

“ УТВЕРЖДАЮ ”

Проректор по научной деятельности  
Казанского (Приволжского)  
федерального университета



— проф. Нургалиев Д.К.

“28” ноября 2018 г.

Отзыв Ведущей организации  
на диссертацию **Хорунжева Георгия Андреевича**  
**ПОИСК И ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНЫХ ЯДЕР ГАЛАКТИК И ДАЛЕКИХ**  
**КВАЗАРОВ ПО ДАННЫМ РЕНТГЕНОВСКИХ ОБЗОРОВ НЕБА И НАЗЕМНЫХ**  
**ТЕЛЕСКОПОВ,**  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.03.02 - Астрофизика и звездная астрономия

Галактики с активными ядрами и квазары являются наиболее яркими объектами Вселенной во всем диапазоне электромагнитного излучения от рентгена до оптики и инфракрасной области благодаря наличию в них сверхмассивных черных дыр и высокого темпа аккреции вещества на черные дыры. Несмотря на большое количество наблюдательных данных, полученных за несколько десятилетий исследований активных ядер галактик (АЯГ) и квазаров, по-прежнему нет полного понимания физики образования этих объектов, их роста в ходе эволюции родительских галактик, внутренней структуры, механизмов переработки аккрецирующего вещества в излучение.

Диссертационная работа Г.А.Хорунжева посвящена исследованию активных ядер галактик на различных стадиях их эволюции - от сейфертовских галактик в близкой Вселенной до далеких квазаров с использованием самых современных наблюдений в рентгеновском и оптическом диапазонах. Результаты, полученные в диссертационной работе, имеют большую методическую ценность в связи с необходимостью оперативного анализа большого количества новых данных, которые будут получены в ходе обзора всего неба готовящейся к запуску орбитальной рентгеновской обсерватории “Спектр-Рентген-Гамма”. В связи с указанным, научные проблемы, рассматриваемые в диссертации, имеют исключительно высокую **актуальность**.

Диссертация состоит из пяти глав и Заключение – всего 122 страницы, включая 31 рисунок, 12 таблиц, список цитируемой литературы, содержащий 150 публикаций.

Во **Введении** (которое обозначено в диссертации как **Глава 1**) сформулированы цели, актуальность и задачи диссертационной работы, представлены основные результаты работы и их новизна, пункты, выносимые на защиту, личный вклад автора в публикациях по теме диссертации. Апробация работы обеспечена выступлениями автора на 6-ти всероссийских и 3-х международных научных конференциях. Основные положения диссертации опубликованы в 5-ти статьях в рецензируемом российском журнале, входящем в Перечень ВАК, и одном международном журнале.

**Вторая Глава** посвящена измерениям масс черных дыр и темпов аккреции в активных ядрах галактик, находящихся в ближней Вселенной ( $z < 0.15$ ).

Выполнено сравнение между собой различных методов оценки масс сверхмассивных черных дыр (СМЧД) для выборки близких сейфертовских галактик, составленной по

результатам обзора неба обсерватории ИНТЕГРАЛ в жестком рентгеновском диапазоне. Диссертантом **самостоятельно** получены оценки масс СМЧД по спектральным наблюдениям для 17-ти АЯГ на 1.5-метровом телескопе РТТ-150 с использованием связи светимости в линии Н\_бета и ее полуширины с массой. Полученные значения масс СМЧД являются **новыми и оригинальными**. Хорунжевым Г.А. показано, что массы, полученные по инфракрасной светимости балджа оказываются смещенными и в среднем завышены по сравнению с другими, более надежными, методами оценок масс СМЧД в исследованных сейфертовских галактиках. Этот результат является важным **методическим** выводом второй Главы диссертации.

Кроме того, был исследован вопрос о темпе аккреции газа на черные дыры в этих объектах по сравнению с критическим, используя полученные в этой Главе оценки масс СМЧД. Было показано, что отношение болометрической светимости к эддингтоновской находится в диапазоне от 1 до 100 процентов для подавляющего числа объектов выборки. Сделан вывод, что аккреция газа на СМЧД в исследуемой группе сейфертовских галактик происходит в высоком темпе и в радиационно эффективном режиме.

