

УТВЕРЖДАЮ:
Первый проректор
федерального государственного
автономного образовательного учреждения
высшего образования

«Южный федеральный университет»

д.х.н., старший научный сотрудник

А.В. Метелица

«16» октября 2024 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Южный федеральный университет»
на диссертацию Шевченко Антона Валерьевича
«Мониторинг рентгеновских двойных звёзд со струйными выбросами»
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.1 – Физика космоса, астрономия.

Диссертационная работа посвящена исследованию временных и спектральных характеристик радиоизлучения микроквazarов на телескопе РАТАН-600. Микроквazarы представляют собой уникальные астрофизические лаборатории для изучения физики аккреции и релятивистских выбросов. Эти объекты состоят из двух звезд: релятивистского компаньона (черной дыры или нейтронной звезды) и обычной звезды.

Актуальность работы обусловлена тем, что микрокварзы дают возможность исследовать релятивистские процессы на малых временных масштабах, что невозможно для их внегалактических аналогов - кварзов. Изучение микрокварзов важно для понимания механизмов формирования и коллимации релятивистских струй, процессов ускорения частиц до высоких энергий, расшифровки взаимосвязи между изменениями в аккреционном потоке и активностью джетов.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложения. Она содержит 125 страниц, 40 рисунков, 11 таблиц. Список литературы содержит 246 источников.

Во **введении** обосновывается постановка задачи исследования. Представлен обзор наблюдательных данных по рентгеновским двойным звездам со струйными выбросами. Приводятся примеры физических процессов, которые могут быть ответственными за генерацию излучения от микрокварзов в различных диапазонах электромагнитного спектра. Обосновывается актуальность работы, формулируются цели и задачи исследования. Акцентируются научная новизна, научная и практическая значимость, а также положения, выносимые на защиту.

В **первой** главе приводятся характеристики РАТАН-600, методы исследования микрокварзов в радиодиапазоне, включая обработку записей и калибровку по потоку. Описаны основные режимы работы антенны и характеристики радиометрических комплексов, в том числе представлен обзор нового режима многоазимутальных наблюдений. Кратко описана методика обработки наблюдений.

Во **второй** главе представлены Результаты многоволновых исследований микрокварзов SS 433, GRS 1915+105, LSI+61°303 на РАТАН-600.

Раздел 2.1 посвящен изучению характеристик микроквара SS 433. Данные мониторинга этого объекта на РАТАН 600 сопоставлены с данными в рентгеновском, оптическом и инфракрасном диапазонах.

Изучение SS 433 имеет важное значение для широкого круга астрофизических проблем, включая эволюцию тесных двойных звёзд, расшифровку механизмов сверхкритической аккреции, формирования релятивистских струй в различных объектах (от микрокваров до активных ядер галактик), а также взаимодействие этих струй с окружающей средой. Диссертационная работа дополняет и углубляет имеющиеся знания об этих процессах, благодаря проведенным автором многочастотным наблюдениям микроквара SS 433 на РАТАН 600, в том числе в период резко возросшей активности объекта летом 2018 года.

Раздел 2.2 посвящен исследованию микроквара GRS 1915+105. Проведен долговременный мониторинг этого объекта на РАТАН-600. Представлены результаты систематических многочастотных измерений нескольких серий радиовспышек с 2019 по 2021 гг., а также многоазимутальные наблюдения ярчайшей радиовспышки в августе 2023 года. Проанализированы внутрисуточные вариации радиопотока этой вспышки, включая анализ эволюции радиоспектра и выявление квазипериодических осцилляций. Показано, что система может находиться в радиотихом состоянии с минимальным потоком в течение длительного времени, а затем резко переходить в активную фазу с интенсивными струйными выбросами. Изменение спектра объекта со временем ассоциируется с расширением плазмонов. Полученные результаты сопоставлены с данными рентгеновских обсерваторий в период с 2019 по 2023 годы.

Раздел 2.3 посвящен исследованию микроквара LS I+61°303. Проведен долговременный мониторинг этого объекта на РАТАН-600. В результате анализа кривых блеска установлена периодичность вариации

темпа аккреции вещества на компактный объект (26.47 дней) и период прецессии струйных выбросов (26.95 дней). Анализ эволюции радиоспектров этого источника подтверждает синхротронную природу излучения и наличие мощных выбросов в струях. В диссертационной работе сделан вывод, что модель прецессирующего микроквара позволяет описать имеющиеся наблюдательные проявления LS I+61°303.

Третья глава посвящена результатам исследований вспышечной активности микроквара Cygnus X-3 (Лебедь X-3) в апреле–мае 2019 года в широком интервале частот радиодиапазона. Система Лебедь X-3 выделяется среди микрокваров происходящими время от времени гигантскими радиовспышками, когда за несколько дней потоки могут вырасти в тысячи раз от предвспышечного уровня.

