

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета Д002.203.01

протокол № 152 от 4 октября 2022 г.

Председатель:

Заместитель председателя
диссертационного совета

доктор физ.-мат. наук

Клочкова В.Г.

Ученый секретарь:

кандидат физ.-мат. наук

Шолухова О. Н.

Состав совета - 20 человек, присутствуют - 14:

д.ф.-м.н., Клочкова В.Г. 01.03.02

к.ф.-м.н., Шолухова О.Н. 01.03.02

д.ф.-м.н., Васильев Е.О. 01.03.02

д.ф.-м.н., Глаголевский Ю.В. 01.03.02

д.ф.-м.н., Караченцев И.Д. 01.03.02

д.ф.-м.н., Левшаков С.А. 01.03.02

д.ф.-м.н., Макаров Д. И. 01.03.02

д.ф.-м.н., Мингалиев М.Г. 01.03.02

д.ф.-м.н., Моисеев А.В. 01.03.02

д.ф.-м.н., Панчук В.Е. 01.03.02

д.ф.-м.н., Романюк И.И. 01.03.02

д.ф.-м.н., Сачков М.Е. 01.03.02

д.ф.-м.н., Трушкин С.А. 01.03.02

д.ф.-м.н., Фабрика С.Н. 01.03.02

Председатель:

Котов Сергей Сергеевич представил нам работу «поиск активных ядер галактик и изучение их физических свойств по данным среднеполосного фотометрического обзора на 1-м телескопе Шмидта». Работа выполнена в САО РАН. Научный руководитель Додонов Сергей Николаевич, кандидат физмат наук, заведующий лабораторией спектроскопии и фотометрии внегалактических объектов. Официальные оппоненты: Киселев Николай Николаевич, доктор физмат наук, главный научный сотрудник Крымской астрофизической обсерватории. И Балашев Сергей Александрович, кандидат физмат наук, научный сотрудник физико-технического института имени Иоффе. Ведущая организация – Санкт-Петербургский Государственный Университет. Вопросов нет никаких? Тогда мы предоставляем возможность товарищу Котову сделать доклад. 20 минут, пожалуйста.

Котов С.С.:

Спасибо большое. Добрый день, уважаемые коллеги. Спасибо за возможность представить мою кандидатскую диссертацию. Актуальность моей диссертации обусловлена тем, что существуют значимые различия в пространственной плотности квазаров, а также функции светимости в диапазоне красных смещений от 3 до 5, полученные по данным различных обзоров, нацеленных на создание выборок квазаров. К таким обзорам можно

отнести обзор SDSS и выполненные на его базе различные алгоритмы поиска и составления выборок квазаров, а также среднеполосные обзоры COMBO-17, COSMOS, ALHAMBRA. Для многочисленных задач в различных областях астрофизики проблема определения полного числа активных ядер является фундаментальной. Активные ядра галактик являются одними из самых ярких объектов во вселенной, их светимость может превышать светимость самой подстилающей галактики в сотни раз, и благодаря этому мы можем изучать активные ядра галактик, то есть квазары, на красном смещении до 4 и более на телескопах метрового класса. Исследования эволюции пространственной плотности и функции светимости квазаров являются одними из важнейших методов изучения эволюции активных ядер галактик и сверхмассивных черных дыр. Кроме того, изучение функции светимости квазаров позволяет оценить их возможный вклад во внегалактический ультрафиолетовый фон. Есть также противоречия в данных о пространственной плотности квазаров, построенной по рентгеновским данным, оптическим и радиоданным. Поэтому данная проблема актуальна и требует уточнений и исследований, особенно в диапазоне красных смещений от 3 до 5.

Основной целью данного научного исследования является изучение эволюции активных ядер галактик и построение их функции светимости в диапазоне красных смещений от 0.1 до 5. И задачи, которые необходимо было решить для достижения указанных целей, следующие:

- На основе наблюдательных данных, полученных на 1-м телескопе Шмидта Бюраканской обсерватории, провести анализ пространственного распределения квазаров поля HS47.5-22 площадью 2.38 кв. гр. до $z \sim 5$, и построить их функцию светимости. Провести сравнение с результатами обзоров SDSS, COMBO-17, COSMOS, ALHAMBRA.

