

“ УТВЕРЖДАЮ ”

Проректор по научной деятельности

Казанского (Приволжского)

федерального университета

проф. Нургалиев Д.К.

“22” февраля 2017 г.



Отзыв Ведущей организации

на диссертацию **Просветова Артема Владимировича**

**ПЕРЕМЕННОСТЬ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И
ШИРОКОПОЛОСНЫЕ СПЕКТРЫ АККРЕЦИРУЮЩИХ ЧЕРНЫХ ДЫР В
МАЛОМАССИВНЫХ ДВОЙНЫХ СИСТЕМАХ,**

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 01.03.02 - Астрофизика и звездная астрономия

К настоящему времени известно, что аккрецирующие черные дыры в маломассивных двойных звездных системах составляют более 80-ти процентов всех черных дыр, обнаруженных в нашей Галактике. Благодаря работе на орбите космических рентгеновских обсерваторий - INTEGRAL, SWIFT, RXTE - удалось зарегистрировать рентгеновское излучение группы аккрецирующих черных дыр в периоды их вспышечной активности. Такие фазы, связанные с переменным темпом аккреции вещества на черную дыру, представляют уникальную возможность исследовать режимы и геометрию аккреционных течений, которые существенно различаются в "жестком" и "мягком" состояниях источника. Многокомпонентная структура аккреционного диска порождает сложный наблюдаемый спектр излучения в широком энергетическом диапазоне. Поэтому принципиально важной задачей являются квазиодновременные наблюдения указанных источников во вспышечной стадии как в рентгеновском, так и в оптическом диапазонах. Это может позволить в ряде случаев сделать определенный выбор между различными теоретическими моделями аккреционных течений. Диссертационная работа А.В. Просветова посвящена

исследованию важнейших характеристик излучения аккрецирующих черных дыр, а научные проблемы, рассматриваемые в диссертации, имеют исключительно **высокую актуальность**.

Диссертация состоит из Введения, трех глав и Заключения – всего 97 страниц, включая 44 рисунка, 7 таблиц, список цитируемой литературы, содержащий 115 ссылок.

Во Введении сформулированы цели и задачи диссертационной работы, показаны ее актуальность и новизна, теоретическая и практическая значимость. **Апробация** работы обеспечена выступлениями автора на 9-ти российских и 5-ти международных научных конференциях. Основные положения диссертации опубликованы в 5 статьях в рецензируемом российском журнале, входящем в Перечень ВАК.

Первая Глава посвящена описанию приборов и методов исследования. Основными приборами являются современные рентгеновские орбитальные обсерватории - INTEGRAL, SWIFT, RXTE. Наземные оптические наблюдения были выполнены с помощью 1.5-метрового Российско-Турецкого телескопа РТТ-150. Необходимо отметить, что исследуемые источники расположены на небе в направлении на центр Галактики и их оптические наблюдения в российских условиях были возможны только благодаря географическому расположению РТТ-150 в южных широтах.

В пункте 1.2 кратко описаны варианты фрактального анализа, использованные в диссертационной работе для описания свойств рентгеновских кривых блеска исследованных источников.

Вторая Глава посвящена исследованию рентгеновского и оптического излучения трех маломассивных рентгеновских систем с черными дырами SWIFT J174510.8-262411, MAXI J1836-194, MAXI J1828-249. Рентгеновские данные были получены орбитальными обсерваториями INTEGRAL, SWIFT, RXTE, а оптические - с помощью РТТ-150. Дополнительно использованы наблюдения ультрафиолетового и оптического телескопа UVOT, установленного на борту обсерватории SWIFT. Диссертантом было показано, что ультрафиолетовое, оптическое и инфракрасное (UVOIR) излучение исследуемых рентгеновских новых на затухающей стадии вспышки может быть описано продолжением их

рентгеновского спектра, степенного в диапазоне 0.3 - 60 кэВ с экспоненциальным завалом на энергиях > 60 кэВ. Присутствия чернотельного излучения, ассоциированного с внешними холодными областями аккреционного диска, в спектрах этих источников на энергиях 1 эВ - 200 кэВ в их «жестком» состоянии выявлено не было. При темпе аккреции, соответствующем наблюдаемой рентгеновской светимости, измеренный поток UVOIR излучения источников превосходил возможный вклад диска более чем на порядок величины. В случае рассмотренного двухкомпонентного состояния рентгеновской новой MAXI J1828-249, наблюдаемое UVOIR излучение вблизи максимума вспышки 2013 г. не могло быть объяснено исключительно чернотельным излучением внешних областей аккреционного диска, даже многократно усиленным прогревом его поверхности жесткими фотонами. Экстраполяция в данную область степенной компоненты его жесткого рентгеновского излучения может объяснить недостающее UVOIR излучение источника. Таким образом показано, что UVOIR излучение рентгеновских новых SWIFT J174510.8-262411, MAXI J1836-194 и MAXI J1828-249 может быть объяснено в предположении, что доминирующая его часть образуется в области основного энерговыделения вблизи черной дыры - там же, где формируется их жесткое излучение. Этот вывод является одним из важнейших **практических** итогов диссертации, представляя несомненный интерес для теории дисковой аккреции

