

ОТЗЫВ

Официального оппонента доктора физико-математических наук,
руководителя научного направления САО РАН
Мингалиева Марата Габдулловича
на диссертацию **Федоровой Виктории Александровны**
«Обнаружение и исследование спорадических всплесков на радиотелескопе
БСА ФИАН», представленную на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук
специальность 1.3.1 – Физика космоса, астрономия
(физико-математические науки)

1. Актуальность темы диссертации.

В настоящее время исследование быстрых радиовсплесков является одной из наиболее актуальных тем в астрофизике. Со времени их открытия прошло уже много лет, но до сих пор нет достаточно полной статистики по их свойствам, не проводилось детальное сравнение их характеристик на разных частотах. Представленная диссертация призвана частично, восполнить этот пробел.

Данная работа выполнена в ПРАО ФИАН и посвящена обнаружению и исследованию новых радиоастрономических событий на частоте 111 МГц – спорадических всплесков. Исследования проводились на самом чувствительном в настоящее время телескопе в этом диапазоне длин волн – радиотелескопе БСА ФИАН. Спорадические всплески – это короткие радиовсплески, обычно одиночные, длительностью порядка нескольких миллисекунд или более, иногда повторяющиеся. Их принято называть «Быстрыми Радио Всплесками» или «Fast Radio Bursts» (БРВ или FRB).

Официально первый такой БРВ был открыт в 2007 году, хотя попытки обнаружения сильных радиовсплесков предпринимались и ранее – разными группами, в разное время и в разных странах. Например, в 1970-е годы группой Н.С. Кардашева из отдела астрофизики И.С. Шкловского в ИКИ АН СССР.

Возможность наблюдений импульсов, как на высоких, так и на низких частотах позволяет сузить диапазон моделей, описывающих механизмы возникновения быстрых радиовсплесков. Ежедневный мониторинг большого участка неба с помощью высокочувствительного радиотелескопа БСА ФИАН позволяет накапливать огромную статистику по быстрым радио всплескам, а также позволяет анализировать свойства межгалактической среды и распределение в ней вещества.

Основная цель диссертации: используя БСА ФИАН на частоте 111 МГц найти БРВ с помощью специально разработанного нового метода и исследовать их характеристики.

Поэтому актуальность настоящей диссертационной работы не вызывает сомнений.

Диссертация состоит из Введения, четырех Глав, Заключения и Списка литературы. Естественно, бессмысленно излагать подробное описание диссертационной работы по разделам, однако краткое описание основных результатов я приведу.

Весьма информативное **Введение** содержит описание и современное состояние проблемы наблюдений спорадических всплесков космического радиоизлучения в различных диапазонах. Дано определение быстрых радиовсплесков и описана проблема их наблюдения. Описаны этапы развития наблюдений и исследования быстрых радиовсплесков на различных инструментах и особенно подробно – и возможно даже излишне – изложена эта история на БСА ФИАН. Сделан обзор литературы по данной тематике.

В **Главе 1** рассмотрены методы обнаружения импульсных сигналов. С этой целью, автор провел математическое моделирование обнаружения импульсного сигнала при его распространении в межзвездной среде, которая приводит к рассеиванию на неоднородностях, и, как следствие, сигнал принимает форму, отличающуюся от начального импульса. Данная методика применима для выделения слабых сигналов на фоне шумов, что и было продемонстрировано на примере пульсара B2154+40. Использование его при обработке наблюдений FRB13030 показало преимущество данного метода в выделении коротких спорадических импульсов с большой мерой дисперсии(!) перед общепринятыми методиками. Такой подход позволил повысить отношение сигнал/шум примерно в три раза. В диссертации отмечено, что это позволяет более эффективно обнаруживать только относительно широкие импульсы шириной несколько сотен миллисекунд. Тем не менее, обнаружение более 60 радиовсплесков говорит о практической ценности разработанного метода.