- Разработать методику отбора квазаров по данным среднеполосной фотометрии, полученным на 1-м телескопе Шмидта БАО НАН. Создать репрезентативную выборку квазаров поля. Провести определение фотометрических красных смещений отобранных кандидатов в квазары. Промоделировать полноту отбора квазаров по среднеполосным фотометрическим данным.
- Провести оценку селекционных эффектов, влияющих на полноту выборки квазаров в обзорах SDSS, COMBO-17, COSMOS, ALHAMBRA, оценить селекционные эффекты полученной нами выборки.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и одного приложения.

Для поиска квазаров и классификации объектов существует множество различных наблюдательных методов, вкратце пройдемся по каждому из них:

Прежде всего, для поиска квазаров сейчас используется широкополосная фотометрия, на базе данного метода построен обзор SDSS, где по широкополосным фильтрам проводился предварительный отбор объектов для дальнейшей спектроскопии.

Инфракрасные фотометрические данные позволяют нам хорошо отделять звезды от квазаров при комбинации с оптическими данными, поскольку звезды и квазары могут быть неотличимы в широкополосных оптических цветах друг от друга. Инфракрасные данные эту проблему позволяют решить.

Среднеполосная фотометрия является очень эффективным методом, предоставляющим данные в оптическом диапазоне для нескольких десятков фильтров, и по данным среднеполосной оптической фотометрии мы, по сути, можем воссоздать спектр каждого объекта в поле зрения телескопа.

Мультиобъектная спектроскопия сейчас наиболее известна по обзору SDSS, где после предварительного отбора кандидатов в квазары была проведена мультиобъектная спектроскопия отдельных объектов. Главные ограничения данного метода – то, что для этого требуется предварительный отбор, и мы ограничены по количеству объектов.

Наличие рентгеновского или радиоизлучения является хорошим предварительным критерием отбора активных ядер галактик.

Морфологическая классификация позволяет отделить большую часть галактик от кандидатов в квазары.

Также используются данные о переменности объектов, что было реализовано, в частности, в обзоре SDSS Stripe-82, где отбор объектов проводился преимущественно по переменности, и была создана выборка квазаров.

Кроме того, с выходом обзора GAIA появилась возможность по данным о наличии параллакса или собственного движения убирать из выборки объекты нашей галактики, то есть звезды, и тем самым дополнительно очищать выборку.

В настоящее время наиболее эффективными обзорами, нацеленными на отбор квазаров, являются среднеполосные фотометрические обзоры. Как уже было ранее сказано, по среднеполосным фотометрическим данным мы можем построить спектральные распределения энергии объектов в поле зрения телескопа, и, по сути, получить спектр для каждого объекта в поле зрения. Существует три наиболее известных обзоров по данной тематике. Это обзор COMBO-17, в котором представлено 17 среднеполосных фильтров и несколько широкополосных фильтров. Также обзор ALHAMBRA, в котором помимо среднеполосных оптических фильтров были сняты инфракрасные. И обзор COSMOS, для которого имеется практически вся вышеперечисленная информация: для него отсняты рентгеновские данные,

радиоданные, инфракрасные данные, а также морфология с телескопа имени Хаббла.

Изучив все эти обзоры, мы решили провести обзор на 1-м телескопе Шмидта Бюраканской астрофизической обсерватории, получить среднеполосные фотометрические данные для поля зрения порядка нескольких квадратных градусов, и по полученным данным составить максимально полную выборку квазаров в поле зрения телескопа. Для проведения данного обзора необходимо было сделать модернизацию телескопа. Были заменены механизмы управления телескопа, а также был установлен современный CCD-детектор в фокусе телескопа, оснащенный турелью со среднеполосными и широкополосными фильтрами. Характеристики данных фильтров приведены на слайде.

Для наблюдений нами было выбрано поле HS47.5-22. Это поле примечательно тем, что оно имеет одно из самых низких поглощений на луче зрения в нейтральном водороде, и является вторым по проницаемости после широко известной «дыры Локмана». Кроме того, для данного поля был проведен глубокий рентгеновский обзор на спутнике ROSAT.

