

Утверждаю
Директор ИКИ РАН
академик РАН

_____ Петрукович А.А.

«3» сентября 2026 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Института космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН)
на диссертацию Торопова Максима Олеговича «Исследование некоторых сильных
пульсаров по наблюдениям на радиотелескопе БСА ФИАН», представленную на
соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.1 – «Физика космоса, астрономия»

Существование пульсаров, источников когерентного излучения, было теоретически предсказано еще в 30-х годах 20-го века, а первый пульсар был открыт в радиодиапазоне в 1967 году. С тех пор накопилась громадная наблюдательная база таких объектов, причем в широком диапазоне электромагнитного спектра — пульсары различных типов наблюдаются от радио диапазона до ТэВ-ных энергий. Несмотря на более чем полувековую историю наблюдений, далеко не все аспекты формирования излучения в пульсарных системах могут быть однозначно интерпретированы. Более того, даже эволюция этого класса объектов со временем также до сих пор вызывает дебаты. В частности, существуют альтернативные модели эволюции угла наклона между осью вращения и магнитной осью пульсара. Одни теории утверждают, что данный угол со временем стремится к нулю, а другие — что оси стремятся занять взаимно перпендикулярное положение. Поэтому необходимо продолжать набирать статистический материал для проверки различных гипотез.

Одной из наблюдаемых характеристик пульсара, в том числе в радиодиапазоне, является средний профиль пульсирующего сигнала, который является отражением процессов, идущих в магнитосфере нейтронной звезды. Изучение деталей среднего профиля дает информацию о том, как меняются свойства излучения в зависимости от фазы вращения, а значит может дать дополнительные сведения как о геометрических параметрах системы, так и о физических свойствах нейтронной звезды и процессов, протекающих в ее окрестности. Качество наблюдательных данных зависит от чувствительности принимающей аппаратуры и от длительности наблюдений. К сожалению, крайне редко удается создать высокочувствительные инструменты, способные непрерывно работать над одной задачей длительное время. Телескопы, обладающие высокой собирающей способностью, позволяют получать лишь короткие экспозиции для отдельных мишеней, а приборы с относительно малой чувствительностью — чаще всего это широкоугольные инструменты, имеют

возможность накапливать большие экспозиции. И те и другие крайне важны, так как подходят к решению задач с разных направлений и дополняют друг друга на разных временных масштабах. Радиотелескоп БСА ФИАН скорее относится к телескопам второй группы, и диссертант умело использует уникальные возможности телескопа по накоплению многолетних временных рядов множества пульсаров и для нахождения сигналов от транзиентов. В частности, в диссертации исследуются средние профили пульсаров, полученные сложением за сотни и тысячи дней. Такое сложение позволяет получить высокое отношение сигнала к шуму для профилей импульса, при свертке кривых блеска с эфемеридами пульсаров и позволяет исследовать тонкие детали.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, двух приложений, списка цитируемой литературы и списка использованных сокращений.

Первая глава описывает методику наблюдений радиопульсаров на радиотелескопе БСА ФИАН, процедуру калибровки и обработки данных, методику поиска радиотранзиентов и способ формирования среднего профиля пульсаров. Здесь диссертантом проделана большая техническая работа, без которой дальнейшие исследования были бы невозможны. Кроме того, было продемонстрировано, что радиотелескоп БСА прекрасно подходит для поиска коротких диспергированных сигналов. В частности, удалось открыть 6 новых вращающихся радиотранзиентов, что примерно на 5% увеличивает число известных объектов данного типа. При продолжении работы в данном направлении БСА может существенно расширить список вращающихся радиотранзиентов и увеличить статистику по регистрации импульсов от них.

Вторая глава посвящена поиску интеримпульсов пульсаров по наблюдениям на радиотелескопе БСА ФИАН. Статистика интеримпульсных пульсаров может дать ключ к решению проблемы эволюции взаимного расположения оси вращения и магнитной оси пульсаров. Проведен статистический анализ выборки 96 пульсаров, наблюдаемых на радиотелескопе в течении нескольких лет. У 12 из этих объектов удалось обнаружить интеримпульсы. Для 9 из них интеримпульсы найдены впервые. Таким образом, общее количество пульсаров, имеющих интеримпульсы, увеличилось на четверть. Проведена статистическая проверка ожидаемого и наблюдаемого количества пульсаров с интеримпульсами в разных диапазонах периодов. По результатам исследования отдано предпочтение разработанной Бескиным, Гуревичем и Истоминим квазианалитической модели БГИ (BGI), согласно которой в ходе эволюции магнитная ось и ось вращения становятся ортогональными.