В **Главе 2** представлены технические характеристики БСА ФИАН, важные для проводимой работы, обсуждаются особенности наблюдений и свойства, обнаруженных БРВ. Подробно описывается процедура успешного поиска БРВ на частоте 111 МГц от известного повторяющегося события FRB121102 и других событий, они хорошо согласуются с параметрами, полученными на других частотах. Результаты, полученные по исследованию обнаруженных БРВ (более 60), сведены в Таблице 2.2. Они получены обработкой и анализом около 50 тысяч часов записей наблюдений на БСА

ФИАН. В Табл.2.1 приведены сравнительные характеристики обзора на БСА с параметрами других обзоров БРВ на других телескопах в других диапазонах.

В Главе 3 дано сравнение свойств Быстрых радиовсплесков, полученных на 111 МГц на БСА ФИАН, со свойствами на более высоких частотах другими авторами и на других инструментах. В ходе сравнительного анализа импульсов был получен принципиально новый результат, а именно – рассеяние в межгалактической среде намного меньше, чем в межзвездной среде. Автор предлагает естественное объяснение для этого: межгалактическая среда является намного более однородной, чем в межзвездная. Основные полученные в данной главе результаты суммированы в заключении к Главе 3. В частности, показано, что 1) формы распределения меры дисперсии и зависимость рассеяния от меры дисперсии, построенные для обнаруженных импульсных сигналов на 111 МГц и для БРВ на более высокой частоте (1400 МГц), в пределах погрешности совпадают, что рецензенту представляется особенно важным для оценки надежности полученных результатов.

Глава 4 посвящена поиску и обнаружению на 111 МГц импульсного излучения от одного из уникальных источников с сильным магнитным полем – от магнетара SGR 1935+2154. Все параметры в пределах погрешности измерений соответствуют параметрам, полученными другими авторами на других инструментах в широком диапазоне частот. Полученные характеристики импульса хорошо согласуются с теоретическими моделями, описывающими механизмы генерации быстрых радио всплесков.

Новизна. В диссертации получен ряд принципиально новых результатов:

- 1) Разработан алгоритм для поиска БРВ на низких частотах, с помощью которого слабые импульсы выделяются на фоне шумов;
- 2) В проведен поиск БРВ на частоте 111 МГц. В результате работы было зарегистрировано более 60 импульсов и составлен каталог импульсов на 111 МГц. Обнаружение импульсов на столь низкой частоте также является результатом, полученным впервые;
- 3) Впервые проведен сравнительный анализ радиовсплесков, зарегистрированных на частоте 111 и 1400 МГц, в ходе которого были получены новые результаты о свойствах межгалактической среды;
- 4) Впервые измерен средний по популяции спектральный индекс БРВ;

- 5) Впервые на частоте 111 МГц было зарегистрировано импульсное излучение от магнетара SGR 1935+2154, в период активности которого были зарегистрированы сигналы, по мощности аналогичные БРВ;
- 6) При поиске БРВ в направлении галактик М 31 и М 33 измеренные значения мер дисперсии импульсов позволили сделать вывод о том, что источники импульсов находятся гораздо дальше указанных галактик и не связаны с ними.

Достоверность и обоснованность вынесенных положений подтверждается использованием аналитических и экспериментальных методов исследования:

- 1) проведено математическое моделирование обнаружения искомого импульса с дальнейшей проверкой алгоритма поиска БРВ на известных объектах (пульсар B2154+40, FRB121102);
- 2) проведена тщательная обработка и анализ данных *огромного* наблюдательного материала (более 50 000 часов!);
- 3) формы распределения меры дисперсии и зависимость рассеяния от меры дисперсии, построенные для обнаруженных импульсных сигналов на 111 МГц и для БРВ на более высокой частоте (1400 МГц), в пределах погрешности совпадают, что рецензенту представляется особенно важным для оценки надежности полученных результатов;
- 4) обнаружение на 111 МГц импульсного излучения от одного из уникальных источников с сильным магнитным полем – от магнетара SGR 1935+2154, Все параметры в пределах погрешности измерений соответствуют параметрам, полученными другими авторами на других инструментах в широком диапазоне частот. Полученные характеристики импульса хорошо согласуются с теоретическими моделями, описывающими механизмы генерации быстрых радио всплесков.

