

## Радиоизлучение от АХР и XDINS

Д. А. Теплых, В. М. Малофеев, О. И. Малов

*Пуцинская радиоастрономическая обсерватория Физического института им. П. Н. Лебедева РАН,  
ПРАО АКЦ ФИАН, г.Пуцино, Московская обл., 142290, Россия  
E-mail: teplykh@prao.ru, malofeev@prao.ru, jedi@prao.ru*

Приведены данные наблюдений двух аномальных рентгеновский пульсаров (АХР) 1E2259+586 и 4U 0142+61, а также двух слабых рентгеновских изолированных нейтронных звезд (XDINS) 1RXS J1308+21 и 1RXS J2143+06 на частотах 111, 87, 61 и 42 МГц. Наблюдения выполнены на двух высокочувствительных радиотелескопах ПРАО АКЦ ФИАН. Представлены средние профили, даны оценки мер дисперсии и расстояния до этих объектов, приведены плотности потока, периоды, производные периодов и интегральные радиосветимости. Сравнение с рентгеновскими данными показало существенные отличия в длительности среднего импульса и светимости.

### Введение

Аномальные рентгеновские пульсары (АХР) [1] и рентгеновские слабые изолированные нейтронные звезды (XDINS) – это две группы пульсаров из нескольких, открытых в недавнее время, которые по своим характеристикам отличаются от совокупности “обычных” рентгеновских и радио пульсаров. Это молодые нейтронные звезды с вращательными периодами в диапазоне  $5 \div 12$  с. и большими значениями производных периодов  $10^{-11} \div 10^{-13}$  с/с. АХР и XDINS – одиночные объекты, большинство из них расположены в плоскости галактики, половина АХР находятся в остатках вспышек сверхновых. Рентгеновская светимость на несколько порядков превышает энергию замедления вращения, поэтому встает вопрос об источнике энергии у этих звезд. Предложено несколько моделей источника энергии для этих объектов, которые сталкиваются с теми или иными противоречиями [2]. Самая популярная модель – это модель магнетара [3] (одиночная нейтронная звезда с гигантским магнитным полем,  $\sim 10^{14} \div 10^{15}$  Гс), но эта модель запрещает излучение в радиодиапазоне [4]. Однако в 2001 г. были впервые обнаружены периодические пульсации от АХР 1E2259+586 на частоте 111 МГц [5].

XDINS не связаны с остатками сверхновых, и возможно в этих компактных звездах мы можем ясно видеть поверхность звезды в рентгеновском диапазоне, без вмешательства магнитосферного излучения [6]. Присутствие линии поглощения в рентгеновских спектрах нескольких XDINS [7] дает возможность измерить магнитное поле независимо от измерения замедления вращения. В данной работе мы представляем результаты наблюдения двух АХР и двух XDINS на низких частотах.

### 1. Наблюдения

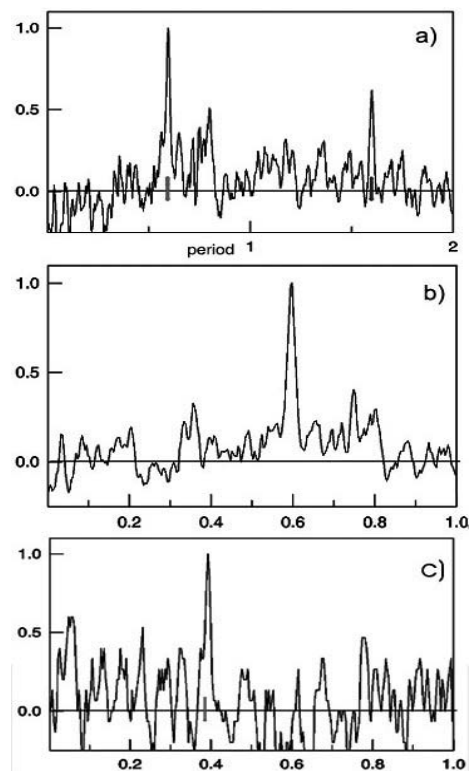
Наблюдения АХР 1E2259+586 были начаты 7 марта 1999 г. Регулярные наблюдения по 3–15 дней в каждые один–два месяца начались с февраля 2001 г. Наблюдения другого АХР 4U 0142+61 были также начаты в марте 1999 г. Первый XDINS 1RXS J1308+21 наблюдается

