

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

Д 002.113.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук, 117997, ГСП-7, Москва, Профсоюзная ул. д. 84/32, по диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, аттестационное дело № \_\_\_\_\_ решение диссертационного совета от 17 декабря 2018 г. протокол № 2 о присуждении Хорунжеву Георгию Андреевичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Поиск и исследование активных ядер галактик и далеких квазаров по данным рентгеновских обзоров неба и наземных телескопов» в виде рукописи по специальности 01.03.02 — Астрофизика и звездная астрономия принята к защите 21 сентября 2018 г. (№ протокола 1) диссертационным советом Д 002.113.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук, 117997, ГСП-7, Москва, Профсоюзная ул. д. 84/32, номер приказа Минобрнауки 75/нк от 15.02.2013г.

Соискатель Хорунжев Георгий Андреевич, гражданин РФ, 1988 г. рождения, в 2011 г. окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»» (НИЯУ МИФИ), с 2011 по 2014 г. обучался в аспирантуре ИКИ РАН. Хорунжев Г.А. работает в должности младшего научного сотрудника отдела Астрофизики высоких энергий в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Института космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН).

Диссертация выполнена в отделе Астрофизики высоких энергий ИКИ РАН.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор РАН Сазонов Сергей Юрьевич, заведующий лабораторией Экспериментальной астрофизики отдела Астрофизики высоких энергий ИКИ РАН. Сергей Юрьевич Сазонов руководил исследованием свойств локальной популяции сейфертовских галактик, отобранных по данным жесткого рентгеновского обзора всего неба обсерватории ИНТЕГРАЛ, построением рентгеновской функции светимости далеких квазаров на красных смещениях выше 3.

Официальные оппоненты:

Иванчик Александр Владимирович, гражданин РФ, доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, ведущий научный сотрудник Физико-технического института им. Иоффе Российской академии наук и

Афанасьев Виктор Леонидович, гражданин РФ, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук (САО РАН)

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация - Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (КФУ) в своём положительном заключении, подготовленным заведующим кафедрой астрономии и космической геодезии Института физики Казанского (Приволжского) федерального университета, д.ф.-м.н. И.Ф. Бикмаевым, подписанным проректором по научной деятельности Казанского (Приволжского) федерального университета проф. Д.К. Нургалиевым указывает, что диссертация Хорунжева Г.А. соответствует всем требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 Астрофизика и Звездная Астрономия, а ее автор заслуживает присуждения искомой степени.

Соискатель имеет 5 опубликованных работ в рецензируемых научных журналах и во всех работах является первым автором. В работах представлены все основные положения диссертации, общий объём работ 76 печатных листов:

1. Хорунжев Г.А., Сазонов С.Ю., Буренин Р.А., Ткаченко А.Ю. “Массы и темпы аккреции сверхмассивных черных дыр в активных ядрах галактик из обзора обсерватории ИНТЕГРАЛ” // Письма в Астрономический журнал, 2012, т. 38, 539
2. Хорунжев Г.А., Буренин Р.А., Мещеряков А.В., Сазонов С.Ю. “Каталог кандидатов в квазары на  $3 < z < 5.5$ , отобранных среди рентгеновских источников обзора 3XMM-DR4 обсерватории XMM-Ньютон” // Письма в Астрономический журнал, 2016, т. 42, 313
3. Хорунжев Г.А., Буренин Р.А., Сазонов С.Ю., Амвросов А.Л., Еселевич М.В., “Оптическая спектроскопия кандидатов в квазары на  $3 < z < 5.5$  из рентгеновского обзора обсерватории XMM-Ньютон. Далекий рентгеновский квазар на  $z=5.08$ ” // Письма в Астрономический журнал, 2017, 43, 159
4. Khorunzhev G., Sazonov S., Burenin R., Eselevich M., “Catalog of  $3 < z < 5.5$  Quasar Candidates Selected among XMM-Newton Sources and Its Spectroscopic Verification” // Front. Astron. Space Sci. 4, 37 (2017)
5. Хорунжев Г.А., Сазонов С.Ю., Буренин Р.А., “Рентгеновская функция светимости квазаров на  $3 < z < 5$ , отобранных по данным случайного обзора обсерватории XMM-НЬЮТОН”, Письма в Астрономический журнал, 2018, 44, 546

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью в данной области науки и наличием публикаций в соответствующей сфере исследований.

Ведущая организация была выбрана на основании широкой известности ее достижений в рассматриваемой области науки, которая показывает безусловную способность определения данной организацией научной ценности диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Получены оценки масс сверхмассивных черных дыр и темпов аккреции вещества на них для представительной выборки близких АЯГ, отобранных в жестком рентгене. Измерено отношение болометрической к критической эддингтоновской светимости, которое для большинства объектов составляет от 1 до 100%. Это значит, что аккреция газа на СМЧД в сейфертовских галактиках происходит в высоком темпе и радиационно эффективном режиме.

Показано, что способ оценки масс сверхмассивных черных дыр в сейфертовских галактиках по масштабному соотношению масса СМЧД - инфракрасная светимость балджа приводит к завышенным оценкам массы СМЧД в диапазоне меньше ста миллионов солнечных масс. Это указывает на то, что рост черных дыр в таких объектах ещё далек от завершения.

