

ОТЗЫВ

научного руководителя д.ф.-м.н. С.Ю. Сазонова на диссертационную работу Г.А. Хорунжева «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, звездная астрономия»

История роста сверхмассивных черных дыр (СМЧД) во Вселенной и взаимосвязь эволюции галактик с активностью их центральных черных дыр — чрезвычайно актуальная тема исследований в астрофизике. Диссертационная работа Георгия Андреевича Хорунжева посвящена исследованию популяционных свойств активных ядер галактик (АЯГ) по данным инфракрасных, оптических и рентгеновских обзоров большой площади, а также наблюдений на российских оптических телескопах. В 2019 году ожидается вывод на орбиту Российско-Германской обсерватории Спектр-Рентген-Гамма (СРГ), с помощью которой планируется выполнить глубокий рентгеновский обзор всего неба. Потребуется провести огромную работу по отождествлению и изучению нескольких миллионов АЯГ, которые могут быть обнаружены в ходе обзора. В диссертационной работе разработаны и опробованы методы, которые предполагается активно использовать в ходе работы с рентгеновскими источниками обзора СРГ. Это подчеркивает ее актуальность.

Вторая глава диссертации посвящена исследованию свойств локальной популяции сейфертовских галактик, отобранных по данным жесткого рентгеновского обзора всего неба обсерватории ИНТЕГРАЛ. Такой отбор позволил минимизировать наблюдательные эффекты селекции. Перед диссертантом была поставлена задача оценить массы СМЧД разными методами и сравнить полученные оценки между собой. При применении метода, основанного на измерении ширины и светимости бальмеровских эмиссионных линий, диссертант провел наблюдения подвыборки ИНТЕГРАЛ на Российско-Турецком 1.5-м Телескопе (РТТ-150). Оценки масс СМЧД, сделанные по известной корреляции с массой звездного балджа галактики, оказались систематически выше оценок, полученных другими, более прямыми методами. Еще одним интересным результатом стало полученное распределение темпов аккреции СМЧД в сейфертовских галактиках. Оказалось, что в большинстве объектов темп аккреции составляет от 1 до 100 процентов от критического, причем сейфертовские галактики первого типа с узкими линиями (Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies) находятся вблизи верхней границы этого диапазона, то есть в них происходит быстрый рост черных дыр.

В третьей главе представлены результаты систематического поиска кандидатов в далекие квазары ($z > 3$) по данным «случайного» рентгеновского обзора ЗХММ обсерватории ХММ-Newton и больших оптических и инфракрасных фотометрических обзоров (SDSS, 2MASS, WISE). Отбор кандидатов производился среди рентгеновских источников методом подгонки спектральных шаблонов к фотометрическим данным. В результате был составлен каталог из 903 кандидатов в квазары на $3 < z < 5.5$. Примерно 60 процентов каталога состоит из ранее известных

далеких квазаров (для которых имеются спектроскопические красные смещения), а оставшиеся 40 процентов, т. е. весьма заметная доля, — новые кандидаты. Важно отметить, что использованный в работе обзор ЗХММ (в пересечении с обзором SDSS) является по сути миниверсией будущего обзора всего неба телескопа ePOZITA обсерватории СРГ. Таким образом, проведенное исследование позволило фактически начать работу по оптическому отождествлению АЯГ из обзора СРГ.

На следующем этапе (глава 4) исследовалось качество полученного каталога кандидатов в квазаров, то есть его полнота и частота. С этой целью диссертант провел наблюдения нескольких десятков объектов каталога с помощью спектрографа АДАМ, недавно установленного на 1.6-м телескопе АЗТ-ЗЗИК Саянской обсерватории ИСЗФ СО РАН. Было показано, что чистота каталога составляет 70-80 процентов, что доказывает высокую эффективность предложенного метода отбора кандидатов в далекие квазары. Кроме того доказана эффективность использования телескопа АЗТ-ЗЗИК в составе комплекса наземной поддержки обзора СРГ.

Очень важным и интересным результатом, полученным в ходе проведения спектроскопической программы, стало открытие квазара на $z=5.08$. Сначала красное смещение было измерено на АЗТ-ЗЗИК, а затем уточнено с помощью 6-м телескопа БТА САО РАН. До этого было известно лишь три отобранных в рентгене квазара сравнимой высокой светимости на $z>5$. Этот результат позволяет надеяться на то, что благодаря многократно увеличенной площади покрытия неба с помощью обзора СРГ можно будет впервые получить большую выборку таких редких объектов — СМЧД огромной массы в ранней Вселенной.

В результате проделанной работы была получена рекордно большая выборка далеких рентгеновских квазаров высокой светимости. На ее основе диссертант построил (глава 5) рентгеновскую функцию светимости квазаров и впервые получил статистически значимые оценки пространственной плотности далеких квазаров высокой светимости ($L>2 \times 10^{45}$ эрг/с). Впервые надежно показано, что количество таких объектов практически не эволюционировало в интервале красных смещений 3-5, в отличие от более слабых квазаров, популяция которых сильно выросла за это время.

Работы, вошедшие в диссертацию, опубликованы в пяти статьях в рецензируемых журналах, неоднократно докладывались на российских и международных конференциях и семинарах. Тема исследований актуальна. Считаю, что диссертационная работа Георгия Андреевича Хорунжева отвечает всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а диссертант заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 «астрофизика, звёздная астрономия».

С.Ю. Сазонов,

д.ф.-м.н., профессор РАН