с декабря 2001 г., а второй XDINS 1RXS J2143+06 с октября 2005 г. Большинство наблюдений проведены на высокочувствительном радиотелескопе БСА ФИАН на частоте 111 МГц. Кроме того, время от времени проводились одновременные наблюдения на втором радиотелескопе – полотно Восток-Запад ДКР-1000 ФИАН, на частотах 87, 61 или 42 МГц. Оба радиотелескопа являются меридианными инструментами, и время наблюдений составляло примерно 3.3 мин на антенне БСА, а на втором радиотелескопе ДКР-1000 – в три раза больше для каждого пульсара.

На всех частотах прием проводился с помощью фильтрового анализатора спектра с полосой 20 кГц и числом каналов 64 на частоте 111 МГц и 32 на частотах 87, 61 и 42 МГц. Интервал считывания информации был, как правило, 25.6 мс или 51.0976 мс, а постоянная времени приемника – 30 мс или 100 мс. Эти параметры аппаратуры использовались при режиме интегрирования сигнала по известному из рентгеновских наблюдений периоду. Кроме того, использовалась программа для независимого поиска импульсного радиоизлучения [8]. В этом случае в наблюдениях участвовали 63 канала по 20 кГц и интервал считывания был выбран равным 21.94 мс. С целью более уверенной регистрации импульса в режиме интегрального накопления основная часть наблюдений была выполнена с двойным периодом по методике, отработанной при наблюдениях слабых и миллисекундных пульсаров [9], а также пульсара в Геминге [10]. Часть наблюдений была выполнена с калибровкой по опорным дискретным радиоисточникам с известной плотностью потока. Подробно методика наблюдений и обработки описана в работе [9].

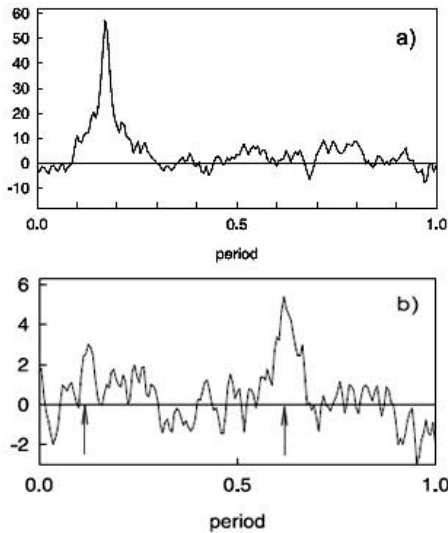
## 2. Результаты

**АХР 1E2259+586.** Мы обнаружили слабое импульсное периодическое радиоизлучение от 1E2259+586 [11,12], существенно отличающееся по средней форме импульса от данных в рентгеновском диапазоне. Всего обработано более чем 400 дней наблюдений на 111 МГц, и несколько десятков дней на 87 и 61 МГц. Приблизительно одна треть наблюдений была зашумлена сильным помехами, и сигнал пульсара не превышал  $4\sigma$  более чем одну треть дней. Для улучшения отношения сигнал/шум мы суммировали данные в различные дни. Так как мы не имели точного тайминга для этого пульсара, то суммировались дни, когда наблюдения были выполнены с двойным периодом с отношением сигнал/шум больше чем четыре. В этом случае в суммарном профиле мы должны заметить два импульса, разделенные точно одним периодом пульсара (рис.1, а). Удалось также



**Рис. 1.** Интегральный профиль АХР 1E2259+58 на частоте 111 МГц полученный путем суммирования 12 дней наблюдений и 312 двойных периодов (а) и свертка с периодом вращения, т. е. сумма 624 периодов, (б); интегральный профиль на частоте 87 МГц (с)

обнаружить периодическое излучение от этого пульсара на частоте 87 МГц (рис. 1, с). Средний профиль импульса в радиодиапазоне получился очень узкий со средней продолжительностью  $(120 \pm 20)$  мс, или 1.7 % от периода (рис. 1, б). В отличие от рентгеновского диапазона мы также не наблюдаем интерпульс. Была измерена средняя плотность потока, оказавшаяся равной 35 мЯн, удалось оценить меру дисперсии  $(80 \pm 5)$  пк·см<sup>-3</sup> и тем самым дать первичную оценку расстояния до пульсара (3.6 кпк).



