

О Т З Ы В

официального оппонента

на диссертацию **Хабибуллина Ильдара Инзиловича**

«Внегалактические транзиентные источники в планируемом обзоре неба обсерватории Спектр-РГ и архивных данных ROSAT и XMM-Newton.

Моделирование рентгеновского излучения релятивистских струй»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических
по специальности: 01.03.02 - Астрофизика и звездная астрономия.

Тема исследований, проведенных в диссертации, в эпоху спутниковой рентгеновской астрономии актуальна и весьма значима. Автор решил ряд важнейших задач, нацеленных на перспективы идентификации и изучения внегалактических транзиентных рентгеновских источников с борта космической обсерватории Спектр-РГ, запуск которой планируется на 2017 год. Прежде всего была выработана конкретная стратегия поиска рентгеновских послесвечений гамма-всплесков в режиме обзора неба рентгеновскими телескопами e-ROSITA и ART-XC. Характерный временной масштаб рентгеновских послесвечений порядка одного дня.

Кроме того, в диссертации детально рассмотрены перспективы обнаружения событий приливного разрушения звезд вблизи сверхмассивных черных дыр с последующей аккрецией вещества, которая происходит с образованием аккреционного диска и, возможно, релятивистских струйных выбросов. Характерное время уменьшения яркости каждого из таких событий порядка одного года. Методика обнаружения и идентификации вспышек, связанных с приливным разрушением звезд, была апробирована на основе обработки архивных данных обзора всего неба, полученных с обсерватории ROSAT в областях перекрытия с полями наблюдений обсерватории XMM-Newton.

Во второй части диссертации проведено моделирование спектров рентгеновского излучения барионных релятивистских джетов типа SS 433 с учетом спектральных линий, соответствующих переходам в водородо- и гелию-подобных ионах железа и никеля в диапазоне энергий 6.6 - 7.9 кэВ, а также кальция, аргона, серы и кремния в диапазоне энергий 1.8 - 3.9 кэВ.

Диссертация состоит из 6 глав объемом в 150 страниц, содержит 24 рисунка и 16 таблиц. Списки цитируемой литературы, отдельные к каждой главе, в сумме содержат 253 публикации.

В первой главе, она же введение, обосновываются актуальность и цели работы.

Вторая глава посвящена исследованию перспектив обнаружения рентгеновских послесвечений гамма-всплесков в ходе обзора всего неба телескопом eROSITA. Произведен детальный расчет ожидаемого темпа детектирования послесвечений в эксперименте eRASS в рамках двух основных задач с разным способом детектирования послесвечений. Первая задача предполагает отсутствие какой-либо априорной информации о самом гамма-всплеске. В рамках второй задачи проводится поиск послесвечений гамма-всплесков, которые уже были зарегистрированы каким-либо гамма-монитором. Для восстановления параметров закона изменения наблюдаемого рентгеновского потока в диапазоне энергий 0.5 - 2 кэВ со временем в рамках первой задачи требуется как минимум три измерения этого потока выше порогового уровня. Во второй задаче достаточно лишь одного статистически значимого детектирования излучения послесвечения. В работе было проведено Монте-Карло моделирование послесвечения длинных гамма-всплесков для трех разных моделей, которые отличаются друг от друга нормировкой числа гамма-всплесков в год на всем небе. Найденные в результате моделирования скорости детектирования в основном подтвердили аналитические расчеты автора. Предложены способы отсева других типов переменных рентгеновских источников таких как активные ядра галактик или звездные вспышки, которые

будут искажать первичную выборку кандидатов в рентгеновские послесвечения. Помимо послесвечений от длинных гамма-всплесков в работе даны оценки ожидаемого детектирования послесвечений от коротких гамма-всплесков, ультражестких (ГЭВ-ных) гамма-всплесков, а также рентгеновских вспышек.

В третьей главе исследуются перспективы детектирования телескопом eROSITA событий приливного разрушения звезд сверхмассивными черными дырами. Дан краткий обзор ожидаемых наблюдательных проявлений в рентгеновском диапазоне событий, ассоциируемых с приливным разрушением звезд, предложена методика их обнаружения и проведен расчет ожидаемого количества детектирований. Методика идентификации основана на поиске источников с «мягким» рентгеновским спектром и очень большой (как минимум в 10 раз) амплитудой переменности на масштабе одного года. Вычислено предельное красное смещение $z \sim 0.14 - 0.16$, до которого еще возможно детектирование событий приливного разрушения звезд сверхмассивными черными дырами в диапазоне масс ($10^6 - 10^7$) масс Солнца. Показано, что это красное смещение практически не зависит от массы черной дыры в результате взаимной компенсации максимальной болометрической светимости, которая равна Эддингтоновскому пределу, и уменьшения ее доли, попадающей в область чувствительности телескопа eROSITA. Предсказывается ожидаемый полный темп детектирования этим телескопом приливного разрушения звезд сверхмассивными черными дырами на уровне несколько тысяч событий за все время проведения обзора. Примерно половина из этих событий будет обнаружена на сверхкритической фазе, когда светимость равна Эддингтоновскому значению. Вторая половина будет задетектирована на фазе спадания кривой блеска. Ожидается, что несколько десятков событий будут открыты на относительно короткой начальной стадии возрастания блеска.

