

УТВЕРЖДАЮ
Директор Федерального государственного
Бюджетного учреждения науки «Крымская
астрофизическая обсерватория РАН»



А.Н. Ростопчина-Шаховская

« 15 » сентября 2023 г.

ОТЗЫВ

Ведущей организации Федерального государственного бюджетного
учреждения науки «Крымская астрофизическая обсерватория
Российской академии наук» (КрАО РАН)
на диссертацию Федоровой Виктории Александровны
«Обнаружение и исследование спорадических всплесков на радиотелескопе
БСА ФИАН», представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
1.3.1. «Физика космоса, астрономия».

1. Актуальность

Диссертация В.А. Федоровой посвящена одной из наиболее актуальных тем в астрофизике – исследованию быстрых радиовсплесков.

Целый ряд моделей генерации быстрых радиовсплесков показывает, что наблюдения импульсов возможны как на низких, так и на высоких частотах: например, взаимодействие компактных объектов в тесной двойной системе или при наблюдении мощных вспышек от магнетара. Другие модели напротив описывают возможность наблюдения импульсов либо на высоких частотах (если, например, предположить, что FRB представляет собой послесвечение при слиянии массивных компактных объектов), либо только

на низких (например, при радиальном излучении темной материи от молодой черной дыры).

Возможность исследовать импульсы на низких частотах трудно переоценить, поскольку это дает возможность более полно представить картину данного явления. Наблюдения одного и того же события на разных частотах позволяют вычислить спектральный индекс между этими частотами. Также 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 радиовсплескам, а также позволяет анализировать свойства межгалактической среды и распределение в ней вещества. Кроме того, существует мнение, что быстрые радиовсплески не имеют выделенных направлений. Обзор доступной для БСА части неба поможет частично дать более точный ответ в этом вопросе.

2. Новизна исследований и полученных результатов

Новизна диссертационной работы заключается в применении нового метода для поиска быстрых радиовсплесков на низких частотах.

Результаты работы, которые были получены впервые.

1. Впервые обнаружено 62 быстрых радиовсплеска на частоте 111 МГц. Определены их параметры.
2. Показано, что по ряду свойств спорадические импульсы на 111 МГц не отличаются от быстрых радиовсплесков на более высоких частотах.
3. Измерен средний спектральный индекс по радиовсплескам, обнаруженным на 111 МГц, в сравнении с импульсами на 1400 МГц.

Разработанный автором алгоритм для поиска быстрых радиовсплесков на низких частотах позволяет выделять слабые импульсы на фоне шумов. Полученный в диссертационной работе каталог импульсов на частоте 111

МГц может быть использован для дальнейшего исследования свойств межгалактической среды.

3. Степень обоснованности и достоверности каждого научного положения, выводов и заключения соискателя, сформулированных в диссертации

Обоснованность научных положений и выводов, полученных в диссертации, обеспечивается корректных современных методов математического анализа, созданием новых алгоритмов. Все приводимые результаты сопровождаются строгими доказательствами. Для всех оценок параметров быстрых радиовсплесков на 111 МГц даны оценки погрешностей.

4. Соответствие работы требованиям

Диссертационная работа соответствует требованиям, предъявленным к такого рода исследованиям.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации – 134 страницы, включая список литературы из 156 библиографических ссылок, 43 рисунка и 5 таблиц.

Во Введении обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследования, кратко изложены содержание и основные результаты диссертации с указанием их научной новизны и практической значимости.

Первая глава диссертации посвящена математическому моделированию и методике обработки данных. Выделение слабых сигналов типа FRB на фоне шумов - сложная задача. Применение имеющихся методик при более ранних анализах данных радиотелескопа БСА ФИАН не дало положительных результатов. Поэтому необходимо было создать новый метод поиска крайне слабых импульсов. Сложностей добавляет и тот факт, что основной задачей работы являлся поиск быстрых радиовсплесков в широком диапазоне мер дисперсий. Следовательно, в ходе обработки данных необходимо делать перебор этих значений в заданном диапазоне, что сказывается на времени обработки данных. Кроме того, необходимо учитывать все эффекты, сказывающиеся на импульсном сигнале в ходе его регистрации антенной. К таким эффектам можно отнести рассеяние в

межзвездной и межгалактической среде, уширение в частотных каналах. Поэтому на начальном этапе работы было принято решение найти оптимальный вариант анализа данных с радиотелескопа БСА ФИАН с временным разрешением 0.1 с.

Таким образом, с учетом всех особенностей слабых сигналов и наблюдения их в метровом диапазоне в ходе работы было проделано моделирование обнаружения искомого импульса с дальнейшей проверкой алгоритма поиска быстрых радиовсплесков на известных объектах. Методика поисков событий FRB заключалась в анализе ежедневных записей шести частотных каналов с временным разрешением 0.1 с в лучах, направление которых совпадает с тем или иным интересующим участком неба.

Во *второй главе* описан поиск быстрых радиовсплесков на частоте 111 МГц с помощью разработанной методики. За весь период поиска на радиотелескопе БСА ФИАН было обнаружено 62 новых быстрых радиовсплеска (приведены их параметры). Кроме того, в данной главе оценена вероятность случайного выстраивания шумов в динамический спектр, сделана оценка вероятности ложной тревоги. Посчитана вероятность случайного выстраивания шумовых вариаций в импульсный сигнал в случае многоканального приема.

Третья глава посвящена сравнительному анализу быстрых радиовсплесков, обнаруженных на частотах 111 и 1400 МГц. Рассеяние импульсов на неоднородностях среды представляет собой важный инструмент для исследования свойств как межзвездной, так и межгалактической среды. Сделаны минимально необходимые допущения, что, хотя межгалактическое вещество является неоднородным, но в сравнении с вкладом в рассеяние импульсов от вещества нашей и, возможно, родительской галактики вкладом межгалактического вещества в рассеяние можно пренебречь и считать его в первом приближении однородным.