**Третья Глава** посвящена поиску рентгеновских квазаров на больших красных смещениях ( $z > 3$ ). Для решения этой задачи были использованы открытые рентгеновские данные телескопа XMM-Newton (каталог 3XMM-DR4), оптические и инфракрасные данные обзоров SDSS, 2MASS, WISE. Для отбора кандидатов в далекие квазары на  $z > 3$  среди рентгеновских источников обзора 3XMM-DR4, диссертантом была использована методика сравнения наблюдаемых распределений энергий в оптическом и инфракрасном диапазонах спектра с шаблонными спектрами квазаров, звезд и галактик. Кроме обнаружения кандидата в далекие квазары, данная методика позволяет оценить его фотометрическое красное смещение. В результате проделанной работы составлен обширный каталог 903 кандидатов в квазары в диапазоне красных смещений от 3 до 5.5 (K16). В этот каталог попали 515 известных квазаров с ранее измеренными спектроскопическими красными смещениями. Это подтверждает **достоверность** результатов, полученных диссертантом. Новый каталог кандидатов в далекие квазары может в полтора раза увеличить количество известных рентгеновских квазаров на красных смещениях  $z > 3$  по сравнению с уже существующей спектроскопической выборкой. Анализ созданного каталога K16 показал, что 40 процентов кандидатов в далекие квазары не имеют спектроскопических измерений красных смещений. Чтобы понять точность фотометрических значений красных смещений и чистоту выборки кандидатов в далекие квазары диссертантом была реализована программа спектроскопических наблюдений кандидатов из каталога K16.

В **Главе 4** приведены результаты спектроскопии 18-ти квазаров, выполненной с помощью 1.6-м телескопа Саянской обсерватории и 6-м телескопа БТА. Из 18-ти наблюдаемых кандидатов 14 оказались квазарами, из которых 10 – квазары на красных смещениях  $z > 3$ . В частности, на телескопах АЗТ33-ИК и БТА был открыт и подтвержден один из самых далеких рентгеновских квазаров 3XMM J125329.4+305539 на  $z_{\text{spec}} = 5.08$  !

Анализ полученных результатов с учетом новых спектроскопических красных смещений показал, что чистота каталога кандидатов в далекие квазары K16 составляет 70-80 процентов.

В этой Главе диссертантом также выполнены количественные оценки возможности обнаружения группы новых далеких рентгеновских квазаров на  $z > 5$  в полюсах эклиптики в ходе обзора неба обсерваторией “Спектр-Рентген-Гамма”. Для их оптического отождествления и определения спектроскопического красного смещения необходимо будет получать глубокие снимки и спектры на крупных телескопах мира, включая 6-м телескоп БТА.

В заключительной **Главе 5** диссертантом анализируется рентгеновская функция светимости квазаров в диапазоне красных смещений  $3 < z < 5$

Надежное определение функции светимости необходимо для исследования и понимания истории роста сверхмассивных черных дыр и эволюции массивных галактик во Вселенной. Для построения рентгеновской светимости использовались выборка из 205 источников, составленная по данным двух каталогов – 101 источник с рентгеновской светимостью  $L > 10(45)$  эрг/сек из каталога, созданного при участии диссертанта, и 104 источника со светимостью  $L < 10(45)$  эрг/сек, взятые из опубликованных данных других авторов. Необходимо отметить, что пространственная площадь обзора, использованная Г.А.Хорунжевым, на порядок превышает размеры обзоров других авторов. Распределение плотности квазаров в диапазоне рентгеновской светимости  $L \sim 10(44.5) - 10(45.3)$ , полученное в диссертации, сравнивается с результатами других авторов и с различными модельными функциями светимости. В целом полученное распределение хорошо согласуется с опубликованными данными, при этом ряд параметров, таких как ограничение на наклон в яркой части функции светимости оказывается более точным, так как в данной работе использованы данные по самым ярким и далеким квазарам, которые не попали в предыдущие обзоры из-за их меньшей пространственной площади. Полученную диссертантом рентгеновскую выборку ярких квазаров можно будет использовать в качестве опорной для проверки алгоритмов отождествления в оптике новых источников рентгеновского обзора всего неба обсерватории СРГ. В связи с этим, результаты полученные диссертантом, имеют большую **практическую значимость**.

