际闪烁引起的不同频率的流量密度变化较好, 即星际闪烁是引起轮廓变化的主要原因. 如果模拟轮廓后相关系数反而降低, 说明闪烁的影响较小, 而其他因素引起轮廓变化的影响更大, 比如自身内禀属性的原因.

4.3 讨论

模拟结果统计如表1所示,可以看出,星际闪烁对3颗毫秒脉冲星的偏振轮廓稳定性都会造成一定程度的影响,但大小有所不同.对于PSR J1022+1001,其线偏振轮廓受到星际闪烁的影响最大,其次是总强度轮廓,圆偏振轮廓受到的影响

最小.对于PSR J1730-2304,其总强度轮廓受到星际闪烁的影响最大,其次是线偏振轮廓,圆偏振轮廓受到的影响最小.对于PSR J2129-5721,其偏振轮廓受到星际闪烁的影响与PSR J1022+1001相反,其圆偏振轮廓受到星际闪烁的影响最大,其次是总强度轮廓,线偏振轮廓受星际闪烁的影响最小.

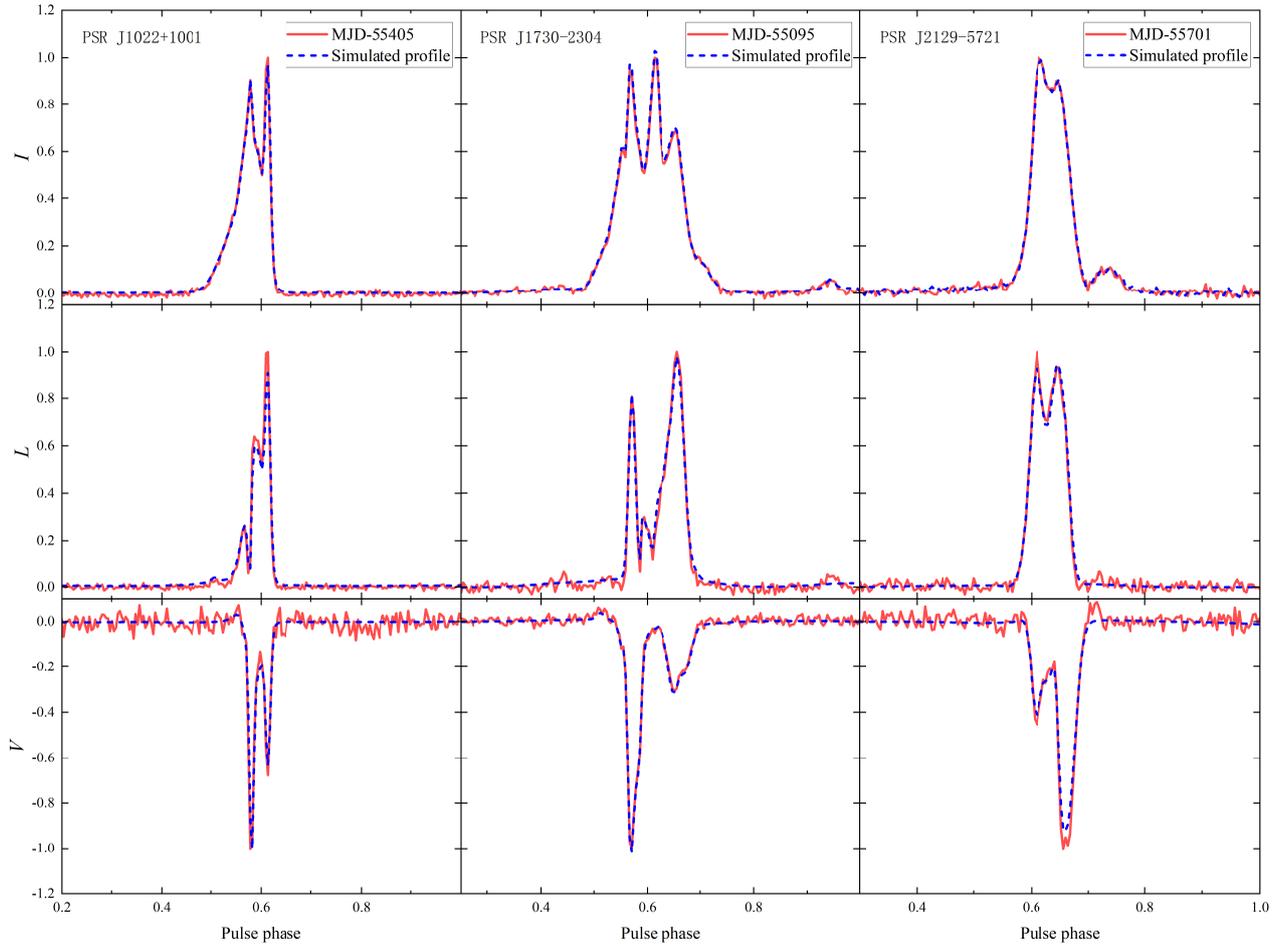


图 6 3颗毫秒脉冲星某次观测的偏振轮廓以及用标准轮廓模拟后得到的结果,从上到下依次表示总强度、线偏振和圆偏振,红色实线表示观测偏振轮廓,蓝色虚线表示模拟轮廓,从左到右表示PSR J1022+1001、PSR J1730-2304和PSR J2129-5721这三颗星的偏振轮廓.

