

УДК 524.354.4

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ “НУЛЛИНГА” У НОВОГО РАДИОПУЛЬСАРА J0810+37 НА ЧАСТОТЕ 111 МГц

Д. А. Теплых, В. М. Малофеев

*Пульсар J0810 + 37 с периодом 1.2483 с был обнаружен в ходе пульсарного поиска на радиотелескопе БСА ФИАН на частоте 111 МГц [1]. В данной работе представлены результаты детального исследования радиоизлучения от J0810 + 37, который демонстрирует редкий эффект нуллингa различной длительности в очень широком временном интервале со средним значением доли обнуления в дни “включения”  $\langle NF \rangle = 38\%$ , а учитывая дни “выключения” –  $\langle NF \rangle = 74\%$ , т.к. радиоизлучение от этого источника прерывается в среднем на 2–3 дня, а затем снова возобновляется в среднем на 1–2 дня. Периоды “выключения” достигают 7 дней.*

**Ключевые слова:** радиопульсары, нуллинг, наблюдения на низких частотах.

*Введение.* Пульсарная поисковая программа, основанная на ежедневном мониторинге участка неба ( $-9^\circ < \delta < 42^\circ$ ) уже позволила обнаружить 31 новый пульсар [1, 2]. Это в основном близкие пульсары с периодами более 0.4 секунды. Учитывая продолжительность мониторинга в течение более четырех лет, эти поисковые наблюдения должны быть особенно эффективны для обнаружения объектов с переменным излучением. Несколько новых радиопульсаров, действительно, проявляют некоторые особенности радиоизлучения. В данной работе представлены результаты детального исследования пульсара J0810+37, который, скорее всего, демонстрирует эффект нуллингa различной длительности в очень широком временном диапазоне.

Эффект нуллингa – временное отсутствие импульсного излучения от нейтронной звезды. Впервые это явление было описано Бэкером в 1970 году [3]. Бэкер разделил эффект на два типа I и II по продолжительности нуллингa и интервалам повторений (пропуски излучения в 3–10 импульсов с интервалом в  $\sim 50$  периодов пульсара и 1–2 пропущенных импульса через каждые 3–10 периодов, соответственно). С

тех пор исследователи неоднократно наблюдали явление нуллинга у ряда пульсаров и установили, что этому эффекту подвержены все компоненты импульса и даже интерпульс, и что он возникает одновременно на всех частотах. При возобновлении излучения его фаза и интенсивность сохраняются [4]. Так же было выявлено, что длительность остановки радиоизлучения может варьироваться от нескольких периодов пульсара до нескольких лет. Доля обнуления радиоизлучения, “nulling fraction” (NF), обычно составляет от 1 до 70%, (см., напр., [5–7]), но встречаются более экстремальные случаи, в которых радиоизлучение пропадает в 90% импульсов (напр., [7–10]). Отдельно выделяют группу “выключающихся” (или “прерывистых”) пульсаров, излучения которых “выключаются” на более продолжительное время, от нескольких суток до нескольких лет (напр., [11–13]). Кроме того, наблюдаются не “выключения”, а “включения” излучения, другими словами, вспышки активности [14]. Пульсар J0810+37, по всей видимости, занимает некую промежуточную позицию, поскольку демонстрирует как короткие нуллинги в несколько периодов вращения пульсара в течение одного сеанса наблюдения, так и “выключение” излучения на несколько дней. Радиопульсары, которые нельзя однозначно отнести ни к одной из вышеперечисленных групп, уже наблюдались [15, 16]. Явление нуллинга возможно связано с изменениями состояния магнитосферы нейтронных звезд [17, 18], или отражает особенность механизма радиоизлучения (напр., [19]), а потому необычные случаи проявления этого эффекта очень важны для понимания природы излучения пульсаров.