Поле было снято нами в виде мозаики из 4 площадок по 1 квадратному градусу с перекрытиями, итоговый размер поля – 2.38 квадратных градуса. Поле было отснято в 16 среднеполосных фильтрах до достижения соотношения сигнал-шум больше 5 вплоть до 22.5 звездной величины. Всего в данном поле было обнаружено порядка 80 тысяч объектов до 24.5 звездной величины. Далее, поскольку в среднеполосных фильтрах ограничение по глубине меньше, выборка была обрезана до 22.5 звездной величины, и были построены спектральные распределения энергии для всех объектов в поле зрения телескопа. Примеры таких распределений показаны на рисунках, в сравнении со спектроскопией SDSS. На левых шести рисунках приведены спектральные распределения энергии для галактик, на правых шести – для

квazarов. Хорошо видно, как выделяются по среднеполосным спектральным распределениям эмиссионные детали в спектрах как галактик, так и квазаров.

По полученной полной выборке объектов поля далее была разработана методика отбора квазаров. Для максимального качества отбора квазаров были задействованы все имеющиеся для данного поля данные, в том числе данные обзоров DECaLS, инфракрасного обзора WISE, спектроскопия SDSS, и данные о собственных движениях GAIA. Отбор был разделен на несколько частей. На первом шаге проводился отбор по морфологическому признаку, чтобы отобрать только звездообразные объекты. Таким образом, из 28 тысяч объектов полной выборки было отобрано около 7 тысяч звездообразных объектов, среди которых осталась какая-то часть далеких компактных галактик на слабых величинах.

На втором шаге нами был разработан автоматический отбор по широкополосным фотометрическим данным. Идея заключалась в том, что мы не можем качественно отобрать квазары, поскольку квазары демонстрируют очень большое разнообразие спектральных характеристик, описать их модельными спектрами крайне затруднительно, и модельными спектрами сложно покрыть все их разнообразие. Поэтому было решено из выборки наоборот отбрасывать хорошо известные объекты, такие как звезды главной последовательности. Был разработан алгоритм отбора, который базируется на том, что звезды в сравнении с квазарами на порядок более многочисленны и образуют достаточно компактную последовательность в цветовом пространстве широкополосных фильтров. Соответственно, мы откидывали те объекты, которые точно являются звездами. Делали мы это по критерию плотности в цветовом пространстве, определенному методом ближайших соседей, в комбинации с цветовыми критериями. Также мы использовали инфракрасные цветовые критерии, если это позволяла глубина инфракрасных фотометрических данных. На слайде приведены графики тех регионов,

которые мы отбирали. В итоге, таким образом было отобрано порядка 1400 объектов из 7000, которые были отобраны на следующую стадию.

Третьей стадией отбора был визуальный отбор по среднеполосным фотометрическим данным. Построенные спектральные распределения энергии для квазаров просматривались визуально и, по сути, мы проводили визуальную спектральную классификацию наших кандидатов в квазары. Таким образом, финальная выборка кандидатов в квазары была сокращена до 682 объектов, для которых были определены среднеполосные фотометрические красные смещения. Проведена оценка точности определения фотометрических красных смещений. При помощи пакета программ ZEBRA проводилось автоматическое сопоставление по темплейт-спектрам для определения красного смещения, которое затем проверялось вручную. Результаты проверки по данным спектроскопии SDSS показали, что точность определения фотометрических красных смещений у нас порядка 0.014, количество выбросов не превышает 3%.

Нами было промоделировано то, как мы можем визуально регистрировать широкие эмиссионные линии в спектрах квазаров по среднеполосным спектральным распределениям энергии. Модель показала. Что на красных смещениях больше 2.2 мы регистрируем более 80% объектов по эмиссионной линии лайман-альфа до звездной величины 22.5. На меньших красных смещениях мы отбирали объекты, преимущественно пользуясь цветовым критерием ультрафиолетового избытка, широко используемого в таких же работах, как SDSS, При использовании данного критерия полнота выборки превышает 90% в диапазоне красных смещений от 1.0 до 2.2, В диапазоне от 0 до 1.0 превышает 70%, на данный диапазон нам не столь интересен.

Также для подтверждения качества классификации и определения фотометрических красных смещений была проведена спектроскопия отдельных объектов на БТА. Здесь приведены 4 спектра новых объектов, снятые на БТА, и хорошо видно, как по среднеполосным спектральным

распределением энергии на правых рисунках видны эмиссионные детали, такие как линия лайман-альфа. Данные объекты слабее 21-й звездной величины, при этом мы прекрасно всё регистрируем.