Научная и практическая значимость результатов определяется тем, что традиционная методика поиска БРВ опиралась на поиск по мере дисперсии, что годилось для частот 400 МГц и выше, попытки применить ее к низким частотам оказались естественно безуспешными. Для БСА на 111МГц нужна другая методика, основанная на рассеянии – дисперсия стала много меньше – именно это и сделал диссертант. В настоящее время на опубликованные по результатам работы статьи имеется 37 ссылок, в том числе в ведущих зарубежных журналах. Часть обнаруженных импульсов внесена в каталог FRB (FRBSTATS: Catalogue). Полученные результаты при

анализе быстрых радиовсплесков, зарегистрированных на 111 МГц, в первую очередь применимы к исследованиям свойств межгалактической среды. Также как уже отмечалось выше, сам факт обнаружения быстрых радиовсплесков на столь низкой частоте позволяет отбросить часть моделей, которые запрещают появление импульсного излучения на 111 МГц, например, таких как слияние белого карлика или нейтронной звезды и черной дыры. Поиск импульсов по всему доступному участку неба позволит на практике подтвердить изотропность появления быстрых радиовсплесков на небе.

Выскажу несколько замечаний по диссертационной работе:

1) В текстах Диссертации и Автореферата отличаются количественные характеристики Структуры диссертации.

2) В пункте 3 «Основных результатов, выносимых на защиту» написано: «Показано, что по ряду свойств спорадические импульсы на 111 МГц не отличаются от быстрых радиовсплесков на более высоких частотах»; сравниваются свойства и радиовсплески, необходимо добавить слово «свойств». Естественно было бы лучше эти свойства и перечислить.

3) Стр.36, предпоследний абзац: говорится о «ширине окна» и «ширине шаблона» в единицах «точек». Было бы правильнее и понятнее обозначать в единицах времени».

4) Стр.39: ссылка на литературу «Линскоттом и др. в 1980 г. [?]» – в Списке литературы этот автор отсутствует и, видимо поэтому, редактор так обработал эту ссылку...

5) Стр. 72, подпись к Рисунку 2.26; стр.74: фраза «Амплитуда импульса приводится в единицах АЦП, под отсчетом понимается единица времени, равная 0.1 с» пробуждает в мозгу известное утверждение: «А в попугаях меня больше» ☺

6) С версиями Диссертации и Автореферата, представленными на сайте Диссертационного совета невозможно работать в электронном виде (поиск, копирование для написания рецензии и др.); можно только читать, что усложняет работу рецензента...

Однако вышеупомянутые недостатки и замечания не носят принципиального характера и абсолютно не влияют на общую высочайшую оценку работы диссертанта и никоим образом не умаляют актуальности, обоснованности и достоверности основных выводов и заключений диссертанта.

Несомненно, по общему впечатлению, богатству и важности совокупности представленных в диссертации результатов она заслуживает самой высокой оценки. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертационная работа «Обнаружение и исследование спорадических всплесков на радиотелескопе БСА ФИАН» соответствует критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней» в отношении диссертаций, представляемых на соискание ученой степени физико-математических наук, а ее автор, Федорова Виктория Александровна, безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 – Физика космоса, астрономия (физико-математические науки).

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
руководитель научного направления CAO РАН

М.Г. Мингалиев

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук
(CAO РАН)

Нижний Архыз, Зеленчукский район, Карачаево-Черкесская республика,
Россия 369167.

телефон: +7(928)363-5955

e-mail: marat@sao.ru

10.10.2023 г.

Подпись М.Г. Мингалиева заверяю

Ученый секретарь CAO РАН
к.ф.-м.н.



Е.И. Кайсина