*Наблюдения.* Наблюдения проводилось в Пушчинской радиоастрономической обсерватории на радиотелескопе БСА ФИАН на частоте 111 МГц с использованием стандартного цифрового приемника с высоким частотно-временным разрешением: 470 каналов с полосой каждого 4.88 кГц и с временным разрешением 2.46 мс. Пульсар J0810+37 с периодом 1.2483 с и мерой дисперсии  $16 \pm 2$  пс/см<sup>3</sup> был обнаружен в 2017 году в рамках программы поиска пульсаров [1]. В июле 2017 года модернизирована диаграмма направленности радиотелескопа БСА-1М. С её помощью удалось получить существенный выигрыш в чувствительности (в 2–3 раза). И с этого времени ведется наблюдение источника с высоким частотно-временным разрешением с целью уточнения координат, мер дисперсии, периодов, а также измерения первой производной периода, длительности интегрального импульса и его плотности потока. Для исследования эффекта нуллинга были взяты наблюдательные данные за 2018 год. Всего за этот период времени было проведено 250 сеансов наблюдения в режиме записи индивидуальных импульсов. За один сеанс наблюдения регистрировалось 193 периода вращения пульсара (~4 мин).

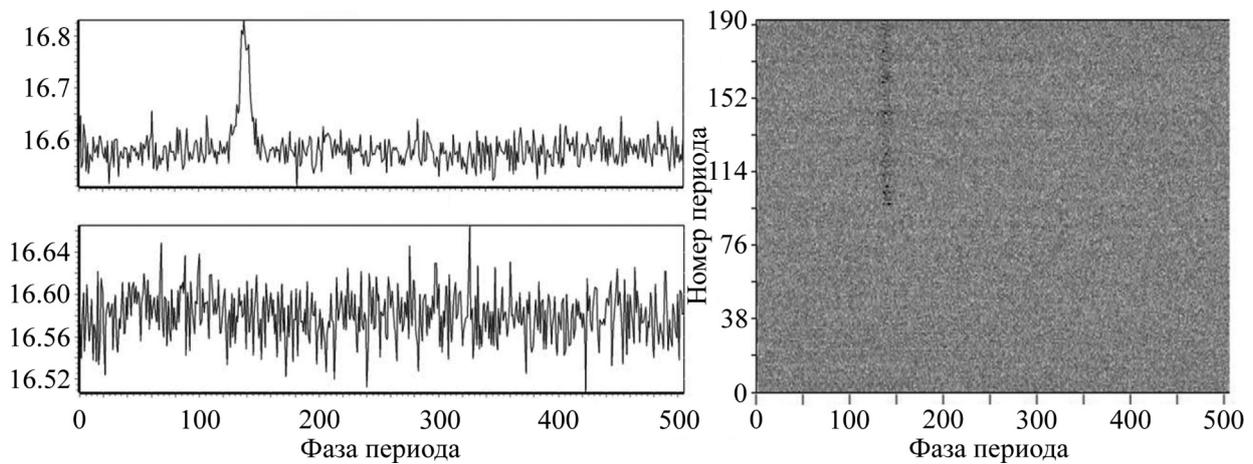


Рис. 1: Примеры интегральных профилей импульса пульсара  $J0810 + 37$  в течение одного дня наблюдения – 20.06.2018 г. Для построения профиля импульса во время фазы активного излучения было суммировано 97 периодов (97–192) (сверху слева); суммирование периодов с 0 по 96 демонстрирует отсутствие какого-либо сигнала – нуллинг (снизу слева). Справа показана последовательность (по вертикали) периодов во время этого сеанса наблюдений, виден нуллинг и активная фаза излучения. По оси абсцисс (справа и слева) отложена фаза периода пульсара  $P = 1.2483$  с в номерах отсчетов, равных 2.4576 мс (507 точек), по оси ординат – слева: относительная величина плотности потока пульсара; справа – номера периодов.