По полученной выборке квазаров было проведено изучение пространственной плотности квазаров и их функции светимости. Для расчета пространственной плотности квазаров учитывалась геометрия пространства в рамках лямбда-СДМ модели с космологическими параметрами $\Omega_m = 0.3$ и $\Omega_\Lambda = 0.7$, построены гистограммы зависимости пространственной плотности квазаров от красного смещения, проведены сравнения с результатами других обзоров, таких как SDSS, COMBO-17, COSMOS и ALHAMBRA.

Для построения функции светимости и определения абсолютных звездных величин объектов проводилась к-коррекция, также при этом учитывалось межгалактическое поглощение согласно модели Мадау 1993 года. Так была построена функция светимости.

Исследования пространственной плотности квазаров продемонстрировали, что мы имеем похожие данные с другими среднеполосными фотометрическими обзорами, однако спад пространственной плотности по нашим данным наблюдается позже, чем по данным обзора COMBO-17 и ALHAMBRA, и на уровне обзора COSMOS. С широкополосными обзорами на базе SDSS у нас получается очень большая разница: у них спад пространственной плотности начинается гораздо ниже, на красном смещении меньше 2.

Нами также было проведено исследование пространственной плотности квазаров в разных диапазонах абсолютных звездных величин, и по нашим данным мы получили, что для наиболее ярких объектов спад пространственной плотности не наблюдается вплоть до $Z = 4$, и для более слабых величин этот спад также не проявляется, пока мы не достигаем

предела чувствительности за счет ограничения нашей выборки квазаров по глубине. На правом рисунке приведен аналогичный график для обзора COMBO-17, мы видим что у них спад пространственной плотности начинается на красном смещении больше 3 во всех диапазонах светимости.

Аналогичную картину мы наблюдаем по дифференциальной функции светимости квазаров. Наша функция светимости квазаров хорошо согласуется с обзором COMBO-17 на красном смещении меньше 2.4. В диапазоне 2.4 – 3.0 начинают становиться заметными различия функций светимости, на красном смещении больше 3 наша функция светимости остается почти без изменений, а функция светимости COMBO-17 при этом идет на спад

Положения, выносимые на защиту:

- Исследованы возможности модернизированного 1-м телескопа Шмидта БАО НАН для глубокой фотометрии в широких полях с широкополосными и среднеполосными фильтрами. Показано, что для звездообразных объектов в широкополосных фильтрах за 2 часа экспозиции достигается глубина 25^m , а в среднеполосных фильтрах за 1 час экспозиции достигается глубина 23^m .
- Результаты применения методики отбора кандидатов в квазары по среднеполосным и широкополосным фотометрическим данным в поле HS47.5-22. Разработанная автором методика использует в качестве критерия отбора плотность ближайших соседей в многомерном цветовом пространстве и данные фотометрии в ближнем инфракрасном диапазоне.
- Каталог из 682 квазаров в поле HS47.5-22. Для 473 из них впервые проведена классификация и определены красные смещения по данным среднеполосной фотометрии на 1-м телескопе Шмидта и спектроскопии на телескопе БТА САО РАН.

- Показано, что функция светимости квазаров, построенная по полученной выборке, демонстрирует более высокие значения в диапазоне красных смещений $3 < z < 4$, в сравнении с данными других обзоров.

Научная новизна заключается в том, что:

- Впервые были получены среднеполосные фотометрические наблюдательные данные для однородного поля HS47.5-22 площадью 2.38 квадратных градуса до $R_{AB} = 22.5^m$.
- Впервые разработан алгоритм отбора кандидатов в квазары, использующий как данные среднеполосной и широкополосной фотометрии на 1-м телескопе Шмидта, так и данные других оптических, инфракрасных, рентгеновских и радио обзоров. Оценена эффективность применения алгоритма для задач отбора квазаров и поиска необычных объектов.
- Впервые произведен отбор кандидатов в квазары в поле HS47.5-22 площадью 2.38 квадратных градуса до $R_{AB} = 22.5^m$.
- Впервые создан однородный до $R_{AB} = 22.5^m$ каталог кандидатов в квазары в поле HS47.5-22, содержащий данные 682 объектов.
- Впервые по созданному каталогу квазаров построена функция светимости, демонстрирующая более высокие значения в диапазоне красных смещений $3 < z < 4$, в сравнении с данными других обзоров.