Третья глава посвящена исследованию межзвездной среды в направлении двух сильных пульсаров J0826+2637 и J0953+0755. Прохождение излучения от пульсаров через неоднородности межзвездной плазмы, вызванной флуктуациями плотности электронов, приводит к целому ряду наблюдаемых эффектов: угловому уширению источника, временному уширению импульсов, модуляции интенсивности излучения по частоте и времени (мерцания). Изучение этих эффектов позволяет исследовать пространственную структуру неоднородностей межзвездной плазмы. Проведенный структурный и корреляционный анализ амплитуд главного импульса, интеримпульса и посткурсора для пульсара

J0826+26 позволил обнаружить временные масштабы переменности, которые не были известны ранее. В частности, найдены вариации амплитуд главного импульса и интеримпульса на нескольких временных масштабах, вызванных: рефракцией на неоднородностях межзвездной плазмы, рефракцией радиоволн в межзвездной среде и наличием рассеивающего слоя на близком экране, находящемся на расстоянии порядка 50 пк от Земли. Для пульсара J0953+0755 впервые измерен частотный масштаб дифракционных межзвездных мерцаний интеримпульсов и показано, что формы спектров интеримпульса и главного импульса скоррелированы и имеют одинаковый частотный масштаб. Обнаружена модуляция излучения с характерным масштабом порядка 130 дней, которая связана с рефракционными мерцаниями. Впервые измерена относительная амплитуда излучения между главным импульсом и интеримпульсом (мост излучения).

Четвертая глава посвящена поиску слабых компонент в средних профилях двух радиопульсаров: J1543+0929 и J2234+2114. На низких радиочастотах наблюдений, где излучение сосредоточено на больших высотах от поверхности нейтронной звезды, конус открытых силовых линий широкий и излучение может наблюдаться в значительной диапозоне фаз вращения, даже при большом угле между осью вращения и магнитной осью. Протяжённая компонента на низких частотах может наблюдаться практически в течении всего периода, при этом ее интенсивность растёт с уменьшением частоты, и энергия может сравняться с энергией главного импульса или даже превысить её. Для обнаружения возможного интеримпульсного излучения необходимы наблюдения с высоким отношением сигнал/шум. В диссертации представлен анализ данных наблюдений пульсаров за 10 лет. Выявлены новые детали на средних профилях импульса: J1543+0929 демонстрирует излучение на протяжении практически всего периода, на профиле импульса J2234+2114 обнаружен предимпульс.

Перечисленные выше результаты являются новыми и несомненно представляют научную ценность, а разработанные методы калибровки и анализа данных послужат подспорьем для продолжения систематического анализа наблюдений на радиотелескопе БСА ФИАН и увеличения статистики как по вращающимся радиотранзиентам, так и по радиопульсарам с интеримпульсами. Достоверность представленных результатов доказывается публикациями в высокорейтенговых журналах.

Отметим недостатки данной работы.

- 1) Все результаты работы были получены по многолетним наблюдениям радиопульсаров на БСА ФИАН. Для увеличения статистики использовался метод сложения профилей импульса. Однако в работе недостаточно подробно описан алгоритм сложения. Из текста не до конца понятно, каким образом выравнивались по фазе профили импульса, полученные в разные эпохи. Использовались ли значения эфемерид вращения пульсаров из каталогов или же были применены дополнительные действия для выравнивания импульсов? В первом случае, при абсолютном сложении, надо быть уверенным, что эфемериды актуальны на

момент наблюдений; например, во многих пульсарах наблюдаются глитчи, что может приводить к скачкам фазы и возникновению артефактных особенностей на суммарном профиле импульса. Во втором случае следовало бы полностью описать алгоритм. Также, полученные результаты сопровождаются доверительными интервалами, но каким образом оценены ошибки, практически опускается. Ошибки измерений также не представлены на большинстве графиков (в частности когда приводятся профили импульса), что также не позволяет читателю оценить качество наблюдательных данных.

2) В третьей главе диссертации исследуются свойства межзвездной среды в направлении двух радиопульсаров. Эта работа несомненно подпадает под специальность «Физика космоса, астрономия», и получены новые интересные результаты. Однако в данном случае пульсары использовались как инструмент, а именно как источники зондового излучения. В названии же диссертации «Исследование некоторых сильных пульсаров по наблюдениям на радиотелескопе БСА ФИАН» межзвездная среда не упоминается, то есть название диссертации не полностью соответствует ее содержанию.

3) Нельзя не отметить множество огрехов в тексте диссертации. Особенно это касается «Введения». Например, в первом же абзаце очень неудачно используется словосочетание «массивных нейтронных звезд». Вероятно имеется в виду, что нейтронные звезды имеют большую массу, но читатель может подумать, что речь идет о самых массивных представителях класса нейтронных звезд. Но в любом случае, большая масса (инерция) не дает гарантии равномерного вращения, так у некоторых нейтронных звезд наблюдаются глитчи. В тексте много опечаток. Одна из самых заметных — это единицы измерения производной периода: где-то это секунды «с» (как на странице 5), где-то «с/с⁻¹» (как на Рис. 04, 05 и др.). На странице 26 в тексте остались редакторские правки.

