

О РАДИОИЗЛУЧЕНИИ ПУЛЬСАРА ГЕМИНГА И RBS 1223 НА ЧАСТОТЕ 111 МГц

А. А. Ершов

Проведены наблюдения по поиску импульсного излучения от пульсара Геминга и близкой изолированной нейтронной звезды 1RXJ1308.6+2127 (RBS 1223) на частоте 111 МГц. Импульсное излучение от обоих объектов не обнаружено. Получены верхние пределы для средней плотности потока 0.4 – 4.0 мЯн для пульсара Геминга и 1.5 – 15 мЯн для RBS 1223 в зависимости от предполагаемой длительности (0.05 – 0.5 от периода) импульсов на частоте 111 МГц.

Ключевые слова: пульсары, радиоизлучение, средний профиль, индивидуальные импульсы, пульсар Геминга.

Введение. Гамма-пульсар Геминга был открыт с помощью спутника SAS-2 [1]. Он является вторым по яркости гамма-источником на небе при энергиях свыше 100 МэВ, и исследовался во всех диапазонах электромагнитного спектра. Уверенная идентификация этого объекта в качестве пульсара произошла после обнаружения пульсаций в рентгеновском [2] и гамма [3] диапазонах. В 1990-х годах три группы из Пушинской радиоастрономической обсерватории сообщили об обнаружении импульсного радиоизлучения от пульсара Геминга (PSR J0633+1746) на частоте 102.5 МГц [4–6] с плотностью потока от 30 мЯн до 100 мЯн и мерой дисперсии около 3 пс/см³. В недавней работе [7] сообщается об обнаружении нескольких радиовспышек от пульсара Геминга на довольно низкой частоте 34 МГц. Однако многочисленные поиски радиоизлучения Геминга на более высоких частотах не привели к положительному результату (см., напр., [8] и ссылки в этой работе).

1RXJ1308.6+2127 (другое название объекта – RBS 1223) – это близкая изолированная нейтронная звезда [9] с периодом вращения 10.3 сек [10], которая также была идентифицирована как очень слабый оптический объект [11]. В 2005 году сообщалось [12] об

Пушинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН, 142290 Россия, Московская обл., Пушино; e-mail: ershov@pra0.ru.

обнаружении импульсного излучения от этой нейтронной звезды на частоте 111 МГц со средней плотностью потока около 50 мЯн.

Наблюдения и обработка. Наблюдения пульсара Геминга проводились с ноября 1999 г. по январь 2007 г. (MJD от 51505 до 54110), а изолированной нейтронной звезды RBS 1223 – с октября 2001 г. по март 2007 г. (MJD от 52203 до 54180). Использовалась Большая Синфазная Антенна (БСА) Пушчинской радиоастрономической обсерватории АКЦ ФИАН с эффективной площадью около 15000 кв. м. в зените. Принималась одна линейная поляризация. Использовался 128-канальный анализатор спектра с полосой одного канала 20 кГц и центральной частотой 110.59 МГц. Наблюдения проводились в поисковом режиме, т. е. в режиме записи индивидуальных импульсов во всех каналах без привязки к каким-либо эфемеридам этих объектов. Интервал считывания составлял 2.56 мсек при постоянной времени 3 мсек для пульсара Геминга, и, соответственно, 5.0 мсек и 10.0 мсек для RBS 1223. БСА – транзитный телескоп, поэтому длительность одного сеанса наблюдений составляла $3.2/\cos(\delta)$ минут. Всего проведено примерно по 600 таких сеансов, содержащих 441000 периодов для пульсара Геминга и 12000 периодов для RBS 1223. С середины 2004 г. в точно таком же режиме в качестве теста проводились наблюдения близкого к Геминге (по положению на небе) пульсара PSR B0626+24.

При первичной обработке дневного сеанса наблюдений из временного ряда в каждом частотном канале вычиталось среднее значение и результат нормировался на среднее квадратичное отклонение в данном канале. Затем записи просматривались на предмет наличия помех, а именно: записи всех каналов усреднялись без компенсации за дисперсионное запаздывание (так как для земных помех нет дисперсионного запаздывания) и при наличии помехи (с отношением сигнал/шум более 7) соответствующие отсчеты во всех каналах обнулялись. Далее проводился фолдинг, т. е. сложение периодов в записи каждого канала, при этом значения периода и фазы на конкретный день наблюдений пульсара Геминга рассчитывались на основе эфемерид [13, 14]. В частности, использовались значения частоты вращения и ее производной из сообщения [14]: $\nu_0 = 4.21758680078(5)$ Гц, $\nu'_0 = -1.95214(1) \cdot 10^{-13}$ Гц·сек⁻¹ для эпохи $t_0 = 53630.0(MJD)$. Цифры в скобках показывают ошибку по уровню 1σ в единицах последних значащих цифр. Астрометрические параметры (координаты и собственные движения) брались из работы [13]. Если мы зададим фазу (количество оборотов) вращения звезды выражением:

$$\varphi = \varphi_0 + \nu_0 \cdot (t - t_0) + 1/2 \cdot \nu'_0 \cdot (t - t_0)^2,$$

то для ошибки фазы, рассчитанной для момента времени t каждого сеанса наблюдений, получим:

$$\delta\varphi = |t - t_0| \cdot \sqrt{((\delta\nu_0)^2 + 1/4 \cdot (t - t_0)^2 \cdot (\delta\nu'_0)^2)},$$

где φ_0 , $\delta\nu_0$ и $\delta\nu'_0$ – фаза, ошибки частоты вращения и ее производной на эпоху t_0 эфемерид. В наших наблюдениях максимальное отклонение от эпохи эфемерид, а значит и максимальную ошибку фазы, имеет первый сеанс наблюдений, для которого $|t_1 - t_0| = 1.84 \cdot 10^8$ секунд. Таким образом, максимальная ошибка фазы $\delta\varphi_{\max} = 0.02$ периода для пульсара Геминга, но для существенной доли сеансов наблюдений ошибка заметно меньше. Для изолированной нейтронной звезды RBS 1223 использовались эфемериды из работы [15] и максимальная ошибка фазы составляет $\delta\varphi_{\max} = 0.013$ для первого сеанса наблюдений.

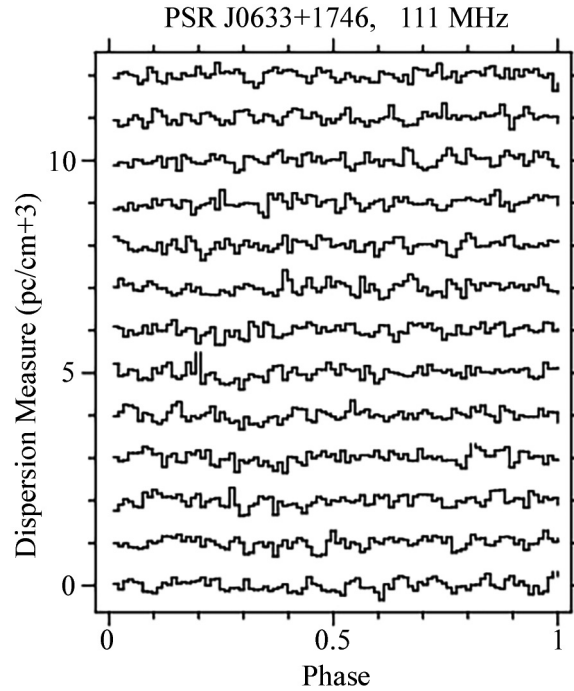


Рис. 1: Средние профили пульсара Геминга на частоте 111 МГц на полном интервале наблюдений с учетом известных эфемерид из работ [12, 13].

На последнем этапе проводилась компенсация дисперсионного запаздывания в каждом канале, при этом мера дисперсии перебиралась в диапазоне от 0 до 40 пс/см³ с шагом 1 пс/см³. Предполагаемому расстоянию (160 пс) до пульсара Геминга соответствует значение меры дисперсии $DM = 3$ пс/см³. Ни в одном сеансе наблюдений ста-

статистически значимого ($S/N > 5$) импульсного радиоизлучения на частоте 111 МГц не обнаружено.