Представленный в диссертации новый метод отбора квазаров позволяет создавать репрезентативные выборки для построения функции светимости и изучения космологической эволюции активных ядер галактик. Это позволит уточнить имеющиеся представления об эволюции сверхмассивных черных дыр во Вселенной. Полученный в ходе работы каталог квазаров с фотометрическими красными смещениями является актуальным для анализа

пространственной плотности квазаров и построения их функции светимости для изучения эволюции активных ядер галактик.

Данная работа была представлена на множестве российских и международных конференций, и опубликована в 6 работах, 5 из которых из списка ВАК.

Мой личный вклад заключается в том, что:

Я принимал участие в модернизации 1-м телескопа Шмидта, измерял кривые пропускания фильтров, изучал характеристики детектора, балансировал телескоп, помогал разрабатывать систему освещения подкупольного экрана плоского поля, и участвовал в отладке системы наведения и ведения телескопа.

Также мной была разработана методика автоматического отбора квазаров, и создана программа для отбора квазаров по спектральным распределениям энергии, визуально. Проведено моделирование полноты отбора квазаров. Создан каталог квазаров.

Также мной проведено вычисление пространственной плотности, выполнена к-коррекция, учтено межгалактическое поглощение, и построена функция светимости квазаров. Проведено сравнение с результатами других обзоров.

Также я непосредственно принимал участие в наблюдениях, в проведении среднеполосного фотометрического обзора (порядка 100 наблюдательных ночей), и проводил эксперименты с различными методами обработки изображений, и проводил спектроскопию квазаров на БТА.

Спасибо.

Председатель:

Спасибо за доклад, прошу вопросы!

Романюк И.И.:

Вопрос у меня такой. Касается наблюдений на БТА. Во-первых, типичное количество квазаров в одном поле зрения на БТА, когда вы наблюдаете? Какое типичное время (я просто хочу оценить, сколько это наблюдать надо) экспозиции для одного квазара? И последнее: как вы отбираете кандидаты на спектроскопию? Чисто волонтаристски, спектр из Бюракана понравился – пронаблюдаю? Или есть какие-то определенные критерии?

Котов С.С.:

Спасибо за вопрос. Требуемое время экспозиции на БТА для таких объектов составляет более 1 часа. Здесь приведены объекты 21 с небольшим звездной величины, и на БТА они снимаются поштучно. В целом, в поле зрения БТА попадает всего несколько штук, и возможностей для мультиобъектной спектроскопии сейчас, к сожалению, нет. По поводу того, как отбирались кандидаты на спектроскопию. Поскольку нас больше всего интересовал диапазон красных смещений $z > 3$, то брались слабые объекты-кандидаты именно на далекие квазары. Их не очень много, то есть на $z > 4$ пришлось доснять 2 шт, на $z > 3$, к сожалению, тоже больше не сняли, с погодой не повезло. Но кандидаты отбирались достаточно случайным образом, но преимущественно из кандидатов в далекие квазары.

Романюк И.И.:

Где видно линию лайман-альфа?

Котов С.С.:

Да.

Романюк И.И.:

Спасибо.

Левшаков С.А.:

Я так понимаю, цвета квазаров зависят от ориентации, от угла зрения на газопылевой тор, который окружает центральное ядро активной галактики или квазара. В связи с этим у меня вопрос: как ориентация влияет на полноту выборки ваших объектов? Часть из них будет пропадать, если мы видим почти под прямым углом.

Котов С.С.:

Спасибо за вопрос. Да, действительно, часть квазаров таким образом мы будем терять. Но у нас обзор был нацелен на активные ядра галактик первого типа, которые являются квазарами с яркими эмиссионными линиями, когда мы видим центральную часть активного ядра. Да, мы теряем определенный процент за счет ориентации, как и в любом другом оптическом обзоре. Поскольку речь идет о больших красных смещениях, где даже самые яркие квазары становятся слабее 20-й звездной величины, мы теряем поглощённые активные ядра, но это как и в любых других оптических обзорах.

Левшаков С.А.:

Это может указывать на то, что ваша кривая распределения, функция светимости, она должна быть ещё выше, правильно я понимаю?