Вышеуказанные замечания относятся к оформлению диссертации и обращают внимание на то, что материал мог бы быть раскрыт шире, однако не ставят под сомнение вынесенные на защиту научные результаты.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

По теме диссертации опубликованы семь научных работ в отечественных и зарубежных рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК. Результаты диссертационной работы апробированы на научных семинарах и конференциях.

Диссертационная работа «Исследование некоторых сильных пульсаров по наблюдениям на радиотелескопе БСА ФИАН» является законченным научно-исследовательским трудом и удовлетворяет всем требованиям положения о порядке присуждения учёных степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Максим Олегович Торопов, безусловно, заслуживает

присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 – «Физика космоса, астрономия».

Отзыв обсужден и одобрен на заседании НТС отдела астрофизики высоких энергий ИКИ РАН 24 августа 2026 г.

Отзыв подготовил:

старший научный сотрудник ИКИ РАН
к.ф.-м.н.

Мольков С.В.

тел.: +7 495 3332222

e-mail: molkov@cosmos.ru

адрес места работы: Москва, 117997, Профсоюзная ул., 84/32

Подпись С.В. Молькова удостоверяю,
Ученый секретарь ИКИ РАН
кандидат физ.-мат. наук

А. М. Садовский

1 сентября 2026 г.

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН)

тел.: +7 495 3335212

e-mail: iki@cosmos.ru

Почтовый адрес: Москва, 117997, Профсоюзная ул., 84/32

Список основных работ сотрудников ведущей организации Института космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) по теме защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Salganik, Alexander; Tsygankov, Sergey S.; Molkov, Sergey V.; Lapshov, Igor Yu.; Lutovinov, Alexander A.; Tkachenko, Alexey Yu.; Mushtukov, Alexander A.; Poutanen, Juri «Discovery of a 0.8-mHz quasi-periodic oscillation in the transient X-ray pulsar SXP31.0 and associated timing transitions» // Astronomy & Astrophysics, Volume 705, id.A141, 11 pp. (2026)

2. Semena, A. N.; Mereminskiy, I. A.; Gorban, A. S. ; Molkov, S. V. ; Lutovinov, A. A.; Vikhlinin, A. A. «Pulse-phase resolved variability of the X-ray pulsar RX J0440.9+4431 with SRG/ART-XC» // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 545, Issue 2, id.staf2020, 7 pp. (2026)

3. Revnivtsev, V. M.; Postnov, K. A.; Molkov, S. V.; Shakura, N. I.; Lutovinov, A. A. Lapshov, I. Yu.; Kolesnikov, D. A.; Tkachenko, A. Yu. «Traces of wobbling accretion disk in X-ray pulsar Her X-1 from observations of the ART-XC telescope of the SRG observatory» // *Astronomy & Astrophysics*, Volume 698, id.A166, 9 pp. (2025)
4. Molkov, Sergey V. ; Lutovinov, Alexander A. ; Tsygankov, Sergey S. ; Suleimanov, Valery F. ; Poutanen, Juri ; Lapshov, Igor Yu. ; Mereminskiy, Ilya A. ; Semena, Andrei N. ; Arefiev, Vadim A. ; Tkachenko, Alexey Yu., «Discovery of SRGA J144459.2–604207 with the SRG/ART-XC telescope: A well-tempered bursting accreting millisecond X-ray pulsar» // *Astronomy & Astrophysics*, Volume 690, id.A353, 9 pp., (2024)
5. Salganik, Alexander; Tsygankov, Sergey S.; Doroshenko, Victor; Molkov, Sergey V.; Lutovinov, Alexander A.; Mushtukov, Alexander A.; Poutanen, Juri «RX J0440.9+4431: another supercritical X-ray pulsar» // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 524, Issue 4, pp.5213-5224 (2023)
6. Mereminskiy, I. A.; Lutovinov, A. A.; Postnov, K. A.; Arefiev, V. A.; Lapshov, I. Yu.; Molkov, S. V.; Sazonov, S. Yu.; Semena, A. N.; Tkachenko, A. Yu.; Shtykovsky, A. E.; Liu, Z. ; Wilms, J.; Rau, A.; Dauser, T.; Kreykenbohm, I. «Search for Pre-Burst Emission from Binary Neutron Star Mergers with Spectrum-Roentgen-Gamma» // *Astronomy Letters*, Volume 48, Issue 7, pp. 370-375 (2022)
7. Molkov, S.; Doroshenko, V. [search by orcid](#) ; Lutovinov, A. [search by orcid](#) ; Tsygankov, S. [search by orcid](#) ; Santangelo, A. [search by orcid](#) ; Mereminskiy, I. ; Semena, A., «Discovery of the 5 keV Cyclotron Line Followed by Three Harmonics in Swift J1626.6-5156» // *The Astrophysical Journal Letters*, Volume 915, Issue 2, id.L27, pp., (2021)