

**ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук Торопова Максима Олеговича
на тему: «Исследование некоторых сильных пульсаров по наблюдениям
на радиотелескопе БСА ФИАН»
по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия**

Диссертация Торопова М.О. посвящена актуальной теме всестороннего исследования наблюдаемых свойств радиопульсаров на низких частотах с помощью инструментов высокой чувствительности.

Диссертация состоит из Введения, четырёх глав, заключения. Она содержит 38 рисунков, 8 таблиц, в списке литературы содержится 144 ссылки, всего 123 страницы текста. Опубликовано 7 работ, в том числе в высокорейтинговом журнале (Monthly Notices of the Royal Astronomical Society). Работы докладывались на всероссийских и международных конференциях.

В **Введении** кратко описываются основные свойства пульсаров, цели и задачи работы, актуальность и научная новизна, структура диссертации, а также основные результаты, выносимые на защиту.

В **Главе 1** описывается процесс обработки данных на радиотелескопе БСА ФИАН. Подробно описана приёмная аппаратура, процесс калибровок и редукции, методика наблюдений на меридианном телескопе. Отдельный раздел посвящен помеховой обстановке и методами подавления помех при обработке.

Глава 2 посвящена поиску и исследованию интеримпульсов в большой выборке из 96 пульсаров, удовлетворяющих условиям на отношение СШ. Было найдено 12 пульсаров с интеримпульсами, проведенный анализ показал, что наблюдаемая доля пульсаров -- ортогональных ротаторов больше совместна с выводами модели, в которой в ходе эволюции магнитная ось и ось вращения становятся ортогональными, чем с моделью, где направления этих осей в итоге совпадает. Также следует отметить, что диссертант не стал замечать проблемы под ковер и написал, что пока не нашёл объяснения факт, что не было детектировано ни одного пульсара с сильным интеримпульсом (более 10% от главного импульса).

В **Главе 3** описывается исследование межзвёздной среды в двух направлениях на близкие и яркие пульсары J0826+2637 и J0953+0755. Для первого из них, обладающего двумя модами излучения, также была детально изучена статистика этих мод и нуллинг в них. У второго пульсара были получены оценки относительных амплитуд интеримпульса и моста, было показано, что интеримпульс обладает высокой переменностью и в отдельных импульсах является более ярким, чем главный импульс. Были впервые измерены частотные масштабы дифракционных мерцаний и определен масштаб рефракционных мерцаний, обнаружены вариации амплитуды сигнала с периодом порядка 130 дней.

Глава 4 посвящена поиску слабых компонент в излучении пульсаров J1543+0929, J2234+2114. Используя очень высокую чувствительность телескопа БСА ФИАН при столь длительном времени накопления наблюдений, автор смог обнаружить излучение в этих пульсарах, происходящее практически всю продолжительность периода на уровне процентов от амплитуды главного импульса. Отсутствие продолжительного затухания в этих объектах важно учитывать при дальнейшем уточнении модели излучения пульсаров.

Актуальность работы обусловлена тем, что БСА ФИАН является одним из самых мощных инструментов наблюдений на низких радиочастотах в мире, поэтому тем важнее становится его максимально эффективное использование для научных целей, не существует других наблюдений на этих частотах с сопоставимой чувствительностью.

Новизна работы заключается в обнаружении значительного количества интеримпульсов при исследовании большой выборки пульсаров, обнаружении особенностей межзвёздной среды на достаточно небольшом расстоянии от Солнечной системы в двух направлениях, детектировании радиоизлучения на протяжении всего импульса у пульсара J1543+0929.

Основными **результатами** работы являются:

1. По результатам поиска интеримпульсов в выборке из 96 пульсаров, имеющих период $P > 0,25$ с и меру дисперсии $DM < 100$ пк/см³, интеримпульсы найдены у 12 пульсаров, у 9 из них – впервые. Проведенная статистическая проверка количества наблюдаемых пульсаров с интеримпульсами подтверждает модель магнитосферы, согласно которой в ходе эволюции магнитная ось и ось вращения пульсаров становятся ортогональными.

2. Исследование вариации амплитуд главного импульса и интеримпульса радиопульсара J0826+2637 на длительном временном интервале позволили: подтвердить временной масштаб 37 дней, вызванный рефракцией на неоднородностях межзвездной плазмы; впервые обнаружить временные масштабы переменности в 5 дней и один год, связанные с рефракцией в МЗС и наличием рассеивающего слоя на близком экране, находящемся на расстоянии порядка 50 пс от Земли.

Для радиопульсара J0953+0755 измерен частотный масштаб дифракционных межзвездных мерцаний и впервые обнаружены рефракционный масштаб мерцаний 1-2 дня и модуляция излучения с характерным масштабом порядка 130 дней, возможно связанная с рефракционными мерцаниями. Измерены относительные амплитуды компонент импульса.

4. Выявлены ранее не обнаруженные детали средних профилей радиопульсаров J1543+0929 и J2234+2114. Для радиопульсара J1543+0929 выявлено межимпульсное излучение практически на всех долготах внутри периода пульсара, что до этого наблюдалось лишь у PSR J0953+0755. У PSR J2234+2114 обнаружен предимпульс, отстоящий от главного импульса на расстоянии 53° , который ранее не описывался, и имеющий относительную амплитуду 0,1.