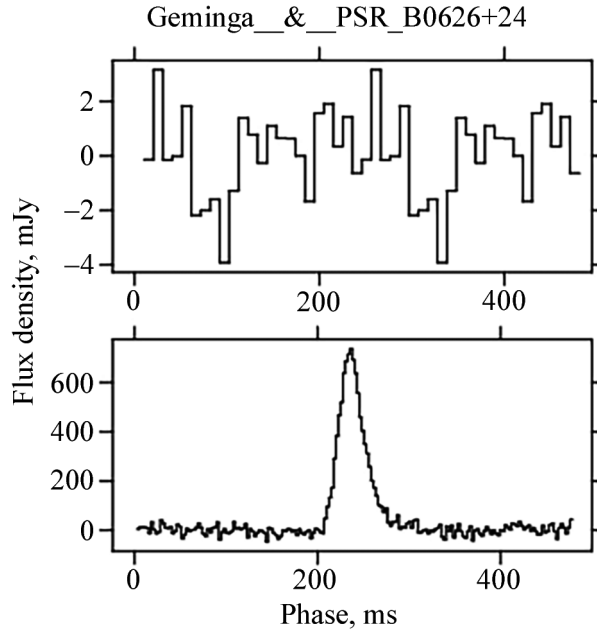


Рис. 2: Средние профили пульсара Геминга (для меры дисперсии 3 пс/см^3 , верхняя панель) и тестового пульсара PSR B0626 + 24 (нижняя панель) на частоте 111 МГц. Вертикальная ось показывает пиковую плотность потока.

Результаты. Для существенного повышения чувствительности поиска излучения от пульсара Геминга все 600 сеансов были когерентно усреднены по временной привязке в соответствии с эфемеридами из работ [13, 14]. После такого сложения и перебора меры дисперсии значимое радиоизлучение также не обнаружено. Примеры полученных средних (за все 600 сеансов) профилей импульса для ряда значений меры дисперсии приведены на рис. 1. Верхний предел ($S/N = 5$) для пиковой плотности потока равен 8 мЯн, а для средней (по периоду) плотности потока – от 0.4 до 4 мЯн, в зависимости от предполагаемой (0.05 – 0.5) длительности импульса. На рис. 2 показан профиль пульсара Геминга (за все 600 сеансов, сглажен по 4 точкам и приведены 2 периода) для меры дисперсии 3 пс/см^3 вместе со средним профилем тестового пульсара PSR B0626+24. Средняя (по периоду) плотность потока PSR B0626+24 равна 60 мЯн, т. е. примерно такая же, какая была заявлена для пульсара Геминга.

Для когерентного сложения всех 600 сеансов наблюдений RBS 1223 использовались эфемериды из работы [15]. Примеры полученных средних профилей (за все 600 сеансов)

для ряда значений меры дисперсии приведены на рис. 3. Верхний предел ($S/N = 5$) для пиковой плотности потока (при сглаживании к временному разрешению 20 мсек) равен 30 мЯн. Соответствующие значения средней (по периоду) плотности потока лежат в диапазоне от 1.5 до 15 мЯн, в зависимости от предполагаемой длительности импульса (0.05–0.5) на частоте 111 МГц.

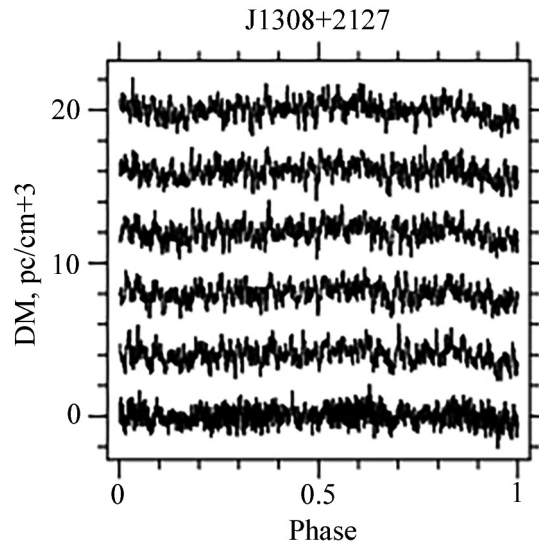


Рис. 3: Средние профили $1RX\ J1308.6+2127(RBS\ 1223)$ на частоте 111 МГц, на полном интервале наблюдений с учетом известных эфемерид из работы [14].

Обсуждение. Обнаруженные в работе [7] вспышки радиоизлучения пульсара Геминга на частоте 34 МГц могут свидетельствовать об очень неравномерном (по времени) характере радиоизлучения. Однако выявленные кратковременные (порядка минуты) вариации меры дисперсии в диапазоне 1.4–3.6 пс/см³ никак не могут быть отнесены к межзвездной среде. В работе [16] приведены новые результаты наблюдений пульсара Геминга на трех низких частотах от 42 до 111 МГц. Возможные причины расхождения результатов представленной работы с данными работ [7, 16]: во-первых, радиоизлучение многих пульсаров достаточно неоднородно по времени, возможны как нуллинги, т. е. почти полное отсутствие радиоизлучения в течение довольно большого количества периодов пульсара, так и вспышечный характер, т. е. значительное увеличение интенсивности радиоизлучения по сравнению со средним уровнем. Возможно, в работах [7, 16] идет речь именно о таких вспышках радиоизлучения пульсара Геминга. Во-вторых, в работе [16] проводилась селекция, т. е. исключались из рассмотрения какие-то промежутки времени даже в течение относительно коротких отдельных сеансов наблюдений.