Fig. 6 Polarization profiles of the three millisecond pulsars from a single observation and the simulated results by standard profiles. The total intensity, the linear polarization, and the circular polarization are represented from top to bottom. The red solid and blue dashed lines represent the observed polarization profiles and the simulated profiles, respectively. The polarization profiles of PSR J1022+1001, PSR J1730-2304 and PSR J2129-5721 are represented from left to right.

表 1 受星际闪烁影响较大的偏振轮廓占总观测数目的百分比

Table 1 The percentage of the total number of observations of the polarization profile that is more affected by interstellar scintillation

Name	Number (percentage)		
	Total intensity	Linear polarization	Circular polarization
PSR J1022+1001	29 (49%)	35 (59%)	14 (24%)
PSR J1730-2304	75 (62%)	57 (47%)	50 (41%)
PSR J2129-5721	61 (45%)	24 (18%)	77 (57%)

同时, 同一次观测的总强度轮廓、线偏振轮廓以及圆偏振轮廓受到星际闪烁的影响程度也不同, 可能影响都较大, 也可能只有部分偏振轮廓受到闪烁影响较大. 表2给出了同一次观测的偏振轮廓都受星际闪烁影响较大、部分受星际闪烁影响较大以及受星际闪烁影响都较小的统计结果. 3颗毫秒脉冲星同一次观测的3种偏振轮廓同时都受星际闪烁影响较大的情况较少, 大部分情况都是部分偏振轮廓受到星际闪烁的影响, 也有都受星际闪烁影响较小的情况, 说明这次观测的轮廓不稳定性主要是由于其他原因引起.

表 2 同一次观测数据的偏振轮廓受星际闪烁影响的情况
Table 2 A situation in which the polarization profile of the same observation is affected by interstellar scintillation

Name	Number (percentage)		
	All profile	None profile	Partial profile
PSR J1022+1001	3 (5%)	7 (12%)	49 (83%)
PSR J1730-2304	7 (6%)	8 (7%)	106 (87%)
PSR J2129-5721	10 (7%)	32 (24%)	94 (69%)

脉冲星自身内禀属性的变化会影响偏振轮廓的稳定性. 图7中左图展示了PSR J1022+1001某次观测的总强度轮廓, 当分成8个子带后, 相比右图的标准轮廓, 其总强度轮廓的峰值比总是大于1, 8个子带下的偏振轮廓相对于标准轮廓都已经发生了

明显的变化. 因此在这种情况下, 即使受到星际闪烁的影响, 无论怎么模拟每个子带下的流量密度, 都不能很好地用标准轮廓去拟合这次观测的偏振轮廓, 线偏振轮廓和圆偏振轮廓也同样如此. 不难看出, 这种轮廓的变化是脉冲星自身内禀属性形成的.

5 结论

通过模拟的方法对脉冲星PSR J1022+1001、PSR J1730-2304以及PSR J2129-5721的偏振轮廓稳定性进行了分析. 将所有观测数据叠加所得到的轮廓分为8个频段, 用高斯函数对每个频段下的偏振轮廓进行拟合, 用拟合后每个子带的分析轮廓作为标准轮廓去模拟每一次观测的偏振轮廓受到星际闪烁的作用, 用模拟前后相关系数的变化来描述偏振轮廓受到星际闪烁影响程度的大小. 研究发现, 星际闪烁对偏振轮廓的稳定性都会造成影响, 但影响程度不同. 对于PSR J1022+1001, 星际闪烁对线偏振轮廓的影响更大, 对圆偏振轮廓的影响较小. 对于PSR J2129-5721, 圆偏振轮廓受到的影响更大而线偏振轮廓受到的影响较小. 对于PSR J1730-2304, 总轮廓受到的影响更大, 圆偏振的影响较小.

除了星际闪烁会对偏振轮廓的稳定性造成影响外, 内禀属性也会影响偏振轮廓的稳定性. 当把偏振轮廓分成8个子带后, 会存在各子带下的偏振轮廓相对于标准轮廓已经发生明显变化的偏振轮廓, 这种轮廓变化可能是脉冲星内禀属性造成的.

