

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор МГУ, профессор
Федянин Андрей Анатольевич

«__» _____ 2016 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Московский государственный
университет имени М.В. Ломоносова»

Диссертация «СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПРИЗНАКИ ЧЕРНЫХ ДЫР И НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД В АККРЕЦИРУЮЩИХ РЕНТГЕНОВСКИХ ДВОЙНЫХ СИСТЕМАХ», представляемая на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, выполнена в Государственном астрономическом институте имени П.К. Штернберга ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

В период подготовки диссертации соискатель Сейфина Елена Викторовна работала в Государственном астрономическом институте имени П.К. Штернберга Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в должности старшего научного сотрудника (2005 - настоящее время).

В 1988 году окончила физический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по специальности «астрономия» и очную аспирантуру физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в 1991 году.

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 1990 году физическим факультетом Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему «Моделирование рентгеновского излучения объекта SS 433» защитила в 1996 г. в Совете, созданном при Государственной астрономическом институте имени П.К. Штернберга.

Научный консультант – д.ф.-м.н. Титарчук Лев Григорьевич, профессор кафедры теоретической ядерной физики Национального исследовательского ядерного университета (МИФИ).

По результатам рассмотрения диссертации «СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПРИЗНАКИ ЧЕРНЫХ ДЫР И НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД В АККРЕЦИРУЮЩИХ РЕНТГЕНОВСКИХ ДВОЙНЫХ СИСТЕМАХ», представляемой на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, принято следующее заключение, составленное на основе обсуждения доклада Е.В. Сейфиной на заседании Координационного совета ГАИШ МГУ по астрофизике.

Диссертационная работа выполнена кандидатом на высоком научном уровне и представляет законченное научное исследование. Новизна и достоверность полученных результатов не вызывает сомнений и подтверждена публикациями в ведущих российских и зарубежных журналах, в том числе: «Astrophysical Journal», «Astronomy & Astrophysics», «Astrophysics and Space Science», «Астрономический журнал». Результаты диссертации были представлены соискателем в виде докладов на многочисленных

российских и зарубежных конференциях. Материал диссертации полностью отражен в публикациях в открытой печати. Работа соответствует заявленной специальности 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия.

Диссертация содержит всестороннее исследование эволюции черных дыр и нейтронных звезд в аккрецирующих двойных системах по рентгеновским данным, полученным с орбитальных космических станций *RXTE*, *Swift*, *Chandra*, *BeppoSAX* и *Suzaku* и состоит из введения, семи глав, заключения и приложений.

Во Введении обосновывается актуальность работы и формулируются основные цели исследований, проведенных в диссертации, показана новизна основных результатов диссертации, их научная и практическая значимость. В первых трех главах приводятся результаты исследования рентгеновских источников с аккрецирующими черными дырами, последующие четыре главы посвящены изучению рентгеновских источников с аккрецирующими нейтронными звездами.

Первая глава посвящена изучению корреляций между спектральными, временными свойствами рентгеновского излучения и темпом аккреции в Галактической двойной системе с кандидатом в черные дыры GRS 1915+105 во время переходов между состояниями.

В второй главе исследовано поведение энергетических и спектров и спектров мощности, наблюдаемых от галактического рентгеновского источника 4U 1630–47 во время вспышечной активности по данным *RXTE* и *BeppoSAX*.

В третьей главе выполнены оценки масс центральных объектов ультраярких источников ULX-1 (галактики M101) и HLX-1 (галактики ESO 243-49) методом масштабирования спектральных характеристик рентгеновского излучения на основе спектральных наблюдений с борта орбитальных обсерваторий *Swift* и *Chandra*. Сделан вывод о наличии в них черных дыр промежуточной массы.

В четвертой главе проанализирована эволюция рентгеновских спектральных характеристик системы с нейтронной звездой 4U 1728–34. Обнаружено, что стабильность фотонного индекса на уровне $\Gamma=2$ во время смены спектральных состояний. Предложена новая физическая модель для обоснования обнаруженного квазипостоянства спектрального индекса, согласно которой доминирующий вклад в формирование спектра обусловлен Комптонизированной компонентой, формирующейся в переходном слое между аккреционным диском и поверхностью нейтронной звезды.

В пятой главе выполнен анализ спектральных и временных характеристик, наблюдаемых в рентгеновском диапазоне от двойных систем с нейтронными звездами GX 3+1 и 4U 1820-30 в течение длительных переходов между фазами высокой и низкой светимости.

В шестой главе рассмотрены спектральные временные свойства нейтронных звезд и Z-источников GX 340+0 и Sco X-1. Для первого источника обнаружено уникальное постоянство фотонного индекса на критическом уровне $\Gamma=2$ независимо от спектральных состояний, а для второго обнаружено двухфазное поведение спектрального индекса, а именно: постоянство индекса на уровне $\Gamma=2$ (для до-Эддингтоновского режима аккреции) и фазу снижения индекса $1.3 < \Gamma < 2$ для около-Эддингтоновского режима аккреции.

В седьмой главе рассмотрены нейтронные звезды, достигающие сверх-Эддингтоновской светимости во время рентгеновских вспышек: 4U 1705–44 и 4U 1700–37. Обнаружено двухфазное поведение фотонного индекса, подобное найденному ранее для источника Sco X-1. Определена природа компактного объекта в системе 4U 1700–37

на основе детектирования двухфазного поведения индекса, характерного для нейтронных звезд.

Диссертация Е.В. Сейфиной посвящена актуальной теме – поиску фундаментальных спектральных признаков аккрецирующих нейтронных звезд и черных дыр и внедрению нового метода определения массы черных дыр путем масштабирования спектральных временных характеристик рентгеновского излучения как Галактических, так и внегалактических черных дыр во время переходов между спектральными состояниями.

