

## Отзыв 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»,  
представленной на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по специальности:  
01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия.

Диссертация посвящена поиску транзиентных источников в планируемом обзоре неба СПЕКТР-РГ. Это рентгеновские послесвечения гамма-всплесков, а также недавно обнаруженные события приливного разрушения звезд в поле сверхмассивных черных дыр (СМЧД) в ядрах галактик. Сейчас в астрофизике уже есть определенные идеи в понимании рентгеновских транзиентов этих двух типов объектов, однако, только в общих чертах. Для дальнейшего прогресса необходимо систематическое исследование этих уникальных вспышек, основанное на обзоре всего неба. Эта тема представляет весьма актуальной, поскольку в планируемом полном обзоре обсерваторией СПЕКТР-РГ будут даны принципиально новые результаты. Вторая часть диссертации посвящена моделированию рентгеновского излучения релятивистских струй SS433, единственного известного в Галактике сверхкритического аккретора. Впервые была построена адекватная модель струй SS433 с учетом непрозрачностей как в резонансных линиях, так и по томсоновскому рассеянию. Фактически, в этой диссертационной работе было доказано, что релятивистских струях SS433 реально наблюдается необычный химический состав, который, вероятно, производится в сверхкритическом аккреционном диске. Очевидно, что эта тема также является актуальной. Исследования сверхкритических аккреционных дисков в астрофизике только начинаются, конечно, надежные данные и физические параметры струй SS433 будут востребованы.

Диссертация И.И. Хабибуллина состоит из 6 глав, 24 рисунков и 16 таблиц, список цитированной литературы состоит из 253 наименований, общий объем диссертации состоит из 150 страниц.

Во введении (первая глава) обосновывается актуальность и цели работы.

Во второй главе рассматривается задача обнаружения космических послесвечений гамма-всплесков в ходе обзора всего неба рентгеновским телескопом eROSITA (eRASS) космической обсерватории СПЕКТР-РГ. Здесь рассматривается два варианта, первый — обнаружение послесвечений без какой-либо априорной информации о гамма-всплеске, и второй — поиск послесвечений по уже зарегистрированным событиям каким-либо обзором неба. Для первого варианта была разработана методика обнаружения и отождествления послесвечений основанная на поиске источников со степенным ходом спада яркости на масштабе одного дня. Было проведено моделирование методом Монте Карло с заданными спектральными и временными характеристиками послесвечений, оценены пороговые уровни регистрации потоков. По первому критерию была найдена оценка ожидаемого темпа детектирования от 4 до 8 событий в год. Регистрация по рентгеновским данным дает более надежную

(несмещенную) длинных гамма-событий. По второму критерию была сделана оценка от 20 до 55 событий в год. Отмечено, что кроме длинных гамма-всплесков, возможно детектирование и коротких всплесков на уровне около 1 одного события в год.

В третьей главе диссертации был рассмотрен вопрос обнаружения событий приливного разрушения звезд центральными СМЧД. Считается, что такие черные дыры должны присутствовать в ядре почти каждой галактики. Были сделаны оценки по эмпирическим (сейчас известно около двух десятков таких событий) и по теоретическим данным. На основании примерно известных кривых блеска таких событий в рентгеновском диапазоне (это мягкие рентгеновские источники), амплитуды переменности, типа спектра, расчета К-поправки, были сформулированы критерии частоты обнаружения таких событий обзором eRASS. Было проведено моделирование для трех типов масс СМЧД, от миллиона до 10 млн масс Солнца и показано, что эффективность детектирования слабо зависит от массы черной дыры. Найдено, что по результатам обзора eRASS может быть зарегистрировано до нескольких тысяч таких событий в локальной Вселенной (до красных смещений 0.15). Также была сделана оценка приливных разрушений с релятивистскими джетами вплоть до красных смещений около 4.

В четвертой главе представлены результаты приливных разрушений звезд по данным рентгеновской обсерватории ROSAT (обзор RASS). Автором было выделено 8 потенциальных объектов, которые могли быть результатом приливного разрушения СМЧД наиболее перспективными оказались 3-4, которые не ассоциировались с активными ядрами галактик. По этим событиям была сделана оценка частоты появления в год на галактику, которая неплохо согласуется с предыдущими оценками. Как и в случае гамма-всплесков (вторая глава) в диссертации были рассмотрены другие сильно-переменные рентгеновские объекты, активные ядра галактик, катаклизмические переменные и звезды с сильной корональной активностью, были предложены способы отбраковки таких объектов.

Я хочу заметить, что совсем недавно был обнаружен новый тип объектов, так называемые ULS (ультраяркие мягкие источники) во внешних галактиках. Это сильно-переменные объекты, некоторые из них транзиентные, вероятно это сверхкритические аккреционные диски по типу SS433. Несмотря на то, что светимость этих объектов на 2-4 порядка ниже ожидаемой светимости TDE, мы не можем быть уверенными в знании расстояний до TDE. Возможно, некоторые объекты из списка главы 4 могут быть ULS. Возможно также открытие такого типа объектов в обзоре eRASS.

Пятая глава диссертации посвящена моделированию рентгеновского излучения релятивистских струй объекта SS433. Как отмечалось выше, впервые была построена адекватная модель струй SS433 с учетом непрозрачностей по томсоновскому рассеянию и в наиболее ярких резонансных линиях водорода- и гелио-подобных ионов. Было проведено моделирование переноса излучения в линиях с учетом перераспределения между тремя компонентами линии, которые в данный момент не могут быть разрешены в наблюдениях. Я благодарен диссертанту за проведение детальных расчетов теплового излучения струй SS433, особенно в том плане, что наши предыдущие расчеты не претерпели значительных изменений после детальных расчетов диссертанта. Здесь были учтены эффекты рассеяния излучения внутри

струи, эффекты тонкой структуры в линиях, эффекты комптонизации излучения резонансных линий. По поводу сноски на стр. 139, я хочу заметить, что Маршалл и др. (2002) считали раствор струи SS433 нестандартным способом, возможно с этим связано расхождение между шириной линии и раствором струи и их работе.

Никаких существенных недостатков в диссертации И.И. Хабибуллина я не заметил. Встречаются некоторые типичные грамматические ошибки, нашел 2-3 опечатки в таблицах. В целом диссертация производит очень хорошее впечатление. Автореферат хорошо отражает содержание диссертации. Все основные результаты опубликованы в ведущих мировых журналах.

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.

Официальный оппонент,  
заведующий лабораторией физики звезд  
Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки Специальная астрофизическая  
обсерватория Российской академии наук,  
профессор, доктор физико-математических наук

С.Н. Фабрика

Почтовый адрес: 369167, пос. Нижний Архыз,  
Карачаево-Черкесская республика,  
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Специальная астрофизическая  
обсерватория Российской академии наук

Телефон: 8782293369  
Электронный адрес: [fabrika@sao.ru](mailto:fabrika@sao.ru)

Подпись С.Н. Фабрики заверяю:  
Ученый секретарь  
кандидат физико-математических наук



Е.И. Кайсина

10 декабря 2015 г.