Разработана методика поиска далеких рентгеновских квазаров в диапазоне  $3 < z < 5$  и измерения их фотометрического красного смещения по открытым данным оптических и инфракрасных фотометрических широкополосных обзоров неба. Получен каталог 903 источников, отобранных по фотометрическому красному смещению. Это самая большая выборка квазаров на  $z > 3$ , отобранных в рентгене. Каталог состоит на 57% из уже известных, спектроскопически подтвержденных квазаров и на 43% из новых неподтвержденных кандидатов. Относительно выборки известных квазаров полнота отбора этим методом составляет около 80%, нижний предел чистоты отбора - не менее 50%. Можно существенно увеличить число далеких рентгеновских квазаров на  $z > 3$  по отношению к известным объектам в области покрытия Слоановского обзора, если провести их дополнительный поиск и спектроскопическую проверку.

Осуществлена спектроскопическая проверка 18 квазислучайно выбранных кандидатов в квазары на  $z > 3$ , которая показала, что чистота выбранных кандидатов превышает 50%. Таким образом, после проверки всех новых кандидатов можно ожидать, что чистота каталога составит около 70-80%.

Подтверждено обнаружение далекого рентгеновского квазара 3ХММ 125329.4+305539 на красном смещении  $z=5.08$ . На момент обнаружения 3ХММ 125329.4+305539 было известно только 3 отобранных в рентгене оптически ярких квазара на  $z > 5$ . Согласно полученным оценкам наблюдаемой плотности квазаров на  $z > 5$ , в обзоре СРГ может быть найдено несколько таких источников вблизи полюсов эклиптики. Большинство рентгеновских квазаров на  $z > 5$  из обзора СРГ в оптике будут слабее порога детектирования Слоановского обзора.

Фотометрические оценки красного смещения в площадках и по данным Слоановского обзора могут быть получены для 50% рентгеновских квазаров обзора Спектр-РГ со светимостями выше  $10^{45}$  эрг/с на  $z \sim 3$ . Такие источники будут иметь рентгеновские потоки около  $10^{-14}$  эрг/с/см<sup>2</sup> в 0.5-2 кэВ, что соответствует средней чувствительности по небу 4-х летнего обзора СРГ.

Построена рентгеновская функция светимости квазаров 1-го типа для подвыборки источников со светимостью в диапазоне 2-10 кэВ выше  $10^{45}$  эрг/с из каталога кандидатов в квазары на красных

смещениях  $3 < z < 5$ . Это самая большая выборка далеких рентгеновских квазаров с рентгеновскими светимостями выше  $10^{45}$  эрг/с. Впервые получены статистически значимые оценки плотности квазаров со светимостями выше  $2 \times 10^{45}$  эрг/с на  $z > 3$ . Существенно улучшено ограничение величины степенного наклона яркой части рентгеновской функции светимости. Доказано, что пространственная плотность рентгеновских квазаров высокой светимости эволюционировала между  $z \sim 5$  и  $z \sim 3$  медленней, чем плотность квазаров более низкой светимости.

Теоретическая значимость исследования состоит в том, что:

- показано, что темп аккреции для большинства АЯГ близкой Вселенной лежит в диапазоне 0.01-1
  - определено, что полнота оптического отождествления в Слоановском обзоре для квазаров обзора Спектр-РГ на  $z > 3$  составит около 50%;
  - получены оценки параметров моделей рентгеновской функции светимости для квазаров на  $z > 3$
- Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:
- измерены массы 68 сверхмассивных черных дыр в центрах активных ядер галактик близкой Вселенной; данные измерения активно используются другими учеными;
  - обнаружение с помощью нового спектрографа АДАМ далекого квазара на  $z = 5.08$  практически подтверждает высокое качество оборудования и наглядно демонстрирует, что можно решать задачи поиска самых далеких квазаров на телескопах 1.5-метрового класса;
  - показано, что для поиска далеких рентгеновских квазаров можно успешно использовать фотометрические оценки красного смещения с использованием данных широкополосной фотометрии.

Достоверность полученных результатов подтверждается тем, что:

Результаты работы были представлены на более чем 14 российских и 3 международных конференциях, опубликованы в 5 статьях в реферируемых журналах, а также представлены в открытом доступе на сайте электронных препринтов [arxiv.org](http://arxiv.org). Некоторые результаты были подтверждены в схожих исследованиях других групп.

Личный вклад соискателя состоит в следующем:

Все результаты, представленные в диссертации, были получены лично автором диссертации при поддержке научного руководителя и других соавторов публикаций. В опубликованных по теме диссертации статьях определяющую роль в подготовке и написании сыграл автор диссертации, в том числе, в плане выполнения аналитических расчетов, кросс-корреляции каталогов, наблюдений на телескопах, подготовки к ним и обработки полученных данных, а также интерпретации результатов и обсуждении перспектив. Диссертация отвечает на вопросы поставленных научных задач и проблем

соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана, общего подхода к задачам и взаимосвязи полученных выводов.

Диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней, утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013г. № 842, и принял решение присудить Хорунжеву Георгию Андреевичу учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 11 докторов наук по специальности диссертации 01.03.02, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: « за » присуждение учёной степени 17, «против» присуждения учёной степени нет, недействительных бюллетеней 1.

Председатель диссертационного совета  
академик



Сюняев Рашид Алиевич

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
к.ф.-м.н.

Ткаченко Алексей Юрьевич