Третья Глава посвящена исследованию характеристик временной переменности рентгеновского излучения микроквара GX339-4 и рентгеновской новой SWIFT J174510.8-262411. В диссертационной работе были использованы методики Фурье-анализа и фрактальной размерности. **Достоверность** получаемых результатов была проверена применением использованных методик к тестовым кривым блеска с известными параметрами.

А.В. Просветовым была показана корреляция фрактальной размерности кривых блеска в диапазоне 3 – 15 кэВ с частотой пика квазипериодических осцилляций (QPO) в спектрах мощности источников GX 339-4 и SWIFT J174510.8-262411, находящихся в "жестком" состоянии. Было продемонстрировано, что у кривых блеска исследуемых источников, находящихся в "жестком" состоянии, в диапазоне 20 – 80 кэВ в наблюдениях с зарегистрированным QPO изменение фрактальной размерности было меньше, чем в диапазоне 3 – 20 кэВ. Также была

продемонстрирована корреляция между степенью поляризации радиоизлучения и частотой пика QPO в рентгеновском диапазоне, наблюдаемая во время вспышки источника SWIFT J174510.8-262411.

В Заключении приводятся итоги работы и обсуждаются перспективы дальнейших исследований.

Диссертация А.В. Просветова представляет собой оригинальное завершённое научное исследование с ярко выраженной **новизной** в интерпретации широкополосных спектров рентгеновских новых в периоды их вспышечной активности и в **практическом** применении методики фрактальной размерности для описания параметров переменности рентгеновского излучения.

Работа написана четким и ясным языком, хотя наличие опечаток в ряде случаев несколько затрудняет чтение.

Имеются некоторые замечания к содержательной части диссертации:

1. На стр. 28-29 не приводятся аргументы в пользу принятой массы черной дыры в 10 масс Солнца в системе SWIFT J174510.8-262411, а также принятого расстояния 8 кпк до источника.
2. При обсуждении результатов анализа широкополосного спектра источника SWIFT J174510.8-262411 диссертант отмечает, что "существование холодного кольца на радиусах $R_{in} < 6 \cdot 10^5$ км возможно при условии, что полная светимость не превышает 10^{37} эрг/сек, однако физически представить такой диск довольно сложно. " Это утверждение не согласуется с оценкой светимости источника $5 \cdot 10^{36}$ эрг/сек, полученной автором и приведенной в Таблице 2.2

Имеется ряд неточностей в тексте диссертации:

3. Раздел 1.1.4. Телескоп РТТ-150 назван "Обсерватория РТТ-150", что некорректно, так как РТТ-150 установлен на территории Государственной обсерватории ТЮБИТАК (Турция).
4. Стр. 18. Светосила телескопа РТТ-150 в фокусе Кассегрена, равная 1:7.7, ошибочно названа фокусным расстоянием.

5. Стр.25. Звездные величины в Таблице 2.1 для источника SWIFT J174510.8-262411 названы потоками, что некорректно.

Высказанные замечания являются скорее техническими и не умаляют достоинств диссертации А.В.Просветова и не влияют на положения, выносимые на защиту. В целом диссертационная работа является завершенным научным исследованием, которое основано на самых современных космических и наземных наблюдениях и передовых методах анализа и интерпретации полученных данных.

Результаты работы А.В.Просветова могут быть использованы в САО РАН, ИНАСАН, ГАИШ МГУ, КФУ, КрАО, ГАО РАН, и других российских и зарубежных организациях, в которых исследуются тесные двойные системы с компактными источниками. Автореферат полностью отражает содержание и структуру диссертации.

Считаем, что диссертация « **Переменность рентгеновского излучения и широкополосные спектры аккрецирующих черных дыр в маломассивных двойных системах** » является завершенным научным исследованием и удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор **А.В. Просветов заслуживает** присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 - Астрофизика и звездная астрономия.

Отзыв подготовлен докт. физ.-мат. наук Бикмаевым Ильфаном Фяритовичем, обсужден и утвержден на Астрофизическом Семинаре кафедры астрономии и космической геодезии Института физики Казанского (Приволжского) федерального университета 21-го февраля 2017 года.

Заведующий кафедрой астрономии и космической геодезии Института физики Казанского (Приволжского) федерального университета,

Бикмаев И.Ф.

ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008
телефон (843)-292-77-97
электронный адрес: ilfan.bikmaev@kpfu.ru