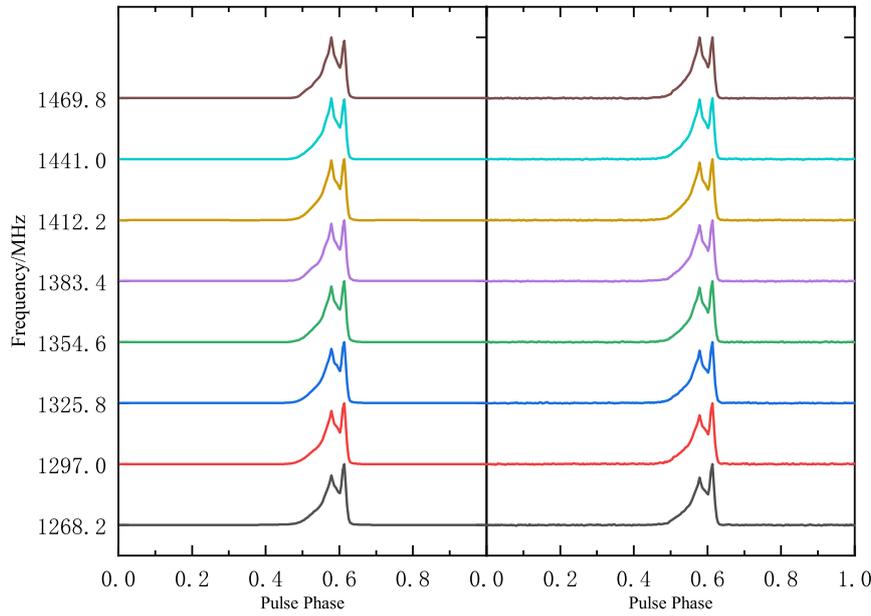


图 7 PSR J1022+1001的总强度轮廓在8个频段下发生明显变化的一次观测. 左图表示观测轮廓, 右图表示标准轮廓.

Fig. 7 An observation of the total intensity profile of PSR J1022+1001 with significant changes in eight frequency bands. The left panel represents the observation profile and the right panel represents the standard profile.

参 考 文 献

- [1] Hankins T H, Cordes J M. *ApJ*, 1981, 249: 241
- [2] Backer D C. *Nature*, 1970, 228: 1297
- [3] Ritchings R T. *MNRAS*, 1976, 176: 249
- [4] Helfand D J, Manchester R N, Taylor J H. *ApJ*, 1975, 198: 661
- [5] Rathnasree N, Rankin J M. *ApJ*, 1995, 452: 814
- [6] Backer D C. *Nature*, 1970, 228: 42
- [7] Xu H, Chen S, Guo Y, et al. *RAA*, 2023, 23: 300
- [8] Brook P R, Karastergiou A, Mclaughlin M A, et al. *ApJ*, 2018, 868: 122
- [9] Mahajan N, van Kerkwijk M H, Main R, et al. *ApJL*, 2018, 867: 2
- [10] Backer D C, Sallmen S T. *ApJ*, 1997, 114: 1539
- [11] Kramer M, Xilouris K M, Camilo F, et al. *ApJ*, 1999, 520: 324
- [12] Shannon R M, Cordes J M. *ApJ*, 2012, 761: 64
- [13] Ramachandran R, Kramer M. *A&A*, 2003, 407: 1085
- [14] 邵敏, 游霄鹏. *天文学报*, 2016, 57: 517
- [15] Dai S, Hobbs G, Manchester R N, et al. *MNRAS*, 2015, 449: 3223
- [16] Cole T W, Hesse H K, Page C G. *Nature*, 1970, 225: 712
- [17] Wang Z, Wang J, Wang N, et al. *MNRAS*, 2023, 520: 1311
- [18] Kramer M, Karastergiou A, Gupta Y, et al. *A&A*, 2003, 407: 655
- [19] Basu A, Weltevrede P, Keith M J, et al. *MNRAS*, 2024, 528: 7458
- [20] Fisher R, Butterworth E M, Rajwade K M, et al. *MNRAS*, 2024, 528: 3833
- [21] Ables J G, Komesaroff M M, Hamilton P A. *ApJL*, 1970, 6: 147
- [22] Wang P F, Han J L, Xu J, et al. *RAA*, 2023, 23: 104002
- [23] Hotan A W, van Straten W, Manchester R N. *PASA*, 2004, 21: 302
- [24] Krishnamohan S, Downs G S. *ApJ*, 1983, 265: 372

Research on the Polarization Profile Stability of Millisecond Pulsars

LI Jie YOU Xiao-peng

(School of Physical Science and Technology, Southwest University, Chongqing 400715)

ABSTRACT Compared with normal pulsars, millisecond pulsars are a class of neutron stars with faster rotation speed, and the pulse signals emitted by them have extremely high stability. The stability of the polarization profile of pulsars is one of the important issues in the study of pulsar radiation mechanism and interstellar medium properties. The polarization profile stability of three millisecond pulsars PSR J1022+1001, PSR J1730-2304 and PSR J2129-5721 was studied using the observation data of the Parkes 64 m telescope in Australia. Analysis of the observations shows that the polarization profile changes slightly at different times. The reasons for the changes are analyzed and the possible explanations are proposed, including the effect of the interstellar scintillation and the instability of the intrinsic properties of the pulsars.

Key words pulsars: general, methods: data analysis, ISM (interstellar medium): general