Глава 4 посвящена систематическому поиску вспышек рентгеновского излучения в результате приливного разрушения звезд сверхмассивными черными дырами среди источников каталога ROSAT(RASS), которые оказались в полях наблюдений обсерваторией XMM-Newton. Последние проводились 10-20 лет после обзора RASS. Основу метода составлял поиск источников с большой амплитудой уменьшения потока на временном интервале порядка года, которые имели мягкий рентгеновский спектр. Были отобраны источники, яркие в обзоре RASS, но сильно ослабевшие или совсем исчезнувшие на момент времени случайного наблюдения телескопом XMM-Newton. После отсева источников, которые были идентифицированы в основном с аккрецирующими белыми карликами и внегалактическими источниками в списке возможных кандидатов в события, связанные с приливными разрушениями звезд, осталось 8 кандидатов. В результате индивидуального изучения каждого из кандидатов было обнаружено от двух до четырех источников со свойствами, совместимыми с теми, которые предсказывает картина приливного разрушения звезд сверхмассивными черными дырами. На основе этой выборки была оценена средняя частота событий приливного разрушения звезд, которая оказалась на уровне $R \sim 3 \times 10^{-5}$ в год на галактику. Автор осознает, что в действительности только у одного из кандидатов ассоциация с приливными разрушениями звезд однозначно установлена и предлагает дальнейшие исследования, в первую очередь проведение оптических спектроскопических наблюдений соответствующих кандидатов.

В пятой главе проводится моделирование рентгеновского излучения барионных релятивистских джетов на примере уникальной галактической системы SS 433. Расчеты проведены в рамках более рафинированной (по сравнению со стандартной) модели, в которой в уравнении теплового баланса потери энергии рассчитываются в корональном приближении горячей оптически тонкой плазмы. Выделены два предельных режима охлаждения джета, в одном из которых преобладает охлаждение за счет адиабатического охлаждения, а во втором – за счет потерь на излучение. В работе впервые проводится расчет влияния эффектов рассеяния внутри джета на интенсивность и профили спектральных линий, соответствующих переходам в водородо- и гелию-подобных ионов железа, никеля, кальция, аргона, серы и кремния. Путем детального моделирования спектра выходящего

излучения методом Монте-Карло, развитым в классической работе 1983 года Поздняковым Л.А., Соболев И.М. и Сюняевым Р.А., было показано, что в результате резонансного рассеяния фотонов в некоторых ярких линиях увеличивается время их жизни в джете и, следовательно увеличивается вероятность однократного комптоновского рассеяния фотонов на свободных электронах. Как результат, у линий появляются широкие крылья с заметной асимметрией. Измерение точной формы профиля линии с учетом рассеяния дает дополнительную информацию о концентрации свободных электронов и распределении температуры вдоль джета. В виду большой важности в работе произведен анализ влияния на наблюдательные характеристики линий таких эффектов как наличие сателлитов ярких линий, нутаций, а также процессов фотоионизации и фотовозбуждения. Детальные прецезионные расчеты, проведенные в диссертации, очень своевременны в связи с появлением в ближайшем будущем рентгеновских обсерваторий типа ASTRO-H, которые будут оснащены спектральными приборами с разрешением в несколько эВ.

В шестой, заключительной главе сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

Характеризуя диссертацию в целом, следует отметить новизну проведенных автором исследований и полученных результатов. Каждое научное заключение, выносимое на защиту, хорошо обосновано и достоверно. Выводы и рекомендации диссертанта весьма значимы для такой области науки, как астрофизика высоких энергий. Основные результаты диссертации неоднократно докладывались на семинарах и ряде международных конференций и опубликованы в периодических научных журналах с высоким рейтингом.

У рецензента есть замечания по оформлению диссертации. Так в подписи к рисунку 3.4 тонкая вертикальная прямая обозначена как кривая линия. В подписи к рисунку 5.10 левая и правая панели обозначены как верхняя и нижняя панели. Имеются опечатки в тексте, но в достаточно умеренном количестве. Эти недостатки никак не влияют на высокое научное содержание диссертации.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.03.02, астрофизика и звездная астрономия, а ее автор, **Хабибуллин Ильдар Инзилович**, заслуживает присвоения ему степени кандидата физико-математических наук.

Автореферат диссертации соответствует ее содержанию.

Заведующий отделом релятивистской астрофизики
ГАИШ МГУ им. М.В. Ломоносова, профессор,
доктор физико-математических наук

Н.И. Шакура

119991, Москва, Университетский пр., 13,
Государственный астрономический институт
им. П.К. Штернберга

Телефон: 495-939-50-06

Электронный адрес: nikolai.shakura@gmail.com

Отзыв заверяю:

Директор ГАИШ, академик РАН, профессор



4.12.15

А.М. Черепашук