**Рис. 2.** Интегральный профиль AXP 4U 0142+61 на частоте 111 МГц, сумма 898 периодов (a); на частоте 42 МГц, сумма 408 периодов (b)

**AXP 4U0142+61.** Радиоизлучение от AXP 4U0142+61 мы обнаружили совсем недавно на частотах 111 и 40 МГц. В общем, мы имеем более 270 дней наблюдений на 111 МГц и более 20 дней на 40 МГц за весь наблюдательный интервал (март 1999 г. – апрель 2007 г.). Импульсный сигнал превышал  $4\sigma$  только в 19 % (51 день) от всех дней наблюдений на 111 МГц. Примерно одна пятая всех наблюдений была искажена помехами. Как и для первого пульсара, мы также улучшили отношение сигнал/шум, суммируя данные в течение различных дней наблюдений с двойным периодом. В результате сложения получили узкий профиль со средней продолжительностью  $(230 \pm 30)$  мс или 2.6 % периода (рис. 2, а) (для сравнения, профиль импульса в рентгеновском диапазоне составляет ~ 35 %). Форма этого среднего профиля, возможно, состоит из нескольких компонентов или имеет главный компонент и подложку. Мы также обнаружили им-

пульсное периодическое радиоизлучение от этого пульсара на частоте 40.96 МГц (рис. 2, б). Здесь мы видим более широкий средний профиль и возможный слабый интерпульс на половине периода. Период, его производная, юлианская дата, мера дисперсии, расстояние до пульсара, средняя плотность потока и интегральная радиосветимость при спектральном индексе  $\alpha = 2.5$  приведены в табл. 1.

**Таблица 1.** Основные параметры на частоте 111 МГц

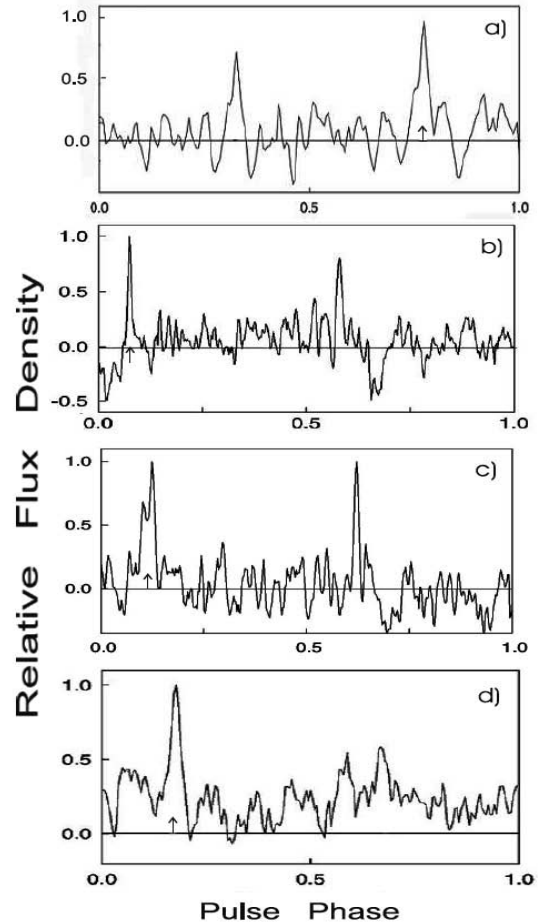
|                         | 1E 2259+586                          | 4U 0142+61                             | 1 RXS J130848.6+21                   | 1 RXS J214303.7+06                   |
|-------------------------|--------------------------------------|--|--------------------------------------|--------------------------------------|
| $P$ , с                 | 6.97894846 (6)                       | 8.68832935(6)                          | 10.31433994(2)                       | 9.43704(2)                           |
| $p'$ , $10^{-13}$ с/с   | 4.87(2)                              | 18.713(4)                              | 129.96(5)                            | -50 (30)                             |
| DM, пк·см <sup>-3</sup> | 79 (4)                               | 27(4)                                  | 5.7(5)                               | 8(5)                                 |
| $D$ , кпк               | 3.6                                  | 1.4                                    | 0.25                                 | 0.4                                  |
| $S$ , мЯн               | 35 $\bar{6} = 25$                    | 30 $\bar{6} = 20$                      | 50 $\bar{6} = 20$                    | 60 $\bar{6} = 25$                    |
| $L$ , ерг/с             | $3 \cdot 10^{28}$ ( $\alpha = 2.5$ ) | $1.5 \cdot 10^{27}$ ( $\alpha = 2.5$ ) | $3 \cdot 10^{26}$ ( $\alpha = 2.5$ ) | $9 \cdot 10^{26}$ ( $\alpha = 2.5$ ) |