Котов С.С.:

Если сравнивать с обзором COSMOS, например, то он гораздо глубже.

Левшаков С.А.:

Дело не в том, что он глубже или нет. Дело в том, что и тот обзор, и ваш обзор теряет часть объектов просто из-за геометрии, ориентации пылевого тора.

Котов С.С.:

Да, здесь идет речь именно про те объекты, которые мы обнаруживаем. Конкретных оценок того, какой процент активных ядер мы потеряли за счет ориентации, не проводилось.

Горанский В.П.:

Вопрос по наблюдениям на Шмидте. Хватает ли одной ночи для получения фотометрии во всех фильтрах, а если нет, то может ли сказаться переменность этих объектов на результатах?

Котов С.С.:

Спасибо большое за вопрос. Переменность объектов на протяжении одной недели не рассматривалась, поскольку характерная переменность квазаров наблюдается на больших масштабах времени. Для того, чтобы отснять одну площадку во всех фильтрах, требуется полноценных наблюдательных зимних ночей одна неделя. Может, даже, две, смотря как повезет с погодой, с качеством изображений. То есть внутри этой недели переменность не учитывалась, а поскольку наблюдения проводились в несколько наблюдательных сетов на протяжении двух лет, каждый наблюдательный сет снималась площадка в фильтре R, и по переменности в этом фильтре проводилась коррекция за переменность в остальных фильтрах, отснятых в данный наблюдательный сет.

Макаров Д.И.:

Если я правильно понял, вы отбирали кандидаты визуальным просмотром спектром (назовём это спектрами, по фотометрии). Вы оценивали, какую долю квазаров вы при этом могли потерять? И тоже связано с этим вопросом, вы отбрасывали объекты, которые вы считали звездами. Вы не прикидывали, сколько квазаров могли быть замаскированы под звезды?

Котов С.С.:

Спасибо за вопрос. Оценки того, как мы можем визуально отбирать, по сути, представлены в данной модели. Здесь мы рассматриваем, насколько мы можем зарегистрировать широкую эмиссионную линию, и это как раз отражает визуальный отбор. Но здесь можно сказать что несколько недооценена эффективность отбора, поскольку для квазаров на красном смещении больше 2.2 в видимый диапазон начинает въезжать части левее линии лайман-альфа. Это падение очень хорошо регистрируется, даже если самой линии лайман-альфа над степенным континуумом не видно. И, соответственно, определяется красное смещение достаточно однозначно. У нас был отснят глубоко фильтр U, поэтому мы могли видеть проседание в голубой области, если фильтр попадал левее лайман-брейка, и таки образом отсеивать те объекты, которые не являются квазарами. Ну и инфракрасные данные, они все-таки очень хорошо нам помогли, потому что большую часть звезд мы по ним убрали. В остальном, вероятность классификации квазара как звезды достаточно мала.

Трушкин С.А.:

По поводу предыдущего рисунка. Я обратил внимание, что вы использовали для SDSS Data Release 14. Сейчас вышел 16-й, и он очень сильно отличается от 14-го, приблизительно в 5 раз по количеству объектов. Насколько изменится этот график по отношению к вашим данным? То есть вот эта желтая кривая, судя по всему, поднимется и потянется туда сильно дальше. То есть там очень сильное увеличение числа объектов.

Котов С.С.:

Мы проводили оценки, когда вышел новый дата-релиз. Для данного поля количество спектров квазаров почему-то не изменилось.

Трушкин С.А.:

Второй вопрос по поводу сравнения с радиоданными. Есть ли какие-нибудь данные по вашей выборке, которые характеризуют ее с точки зрения радиоастрономии?

Котов С.С.:

Мы проводили попытки отождествления с рентгеновскими данными, с радиоданными, но в публикации это пока не вылилось, и в диссертацию не вошло.

Председатель:

Хорошо, завершили вопросы. Спасибо всем, переходим к отзывам.

Додонов С.Н.:

(Читает отзыв научного руководителя)

Председатель:

Спасибо большое. И заключение выпускающей организации.

Секретарь:

(Читает заключение выпускающей организации)

Председатель:

Теперь отзыв ведущей организации.