Данный раздел диссертации направлен на исследование эффектов, возникающих в межгалактической среде. На основе данных построен график зависимости ширины импульсов τ_{sc} от меры дисперсии DM . Полученная степенная зависимость $\tau_{sc}(DM)$ для быстрых радиовсплесков оказалась более слабой в сравнении с $\tau_{sc}(DM)$ для пульсаров (показатель степени $k \sim 0.5$

вместо $k \sim 2$). Основное рассеяние происходит в родительской и нашей галактике, а межгалактическая среда на пути распространения является разреженной.

В главе четыре приводятся результаты поиска импульсов от уникального космического объекта, галактического магнетара SGR 1935+2154. В радиодиапазоне эти источники проявляют себя крайне слабо или просто не видны. На радиотелескопе БСА ФИАН за 32 часа наблюдений был обнаружен единичный импульс. Все параметры в пределах погрешности соответствуют параметрам, полученным в ходе наблюдения источника на других инструментах в широком диапазоне частот. Полученные характеристики импульса от галактического магнетара SGR 1935+2154 хорошо вписываются в рамки теоретических моделей, рассматривающих механизмы генерации быстрых радиовсплесков.

Соискатель разработал алгоритм для поиска быстрых радиовсплесков на низких частотах, с помощью которого слабые импульсы выделяются на фоне шумов, в несколько этапов проведен поиск быстрых радиовсплесков на частоте 111 МГц. В результате работы было зарегистрировано более 60 импульсов и составлен каталог импульсов на 111 МГц. Проведен сравнительный анализ радиовсплесков, зарегистрированных на частоте 111 и 1400 МГц, в ходе которого были получены новые результаты о свойствах межгалактической среды. Показано, что по ряду свойств спорадические импульсы на 111 МГц не отличаются от быстрых радиовсплесков на более высоких частотах. Путем сравнения ширины импульсов на 111 и 1400 МГц показано, что зависимость ширины от частоты подчиняется закону $\tau \sim f^{-2}$, и, таким образом, если интерпретировать ширину импульсов как рассеяние в среде, то свойства межгалактической среды принципиально отличаются от свойств межзвездной среды. По измерениям флюэнса на частотах 111 и 1400 МГц измерен средний по популяции спектральный индекс быстрых радиовсплесков. На частоте 111 МГц было зарегистрировано импульсное излучение от магнетара SGR 1935+2154, в период активности которого были зарегистрированы сигналы, по мощности аналогичные быстрым радиовсплескам.

5. Замечания по диссертации

Существенных замечаний по диссертации нет. В пункте 1.2 «Обработка данных» более детально стоило бы рассмотреть предложенную методику выделения слабых импульсов на фоне шумов (метод выделения импульсного сигнала и метод свертки с шаблоном согласованной формы) в сравнении с общепринятыми методиками. В работе имеется ряд опечаток, несогласования падежей, блекло по всему тексту пропечатан символ «тире», в рисунках иногда нет названий или размерности шкал, но число их невелико. Тем не менее, текст диссертации четко изложен и хорошо структурирован. Приведен достаточный иллюстративный и табличный материал, а основные результаты подробно обоснованы. Все результаты диссертации, выносимые на защиту, являются новыми и значимыми. Достоверность научных результатов обоснована тем, что наблюдения проводились с помощью высокочувствительного радиотелескопа БСА ФИАН. Накоплена огромная статистика по быстрым радиовсплескам. Проведен анализ свойств межгалактической среды и распределение в ней вещества.

Отмеченные недостатки ни в коей мере не умаляют достоинств диссертационной работы В.А. Федоровой ввиду важности и сложности затронутых тем.

Вывод

Результаты диссертации могут быть использованы в ГАИШ МГУ, ИПА РАН, ИНАСАН, ГАО РАН, САО РАН, КраО РАН и других отечественных и зарубежных организациях, где проводятся работы по исследованию всплесков космического излучения в различных диапазонах длин волн.

Автореферат диссертации в полной мере отражает содержание работы. По теме диссертации автором опубликовано 6 статей в рецензируемых журналах из списка ВАК, результаты были представлены на 12 конференциях.

Диссертация ФЕДОРОВОЙ Виктории Александровны «Обнаружение и исследование спорадических всплесков на радиотелескопе БСА ФИАН» представляет собой цельную научно-

квалификационную работу, выполненную на высоком уровне, которая отвечает всем критериям, установленным п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утверждённого постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013 г., а соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. «Физика космоса, астрономия».

Отзыв обсужден и одобрен на объединенном астрофизическом семинаре КраО РАН 11.09.2023 г. Протокол от 28 августа 2023 года. Председатель семинара П.П. Петров.

П.П. Петров

Отзыв на диссертацию подготовлен доктором физико-математических наук (01.03.02 – «Астрофизика, радиоастрономия»), зам. директора по научной работе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Крымская астрофизическая обсерватория РАН» (298409, Республика Крым, Бахчисарайский р-н, пгт. Научный, volvach@craocrimea.ru).

А.Е. Вольвач

Подпись А.Е. Вольвача заверяю. Начальник отдела кадров ФГБУН «КраО РАН»



А.С. Семенова

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Крымская астрофизическая обсерватория РАН» (ФГБУН «КраО РАН»)

E-mail: crao@inbox.ru

Телефон: + 7 (365554) 71161

Почтовый адрес: 298409, Республика Крым, Бахчисарайский р-н, пгт. Научный