Раздел 3.1 посвящен исследованию радиовспышек в системе Лебедь X-3 в мае 2019 года с использованием низкочастотных наблюдений LOFAR (143.5 МГц) и данных РАТАН-600 и АМІ (15 ГГц). Многочастотный подход позволил проследить эволюцию спектра излучения и оценить физические параметры вспышки. Данные РАТАН-600 на частотах 1.25 и 2.3 ГГц сыграли ключевую роль в построении широкополосного спектра, определении начала вспышки и отслеживании ее эволюции.

В разделе 3.2 обсуждаются результаты внутрисуточных измерений микроквара Лебедь X-3 на РАТАН-600 в режиме многоазимутальных наблюдений. Представлены уникальные данные о быстрой переменности источника. Впервые получена информация об эволюции спектра вспышечного излучения на временных масштабах, сравнимых с орбитальным периодом системы. Важным результатом является обнаружение быстрой (около 10 минут) переменности потока во время вспышек. В работе сделан анализ подходящей геометрии струйного выброса, при которой возможна быстрая эволюция радиоизлучения в оптически толстой среде.

В **заключении** приведены основные результаты диссертационного исследования.

Результаты диссертации отражены в 4 статьях в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК, дополнительно представлены в материалах 4 конференций и 13 электронных публикациях.

Полученные в диссертационной работе собственные наблюдения излучения микроквazarов на РАТАН 600, их анализ и интерпретация, а также составление литературного обзора наблюдений на других телескопах является несомненным вкладом для возможности развития исследований в этом направлении.

Отметим некоторые недостатки работы:

1. Анализ данных РАТАН-600 для микроквзара SS 433 представлен довольно поверхностно. Отсутствуют количественные оценки или моделирование для подтверждения выдвинутых гипотез о механизмах, формирующих струйные выбросы в этой системе. Не конкретизировано, каким образом многочастотные данные телескопа РАТАН-600 приближают к пониманию процессов, отвечающих за формирование джетов.

2. Выводы о расширении плазмонов в струйных выбросах микроквзара GRS 1915+105 не достаточно аргументированы.

3. Неаккуратно выполнены ссылки на результаты исследований, выполненных на других телескопах: иногда по тексту невозможно понять, кому именно принадлежит тот или иной вывод.

4. Технические замечания.

В приложении представлены данные только для одного объекта SS 433, результаты раздела 2.3 не вынесены в перечень достижений, выводы всех разделов следовало бы обосновать во взаимосвязи с физикой, лежащей в

основе наблюдений. Желательно для каждой главы указывать в какой рецензируемой статье отражены представленные в ней результаты.

Встречается некорректное использование терминов:

1) в разделе 3.2 говорится об оптически толстом и оптически тонком спектре вместо слов о спектре излучения от оптически тонкой и толстой среды;

2) во введении написано, что компоненты двойной системы «вращаются вокруг общего центра масс». Компоненты двойной системы *обращаются* вокруг общего центра масс;

3) в разделе 2.3 говорится о модуляции, «связанной с биениями периода» и с «биениями между периодами», вместо физического явления биения, которое проявляется при сложении колебаний с близкими периодами.

Недостатки работы не умаляют значимости результатов, полученных в диссертации, не затрагивают основных ее выводов и положений, выносимых на защиту.

Диссертационная работа Антона Валерьевича Шевченко «Мониторинг рентгеновских двойных звёзд со струйными выбросами» удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, является завершённым научным исследованием, существенно расширившим научные представления о физике микроквazarов. Ее автор Антон Валерьевич Шевченко заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 – Физика космоса, астрономия.

Отзыв подготовлен к.ф.-м.н., доцентом (01.03.02 - астрофизика и звездная астрономия), зав. кафедрой физики космоса Южного федерального

университета Ачаровой Ириной Александровной (344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42, тел. 8(928)1046770, email: iaacharova@sfedu.ru).

Отзыв обсужден и утвержден на заседании объединенного астрофизического семинара кафедры физики космоса Южного федерального университета и отдела космических исследований Научно-исследовательского института физики Южного федерального университета 15 октября 2024 г., протокол № 5.

Зав. кафедрой физики космоса

Южного федерального университета

кандидат физ.-мат. наук, доцент,

председатель семинара

Ирина Александровна Ачарова

Сведения о ведущей организации

344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42,

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет»

Тел.: +7(863) 305-19-90,

факс: +7(863) 263-87-23,

email: info@sfedu.ru

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»	
Личную подпись	<u>Ачаровой И.А.</u>
ЗАВЕРЯЮ:	
Специалист по управлению персоналом	
1 категории	<u>Шурап Е.П.</u>
« 16 »	<u>октябрь</u> 2024