Секретарь:

(Читает отзыв ведущей организации)

Котов С.С.:

Полностью согласен с высказанными замечаниями.

Председатель:

Тогда мы переходим к отзывам официальных оппонентов. Здесь присутствует один из оппонентов, Балашев Сергей Александрович.

Балашев С.А.:

(Читает отзыв официального оппонента)

Председатель:

Спасибо за отзыв. Сергей, вам надо ответить

Котов С.С.:

Спасибо большое, со всеми замечаниями не могу не согласиться. По поводу более сложных замечаний.

Замечание 1: Соглашусь, в тексте я это плохо описал. Как уже было сказано сегодня, среднеполосные спектральные распределения энергии рассматриваются как спектральные данные, и визуальная классификация по спектрам проводится точно так же. Какие-то более конкретные оценки мы попытались получить, и всё вылилось в данную модель регистрации линий. Это то, что мы можем как-то численно оценить, то есть видна ли на нашем спектре эта линия, или нет. Регистрация линий является ключевым моментом для определения тех же фотометрических красных смещений, и данная модель была рассмотрена как рабочая и достаточно достоверная.

Замечание 2: Пакет зебра использовался, скорее, для удобства. Он массово подгонял модельные спектры к спектральным распределениям энергии, а дальше они проверялись вручную. То есть это просто сэкономило время, а определение проводилось также по зарегистрированным линиям вручную. То есть здесь так же актуальнее будет именно наша модель.

Замечание 3: К сожалению, в тексте я это не проговорил, но сегодня в докладе это упоминалось. Когда у нас линия лайман-альфа попадает в диапазон наших фильтров, для регистрации достаточно лишь одной этой

линии, поскольку у нас получается характерная особенность: степенной континуум, и дальше у нас происходит резкий спад после этой линии. На меньших красных смещениях лайман-альфа не попадает в диапазон наших фильтров, но у нас глубоко отснятый фильтр U, который и на больших красных смещениях помогает увидеть лайман-брейк. На меньших красных смещениях за счет фильтра U путаницы линии лайман-альфа с линией магния быть не может как раз по той причине, что если у нас небольшое красное смещение, фильтр U показывает достаточно яркую величину. Если красное смещение большое, у нас в фильтре U практически сигнала нет, и путаница между линиями магний-2 и лайман-альфа практически избегается.

Балашев С.А.:

Просто фильтр U, он же у вас попадает на край диапазона среднеполосных фильтров?

Котов С.С.:

Он за границей диапазона среднеполосных фильтров, он существенно шире, и он отснят существенно глубже. То есть если у нас в среднеполосных фильтрах происходит дроп-аут и нет сигнала, то это ещё не значит, что сигнала там вообще нет. А фильтр U отснят практически на две величины глубже, и там мы уже можем с уверенностью заявить, что у нас присутствует проседание минимум на две звездные величины.

Балашев С.А.:

Дроп-аут на $z = 2.2$ будет не очень высоким, за счет лайман-альфа-леса. Он будет большим за $z = 2.8$. Я просто к тому, что в SDSS, если посмотреть каталог, бывают случаи, что написано, что это квазар на $z = 2.3$, и нарисована по спектру линия лайман-альфа. То есть у них процедура даже по спектру неправильно отождествила магний-2 с лайман-альфа. Но, в принципе, я согласен. Если квазар на небольшом красном смещении, у него должен быть большой поток в U.

Котов С.С.:

Если говорить про данные SDSS, у них все-таки глубина, особенно в фильтре U, очень ограничена. И со спектрами то же самое. Эмиссионные детали видно, но в спектре квазаров континуум уже видно плохо. Видна одна только эмиссия, а на фоне чего она – не всегда понятно.

Балашев С.А.:

Хорошо, в целом, согласен.

Котов С.С.:

Замечание 4: Согласен, что для оценок уже плохо подходит данный диапазон, но по распределению зависимости абсолютной звездной величины квазаров от красного смещения видно, что до $z = 3$ у нас объекты -24 -й величины регистрируются ещё. Поскольку у нас проводилось ограничение выборки по глубине, то тут попадают большинство объектов, и разница обусловлена в основном особенностями к-коррекции и процедурой расчета. А до $z = 4$ – да, действительно, более адекватная оценка будет -25 – -26 .