Обоснованность и достоверность результатов подтверждается тем, что они были получены с использованием известных в мире и апробированных методов наблюдений и обработки данных. Некоторые результаты подтверждают наблюдения других групп (например, временной масштаб рефракции 37 дней для PSR J0826+2637). Результаты опубликованы в статьях в рецензируемых журналах и докладывались на российских и международных конференциях.

Научная и практическая значимость заключается, прежде всего, в обнаружении значительного количества интеримпульсов в известных пульсарах и постоянного излучения у пульсара J1543+0929. Не менее важным является и разработка новых методов анализа и обработки данных, которые в дальнейшем будут активно применяться при прецизионном исследовании пульсаров на низких частотах.

Содержание **автореферата** полностью отражает основные положения, результаты и выводы диссертационного исследования.

К сожалению, диссертация не свободна от некоторых недостатков. В работе присутствует некоторое количество опечаток и небрежностей, также стоит обратить внимание на единицы: «пс», «mas» и др.

Основное замечание же относится к Главе 2. В работе пульсары с расстоянием IP-MP, близким к 180 градусам, считаются ортогональными ротаторами (J0613+3731, J0826+2637, J2208+4056, J2305+3100), только если обратное точно не установлено из поляризметрических наблюдений (PSR J0953+0755 и J1946+1805). Этот подход требует объяснения -- почему остальные такие пульсары (3 из 4, кроме J0826+2637), для которых таких наблюдений просто не существует, автоматически приписываются к ортогональным? Может будущие наблюдения покажут, что все они соосные? Понятно, что тогда основной статистический вывод главы о превосходстве модели БГИ будет модифицирован.

Мелкие замечания

стр. 5 «. Основанные на этой величине [$\langle n_e \rangle$] расстояния до пульсаров составляют десятки килопарсек.» + стр. 26 «Таким образом, зная величину меры дисперсии, можно определить расстояние до пульсара.»

Определение расстояния обычно осуществляется с использованием гораздо более сложных моделей распределения электронов

«При прохождении радиоволны через плазму, помещённую в магнитное поле, меняется её линейная поляризация »

Плохо сформулировано, меняется положение плоскости поляризации, не она сама.

стр. 27

«Максимальная чувствительность (для всей полосы 2,5 МГц) радиотелескопа БСА, при постоянном времени 12,5 мс -- 0,2 Ян»

Это за время усреднения 12.5 мс?

стр. 32

«радиогалактики различных типов – радиогалактики обоих классов, сейфертовские галактики обоих типов, активные ядра галактик, квазары и другие компактные радиоисточники (не идентифицированного в каталогах 3C и 4C типа)».

Это всё АЯГ.

стр. 35

«Включение расстояния до пульсара в модель вычисления моментов прихода импульсов важно и по причине явления, называемого межзвездной дисперсией»

Это не так.

стр. 38

Если в какой-то день значение сигмы шумов в половине каналов, больше $5\langle\sigma\rangle$ определенного за все дни, то такой канал отбрасывается.»

Имеется в виду, наверное, день, а не канал.

стр. 43

Странно, что краткое описание работы идёт после Главы 1, а не Введения.

стр. 45

«Пульсары рождаются в результате гравитационного схлопывания сверхновых», «потери на излучение нейтронов»

Не совсем понятно, что имеется в виду во втором случае, а в первом --это взрыв сверхновой с коллапсом ядра.

стр. 47

«существует и изменение угла γ между осью вращения и магнитной осью нейтронных звезд, как видно в том числе из приблизительного равенства (II.6).»

Это равенство справедливо и при постоянном значении угла, как оно обычно и получается.

стр. 59

«Изменений в скорости вращения, когда пульсар находится в активной или пассивной стадии излучения, не найдено. »

скорости замедления

стр. 73

«Цветовая гамма соответствует диапазону амплитуд индивидуальных импульсов от 4оп (белый цвет) до максимального значения (черный цвет) за этот сеанс»

Это оттенки серого, не цветовая гамма.

стр. 78

« $r/V_{ef}=T_{ref}\theta_{scat} = 6,7 \cdot 10^{13}$ см.»

По размерности должны быть секунды.

стр. 86

«Расстояние до пульсара J0953+0755 равно 360 пк»

на стр. 80 же «Пульсар J0953+0755 – один из наиболее мощных и близких пульсаров. Расстояние до него $R = 262 \pm 5$ пк»

стр. 97

«Так как угол между магнитной осью и осью вращения мал »

Угол 60 градусов?

стр. 99

«Было обнаружено, что J1543+0929 имеет излучение практически весь период, при этом профиль является трехкомпонентным. Для J2234+2114 был обнаружен предимпульс, отстоящий от МР на 53° .»

Значит ли это, что у других пульсаров никаких особенностей найти не удалось?

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация Торопова М.О. на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, удовлетворяющей всем требованиям и критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия (по физико-математическим наукам). Считаю, что соискатель

Торопов М.О. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Официальный оппонент:
доктор физико-математических наук,
профессор РАН
зав. отделом радиоастрономии
ГАИШ МГУ

М.С. Пширков

27.08.2026

Контактные данные:
тел.: +7(916)1457042, эл. почта: pshirkov@sai.msu.ru

Адрес места работы:
119234, г.Москва, Университетский проспект, д.13,
Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга
Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова
Тел.: 8(495)9391049 ;

Подпись зав.отделом ГАИШ МГУ М.С. Пширкова заверяю

Директор ГАИШ МГУ

член-корреспондент РАН, профессор

К.А. Постнов