**В Заключении** приводятся основные итоги работы и обсуждаются перспективы дальнейших исследований.

Диссертация Г.А.Хорунжева представляет собой оригинальное, завершенное научное исследование с ярко выраженной **новизной** в части спектральных наблюдений на российских оптических телескопах, **достоверностью** полученных результатов за счет кропотливого и профессионального анализа опубликованных рентгеновских, оптических и инфракрасных наблюдений, и **практической значимостью** полученных методик для прогнозирования результатов обнаружения и отождествления новых рентгеновских источников обсерваторией СРГ.

Диссертация написана четким и ясным языком.

Имеются некоторые замечания к содержательной части диссертации:

1. В Главе 2 дано нечеткое пояснение, что означает "представительная" выборка близких сейфертовских галактик. Из текста следует, что главным аргументом "представительности" является независимость выборки от эффектов селекции, связанных с поглощением рентгеновского излучения в АЯГ.
2. Из текста Главы 3 неясно, исправлялись ли потоки в ультрафиолетовой и синей области спектра за межзвездное покраснение при сравнении наблюдаемых распределений энергий кандидатов в далекие квазары с шаблонными спектрами.
3. На рис. 5.1 в Главе 5 видно, что выборки квазаров из каталога K16 и опубликованных данных из работы Вито и др (2014) настолько сильно различаются по светимости, что практически нет пересечения выборок по светимости. Остается неясным является ли это различие светимостей астрофизическим или это результат различий в методиках определения светимостей разными авторами ?

Имеется ряд неточностей и опечаток в тексте диссертации:

1. На стр. 7 во Введении указывается, что "в обзоре Спектр-РГ будет обнаружено 3 миллиона АЯГ на красных смещениях  $0 < z < 7$ , сотни тысяч скоплений галактик и

полмиллиона звезд". Видимо речь идет о полмиллионе звезд, излучающих в рентгеновском диапазоне.

2. На стр.9 указано со ссылкой на рис. 1.4, "что у активных ядер галактик 2-го типа не наблюдается излучение аккреционного диска (**ультрафиолетовый избыток**) в диапазоне 10000 - 1 Ангстрем". В указанный диапазон длин волн попадает широкий интервал электромагнитного излучения от инфракрасного до рентгеновского, а не только ультрафиолетовая часть.

3. На стр. 22 используется прямой перевод английского термина "радиогромкие" АЯГ, вместо более уместного - "радиояркие"

4. На стр. 30 используется термин "Светимость линии" вместо более корректного "Светимость в линии"

5. Несколько нестандартно оформлен перечень цитируемой литературы, который дается по частям в конце каждой Главы. Формально это может восприниматься как несвязанность различных частей диссертации между собой.

Высказанные замечания являются техническими, не умаляют достоинств диссертации Г.А.Хорунжева 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 Хорунжева Г.А. могут быть использованы в САО РАН, ИНАСАН, ГАИШ МГУ, КФУ, КраО, ГАО РАН, и других российских и зарубежных организациях, в которых исследуются активные ядра галактик и квазары. Автореферат полностью отражает содержание и структуру диссертации.

Считаем, что диссертация **«Поиск и исследование активных ядер галактик и далеких квазаров по данным рентгеновских обзоров неба и наземных телескопов»** является завершенным научным исследованием и удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Г.А. Хорунжев **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 16-го ноября 2018 года.

Заведующий кафедрой астрономии и космической геодезии Института физики Казанского (Приволжского) федерального университета, д.ф.-м.н.

Бикмаев И.Ф.

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