**XDINS 1RXS J1308+21.** Для обнаружения слабого радиоизлучения от 1RXS J1308+21 на 111, 87, 61 и 42 МГц было получено более 100 пригодных для анализа записей на частоте 111 МГц и примерно по 15 записей на частотах 87, 61 и 42 МГц. Мы наблюдаем узкий импульс на 111 МГц, который имеет продолжительность  $(140 \pm 20)$  мс, или 1.35 % периода. Рис. 3 показывает средние профили на 111, 87, 61 и 42 МГц. В дополнение к узкому импульсу этот пульсар показывает интерпульс в фазе  $\sim 0.5$  периода, который ясно виден на всех частотах (рис. 3). Все основные параметры радиоизлучения для этого пульсара указаны в табл. 1.

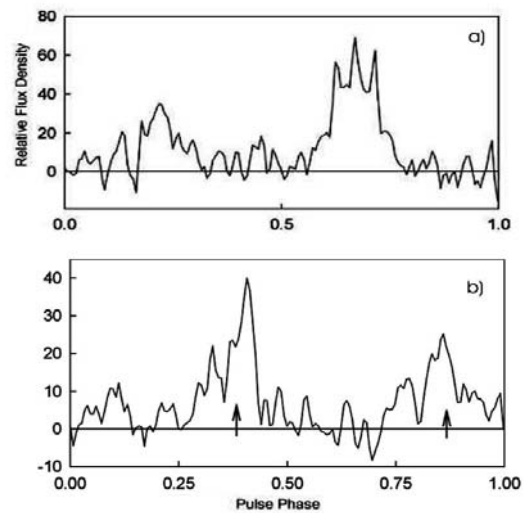
**XDINS 1RXS J2143+06.** Больше 40 хороших записей 1RXS J2143+06 были получены за период октябрь 2005 г. – июнь 2006 г. на частоте 111 МГц. Этот пульсар демонстрирует более широкий и более сложный профиль, чем первый XDINS J1308+21. Вполне вероятно, профиль имеет три компонента, разделенных на 400 мс, и полная ширина суммарного профиля на 50 % от максимума интенсивности – приблизительно 1000 мс (рис. 4). В некоторые дни мы наблюдали интерпульс в фазе 0.5 периода.

### Заключение

Обнаружено слабое импульсное радиоизлучение от двух AXP 1E2259+586 и 4U 0142+61 и от двух XDINS 1RXS J1308+21 и 1RXS J2143+06 на четырех низких частотах на двух радиотелескопах. Параметры пульсаров перечислены в табл. 1. Главное различие между радио и рентгеновским излучением в том, что суммарный профиль в радиодиапазоне является существенно более узким, и радиоизлучение демонстрирует сильные флуктуации. Мы получили независимые оценки расстояний до пульсаров, которые находятся в пределах интервалов расстояний, определенных другими методами. Открытие радиоизлучения от AXP и XDINS, вместе с обнаружением транзитного сильного радиоизлучения от AXP XTE J1810-197 [13], SGR [14], и нового радиопулсара (J1847-0130) с большим периодом ( $P = 6.7$  с) и производной периода ( $P' = 1.3 \cdot 10^{-12}$  с/с) [15] очень схожие с AXP и SGR, дает повод пересмотреть механизмы радиоизлучения в



**Рис. 3.** Интегральный профиль XDINS J1308+21 на частоте 111 МГц, сумма 50 периодов (a); 87 МГц, сумма 14 периодов (b); 62 МГц, сумма 100 периодов (c); 42 МГц, сумма 206 периодов (d)



**Рис. 4.** Интегральный профиль XDINS J2143+06 на частоте 111 МГц, сумма 450 периодов (a); 42 МГц, сумма 40 периодов, стрелками показаны импульс и интерпульс (b)

модели магнетара или предполагать другие модели для AXP и SGR без привлечения сильных магнитных полей.