В диссертации поставлен и решен широкий круг задач, связанных с наблюдательной диагностикой природы компактного объекта по рентгеновским спектральным данным.

Научная новизна и оригинальность диссертации обусловлена, в основном, решением следующих проблем:

- Впервые определены спектральные признаки черных дыр и нейтронных звезд в двойных системах, использующие рентгеновские наблюдательные корреляции спектрального индекса, как функцию темпа аккреции, во время фаз активности объекта, протестированные на большом наблюдательном материале.

- Впервые выполнена оценка массы центрального объекта M101 ULX-1 методом масштабирования спектральных характеристик рентгеновского излучения ULX-1 на основе наблюдений обсерваторий *Chandra* и *Swift*. Впервые сделан вывод о природе центрального объекта в пользу черной дыры на основе новых разработанных спектральных признаков черных дыр и обосновано наличие черной дыры промежуточной массы в ULX-1 с помощью наблюдаемого эффекта насыщения индекса в рентгеновском спектре источника.

- Впервые оценена масса черной дыры в системе 4U 1630-47 методом масштабирования спектральных и временных характеристик рентгеновского излучения на основе *RXTE* и *BeppoSAX* наблюдений: $M_x = 9.5 \pm 1.1 M_{\odot}$.

- Впервые обнаружено постоянство спектральных индексов рентгеновских спектров ряда нейтронных звезд на уровне $\Gamma=2$: 4U 1728-34, GX 3+1, 4U 1820-30 и GX 340+0 при эволюции источников между состояниями низкой и высокой светимости на основе рентгеновских наблюдений обсерваторий *RXTE* и *BeppoSAX*.

- Впервые предложена физическая модель для обоснования обнаруженного квазипостоянства спектрального индекса, согласно которой доминирующий вклад в формирование спектра обусловлен Комптонизированной компонентой, формирующейся в переходном слое между аккреционным диском и поверхностью нейтронной звезды.

- Впервые обнаружено двухфазное поведение фотонного индекса жесткой компоненты рентгеновского спектра ряда нейтронных звезд: Sco X-1, 4U 1705-44 и 4U 1700-47 при смене спектральных состояний объектов. Впервые обнаружена уникальная фаза повышенной жесткости спектров в сверх-Эддингтоновском режиме аккреции вещества звезды-донора на основе анализа рентгеновских наблюдений обсерваторий *RXTE* и *BeppoSAX*.

- Впервые разработана физическая модель для обоснования обнаруженного усиления жесткости рентгеновских спектров нейтронных звезд на пике вспышки, согласно которой высвобождение гравитационной энергии происходит лишь во внешних частях переходного слоя, причем разогрев этих областей приводит к уменьшению электронного сечения и увеличению уровня критической светимости. В итоге эффективность тепловой Комптонизации возрастает, приводя к снижению спектрального индекса в режиме сверх-Эддингтоновской светимости.

Личный вклад диссертанта состоит в обработке наблюдательных данных, полученных рентгеновскими телескопами обсерваторий *RXTE*, *Swift*, *Chandra*, *BeppoSAX* и *Suzaku*, частичной разработке модели *CompTB* для пакета программ XSPEC, расчет

рентгеновских спектров и сравнение с наблюдательными данными, анализ полученных результатов и их интерпретация, а также подготовка и написание текста публикаций.

Научная и практическая значимость результатов исследований определяется тем, что все основные результаты, полученные диссертантом, активно используются специалистами в научных исследованиях, как в нашей стране, так и за рубежом. Особенно это относится к актуальной проблеме диагностики природы компактного объекта как галактических, так и внегалактических источников с использованием обнаруженных фундаментальных спектральных признаков черных дыр и нейтронных звезд, которыми активно пользуются различные группы исследователей.

Ценность представляет работа диссертанта по разработке метода оценки масс черных дыр на основе масштабирования спектральных и временных характеристик ультраярких источников. Благодаря эрудиции диссертанта и глубокому пониманию поставленной задачи достигнут значительный прогресс в вопросе выяснения природы этих источников. Метод, предложенный диссертантом для оценки центральных объектов ультраярких источников, имеет большое значение для уточнения эволюционного статуса этих объектов и поэтому востребован астрономическим сообществом.

В обсуждении диссертации участвовали: профессор д.ф.-м.н. С.Б. Попов, профессор Н.И. Шакура, академик А.М. Черепашук, д.ф.-м.н. С.А. Гребенев, профессор д.ф.-м.н. Л.Г. Титарчук. Все выступившие отмечали высокий уровень проводимых Е.В. Сейфиной исследований и рекомендовали работу к защите на ученую степень доктора физико-математических наук.

Материал диссертации полностью отражен в 11 работах, опубликованных диссертантом в открытой печати в ведущих отечественных и зарубежных изданиях, они хорошо известны и цитируются научным сообществом.

Диссертация «СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПРИЗНАКИ ЧЕРНЫХ ДЫР И НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД В АККРЕЦИРУЮЩИХ РЕНТГЕНОВСКИХ ДВОЙНЫХ»

Сейфиной Елены Викторовны

рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия

Заключение принято на заседании Координационного Совета ГАИШ по астрофизике.

Присутствовало на заседании 24 чел. Результаты голосования: «за» - 22,

«против» - 1, «воздержались» - 1, протокол № 90 от «12» мая 2016 г.

Председатель Координационного
совета по астрофизике ГАИШ МГУ

Д.ф.-м.н.
Г.М. Рудницкий

Секретарь Координационного совета по
астрофизике ГАИШ МГУ

К.ф.-м.н.
И.Б. Волошина

Директор ГАИШ МГУ

Профессор,
академик РАН
А.М. Черепашук