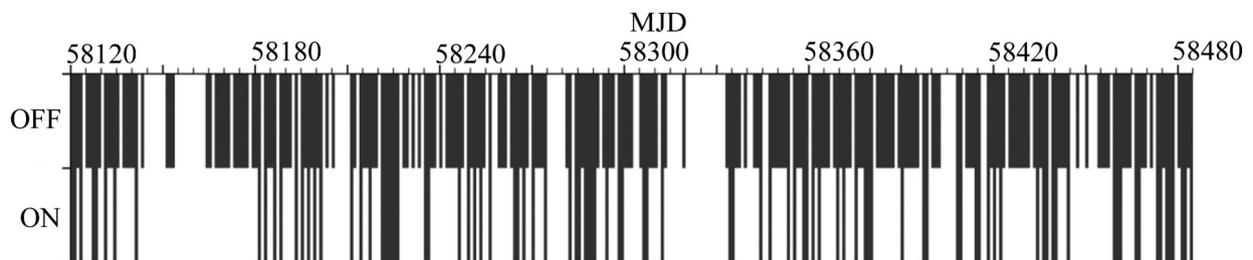


Рис. 2: Временные вариации радиоизлучения пульсара  $J0810 + 37$  в течение 2018 года (в MJD – модифицированные юлианские даты). Значение “OFF” (верхняя часть, черное – “да”) показывает, когда проводились наблюдения, значение “ON” (нижняя часть, черное – “да”) соответствует дням, когда радиоизлучение от пульсара было зарегистрировано.

*Результаты и обсуждение.* В своей активной фазе излучения пульсар  $J0810+37$  легко обнаруживается, среднее значение отношения сигнал/шум (SNR) для этого периода

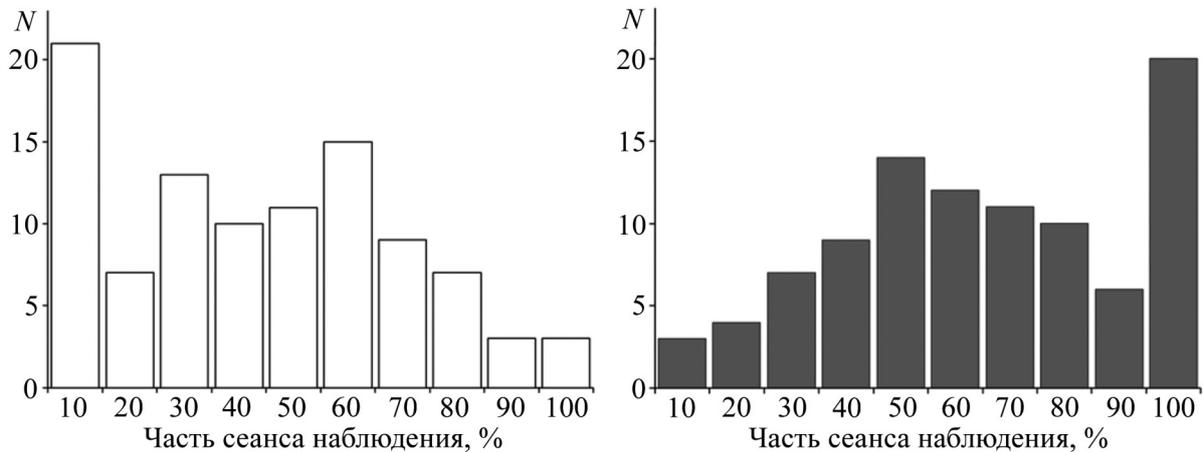


Рис. 3: Гистограммы распределения длительности “нуллинга” (слева) и радиоизлучения (справа) в течение сеанса наблюдения во время активной фазы излучения.