### Литература

1. Mereghetti S. & Stella L., The very low mass X-ray binary pulsar: a new class of sources? *The Astrophysical Journal*. 1995, 442, L17.
2. Малов И. Ф., Мачабели Г. З., Малофеев В. М. Новая модель “магнетара”. *Астрономический журнал*. 2003, Т. 80, №3, с. 258-265.
3. Thompson C., Duncan R. C. The soft gamma repeaters as very strongly magnetized neutron stars. *The Astrophysical Journal*. 1996, Vol. 473, pp. 322-342.
4. Baring M. G., Harding A. K. *The Astrophysical Journal*. 1998, 507, pp. 55-59.
5. Malofeev V. M., & Malov O. I. astro-ph/0106435, 2001.
6. Zane S., Gropper M., Turolla et al. astro-ph/0503239, 2005.
7. Haberl F., Schwobe A. D., Hambaryan V. et al., A broad absorption feature in the X-ray spectrum of the isolated neutron star RBS1223. *Astronomy & Astrophysics*. 2003, Vol. 403, pp. 19-23.
8. Тюльбашев С. А., Малов О. И. *Астрон. журн.* 2000, Т. 77, с. 737-740.
9. Малофеев В. М., Малов О. И., Щеголева Н. В. Плотности потоков 235 пульсаров на частоте 102.5 МГц. *Астрон. журн.* 2000, Т. 77, №7, с. 499-509.
10. Malofeev V. M. and Malov O. I. *Nature*. 1997, Vol. 389, p.697.
11. Malofeev V. M. and Malov O. I. Conf. on Physics of Neutron Stars. St.-Peterburg, 6-8 June 2001, p. 31.
12. Malofeev V. M. Malov O. I. Teplykh D. A. In IAU Symp. 218: Young neutron stars and their environments. Ed. F. Camilo and B. M. Gaensler. *Ast. Soc. Pac. Conf. Ser.* 2004, Vol. 218, pp. 261-264.
13. Camilo F., Ransom S., Halpern J. astro-ph/0605429, 2006.
14. Shitov Yu. P., Pugachev V. D., and Kutuzov S. M. *ASP Conf Ser.* 2000, Vol. 202, p. 685.
15. McLaughlin M. A., Stairs I. H., Kaspi V. M. et al. *ApJ*, 2003, Vol. 591, pp. 135-138.

### Радіовипромінювання від AXP та XDINS

**Д. А. Теплих, В. М. Малофєєв, О. І. Малов**

Наводяться дані спостережень двох аномальних рентгенівських пульсарів (AXP) 1E2259+586 та 4U 0142+61, а також двох слабких рентгенівських ізольованих нейтронних зірок (XDINS) 1RXS J1308+21 та 1RXS J2143+06 на частотах 111, 87, 61, та 42 МГц. Спостереження виконано на двох високочутливих радіотелескопах ПРАО АКЦ ФІАН. Показано середні профілі, оцінки вимірів дисперсії та відстані до цих об'єктів, наведено густини потоку, періоди, похідні періодів та інтегральні радіосвітимості. Порівняння з рентгенівськими даними показало суттєві відмінності у тривалості середнього імпульса та світимості.

### Radio Emission from AXPs and XDINSs

**D. A. Teplykh, V. M. Malofeev, and O. I. Malov**

The results of the observations of radio emission from two anomalous X-ray pulsars (AXPs) 1E2259+586 and 4U 0142+61 and X-ray dim isolated neutron stars (XDINS) 1RXS J1308.6+212708 and 1RXS J214303.7+065419 at frequencies 111, 87, 61 and 42 MHz are reported. The observations were carried out on two sensitive transit radio telescopes PRAO ASC LPI. The flux densities, mean pulse profiles, periods and its derivatives, as well as the estimations of the dispersion measures, distances and integrated radio luminosities are shown. Comparison with the X-ray data shows large differences in the mean pulse widths and luminosities.