В представленной работе никакой селекции не проводилось, за исключением чистки от помех, а поиск радиоизлучения проводился только на трех временных масштабах: индивидуальные импульсы, средние профили за сеанс наблюдений и средний профиль за все 600 сеансов. Видимо, этими же причинами объясняются и результаты представленной работы по второму объекту, RBS 1223.

Выводы. Поиск импульсного радиоизлучения от пульсара Геминга и изолированной нейтронной звезды RBS 1223 на частоте 111 МГц не дал положительных результатов. Для пульсара Геминга получен верхний предел для средней плотности потока 0.4–4 мЯн, в зависимости от предполагаемой (0.05–0.5) длительности импульса на частоте 111 МГц. Для RBS 1223 соответствующий верхний предел лежит в диапазоне 1.5–15 мЯн. Отсутствие радиоизлучения от пульсара Геминга и RBS 1223 при сложении данных на длительных интервалах и обнаружение излучения в избранные моменты может быть следствием вспышечного характера активности этих объектов.

Автор признателен сотрудникам Пуцинской радиоастрономической обсерватории АКЦ ФИАН за помощь в подготовке и проведении наблюдений, С. А. Тюльбашеву и рецензенту – за полезные замечания, а также проф. Халперну (J. P. Halpern, Columbia University), любезно приславшему обновленные эфемериды пульсара Геминга.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] D. J. Thompson, C. E. Fichtel, R. C. Hartman, et al., *ApJ* **213**, 252 (1977). DOI: 10.1086/155152.
- [2] J. P. Halpern and S. S. Holt, *Nature* **357**, 222 (1992). DOI: 10.1038/357222a0.
- [3] D. L. Bertsch, K. T. S. Brazier, C. E. Fichtel, et al., *Nature* **357**, 306 (1992). DOI: 10.1038/357306a0.
- [4] А. Д. Кузьмин, Б. Я. Лосовский, *Письма в АЖ* **23**, 323 (1997). DOI: 1063-7737/97/2303-0283.
- [5] V. M. Malofeev and O. I. Malov, *Nature* **389**, 697 (1997). DOI: 10.1038/39530.
- [6] Yu. P. Shitov and V. D. Pugachev, *New Astronomy* **3**, 101 (1998). DOI: 10.1016/S1384-1076(97)00045-6.
- [7] Y. Maan, *ApJ* **815**, 126 (2015). DOI: 10.1088/0004-637X/815/2/126.
- [8] N. E. Kassim and T. J. W. Lazio, *ApJ* **527**, L101 (1999). DOI: 10.1086/312406.
- [9] A. D. Schwope, G. Hasinger, R. Schwarz, et al., *A&A* **341**, L51 (1999).
- [10] F. Haberl, *Adv. Space Res.* **33**, 638 (2004). DOI: 10.1016/j.asr.2003.07.022.

- [11] D. L. Kaplan, S. R. Kulkarni, and M. H. van Kerkwijk, *ApJ* **579**, L29 (2002). DOI: 10.1086/344923.
- [12] В. М. Малофеев, О. И. Малов, Д. А. Теплых и др., *Астрон. Журн.* **83**, 273 (2005). DOI: 10.1134/1.1882782.
- [13] M. S. Jackson and J. P. Halpern, *ApJ* **633**, 1114 (2005). DOI: 10.1086/491615.
- [14] J. P. Halpern, (2007), частное сообщение.
- [15] D. L. Kaplan and M. H. van Kerkwijk, *ApJ* **635**, L65 (2005). DOI: 10.1086/499241.
- [16] О. И. Малов, В. М. Малофеев, Д. А. Теплых, С.В. Логвиненко, *Астрон. Журн.* **92**, 212 (2015). DOI: 10.1134/S106377291502005.

Поступила в редакцию 25 августа 2020 г.

После доработки 23 февраля 2021 г.

Принята к публикации 24 февраля 2021 г.