составляет 6.3, в 8% случаев источник демонстрирует усиление сигнала ( $\text{SNR} \geq 10$ ). Во время “выключения” пульсар не показывает даже слабого излучения. На рис. 1 представлены интегральные профили импульса в состоянии излучения и нуллинга. Пульсар J0810+37 имеет широкое окно излучения (средняя полуширина интегрального профиля импульса  $w_{0.5} \sim 25$  мс), в то время как индивидуальные импульсы очень узкие ( $w_{0.5} \sim 8$  мс). Длительности интервалов отсутствия излучения варьируются в очень широком диапазоне. Встречались такие дни наблюдений, когда объект излучал только один импульс за весь сеанс. Если пульсар проявляет хоть какую-то активность, даже в одном периоде наблюдения, такие дни помечались как “ON”. За период с 1 января по 31 декабря 2018 года пульсар J0810+37 был обнаружен в 96 случаях из 250 наблюдений. Временные вариации (ON/OFF) его радиоизлучения показаны на рис. 2. Длительность нуллинга в активном состоянии пульсара составляет в среднем около 40%, но разброс величин большой (см. рис. 3). Фаза излучения составляет в среднем около 60% времени, но также с большим разбросом значений (рис. 3). Анализ распределения длительностей фаз включения–выключения показал, что в среднем пульсар излучает через каждые 2–3 дня, и включается в среднем на 1–2 дня, но время от времени демонстрирует более длительное пребывание в той или иной фазе.

Данная работа является первой в ряду запланированных исследований особенностей новых пульсаров. Она содержит результаты наблюдений за год и статистические исследования. Мы планируем расширить число исследуемых объектов и попытаемся сравнить наши результаты с теоретическими представлениями.

*Заключение.* Проведен детальный анализ исследования радиоизлучения от пульсара J0810+37, обнаружено явление “нуллинга” различной длительности в очень широком временном диапазоне от секунд до нескольких дней. Возможно, этот пульсар является промежуточным звеном между пульсарами-нуллерами и “выключающимися” пульсарами, т.к. радиоизлучение от этого источника прерывается как внутри сеанса наблюдений (4 мин), так и на 1–7 дней, а затем снова возобновляется на 1–5 дней. Так же для J0810+37 уточнено значение меры дисперсии,  $DM = 17 \pm 0.5$ .

## Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] С. А. Тюльбашев, В. С. Тюльбашев, М. А. Китаева и др., АЖ **94**(10), 837 (2017).
- [2] С. А. Тюльбашев, В. С. Тюльбашев, В. В. Орешко, С. В. Логвиненко, АЖ **93**(2), 177 (2016).
- [3] D. C. Backer, Nature **228**(5266), 42 (1970).
- [4] C.G. Page, MNRAS **163**, 29 (1973).
- [5] R. T. Ritchings, MNRAS **176**, 249 (1976).
- [6] J. L. Herfindal and J. M. Rankin, MNRAS **393**(4), 1391 (2009).
- [7] N. Wang, R. N. Manchester, and S. Johnston, MNRAS **377**(3), 1383 (2007).
- [8] V. Gajjar, B. C. Joshi, and G. Wright, MNRAS **439**(1), 221 (2014).
- [9] N. J. Young, P. Weltevrede, B. W. Stappers, et al., MNRAS **449**, 1495 (2015).
- [10] M. Burgay, B. Stappers, M. Bailes, et al., MNRAS **484**(4), 5791 (2019).
- [11] M. Kramer, A. G. Lyne, J. T. O’Brien, et al., Science **312**, 549 (2006).
- [12] D. R. Lorimer, A. G. Lyne, M. A. McLaughlin, et al., ApJ **758**(2), 141 (2012).
- [13] F. Camilo, S. M. Ransom, S. Chatterjee, et al., ApJ **746**(1), 63 (2012).
- [14] V. M. Malofeev, D. A. Teplykh, O. I. Malov, and S. V. Logvinenko, MNRAS **457**(1), 538 (2016).
- [15] M. Kerr, G. Hobbs, R. M. Shannon, et al., MNRAS **445**(1), 320 (2014).
- [16] A. Naidu, B. C. Joshi, P. K. Manoharan, and M. A. Krishnakumar, MNRAS **475**(2), 2375 (2018).
- [17] J. Li, A. Spitkovsky and A. Tchekhovskoy, ApJL **746**(2), L24 (2012).
- [18] A. Lyne, G. Hobbs, M. Kramer, et al., Science **329**(5990), 408 (2010).
- [19] J. M. Rankin and G. A. Wright, MNRAS **385**(4), 1923 (2008).

Поступила в редакцию 13 мая 2019 г.

После доработки 28 ноября 2019 г.

Принята к публикации 29 ноября 2019 г.