Балашев С.А.:

Ну, в целом я, все-таки, думаю, что по этой картинке, где есть явный, что называется, эддингтоновский байас, все-таки, мне кажется, за $z = 3$, -24 – это слишком оптимистичный прогноз, тут явно нет квазаров.

Котов С.С.:

Ну, у нас и на функции светимости видно, что у нас есть загиб на слабых объектах, потому что по-разному они регистрировались в разных фильтрах. Да, действительно, для статистических исследований тут уже спорный вопрос, можно ли использовать такие данные.

Замечание 5: В принципе, могу согласиться, что то, что происходит на $z > 6$ – это лишь предположение и некая экстраполяция. Но для обзора комбо-17 и

космос все-таки есть существенная разница. С обзором COSMOS мы хорошо стыкуемся по пространственной плотности, но вот с тем же обзором COMBO-17 функция светимости и пространственная плотность при разбиении по абсолютным звездным величинам демонстрирует существенную разницу. То есть у нас больше именно ярких объектов получается, чей вклад, соответственно, ожидается больше.

Председатель:

Мы завершили работу с первым оппонентом. Следующий оппонент – Киселев Николай Николаевич.

Киселев Н.Н.:

(Читает отзыв официального оппонента)

Председатель:

Спасибо большое, Николай Николаевич. Сергей, вы хотите что-то прокомментировать?

Котов С.С.:

Спасибо большое! Я со всем согласен, уточню только насчет системы покоя. Подразумевается, что у нас красное смещение равно нулю. То есть наблюдатель и объект находятся, по сути, без взаимного влияния космологических эффектов.

Председатель:

Переходим в режим свободной дискуссии.

Васильев Е.О.:

Мы прослушали интересный доклад по диссертации Сергея. По сложности работы нам уже рассказал Сергей Николаевич (Додонов), а по актуальности – Сергей Александрович (Балашев). Но я хотел бы сказать ещё по научной

значимости и применимости результатов. Сергей в презентации писал о том, что результаты применимы для описания эволюции активных ядер галактик и сверхмассивных черных дыр, но также он упомянул скромно, что эти результаты можно применить к изучению межгалактического ультрафиолетового фона. Дело в том, что это является довольно-таки принципиальным вопросом, и относится к реионизации вещества во вселенной, а именно – к реионизации гелия. Как минимум, полученные результаты меняют количество реионизирующих фотонов, соответственно они меняют представление о динамике реионизации гелия. Это один из ключевых вопросов современной космологии. И вот в связи с этими результатами я призываю всех проголосовать «за».

Моисеев А.В.:

Студент Котов приехал ко мне в свое время заниматься обработкой спектров близких галактик с изогнутыми дисками, это работа у Решетникава по этой теме, и первая его публикация была этому посвящена. Но ему хотелось побольше эксперимента, и оказалось, что вот поднимаем из руин Шмидтовский телескоп, это именно та самая возможность, где можно практически с нуля заниматься собственно наукой, и много полезно наблюдать. И многие вещи, которые здесь говорили, в том числе объем работы, они понятны только тем, кто совсем в «железе погряз». Потому что так вот тут легко показывается «вот она наша система фильтров». А ведь каждый из этих фильтров измерялся лично Сергеем, потому что то, что вам дает производитель, не будет работать. Фильтры будут иметь другие характеристики, когда вы поставите их на телескоп какой-то определенной светосилы. А светосила у Шмидта о-го-го какая! Из-за этого характеристики фильтров сильно меняются. А если говорить о космологических значимостях, как сейчас Евгений Васильев Е.О. рассказывал... Я хочу на пальцах сейчас пояснить, почему важно эту функцию светимости протягивать. Сейчас мы видим благодаря в том числе рентгеновским

обзорам, радиообзорам, мощные квазары на каких-то страшных красных смещениях 6 – 7. Там уже есть сверхмассивные черные дыры, каким-то образом они там уже выросли, и нужно понять, как вообще это все эволюционирует, и почему их там так много, если вроде как подсчеты показывают, что число активных ядер должно уменьшаться. Тут показывают, что не уменьшается. И это важные результаты работы, и что нужно тянуть дальше на большие красные смещения. И если, с одной стороны, в работе говорится, как нужно делать: как нужно строить функцию светимости, как нужно отбирать объекты, и так далее, то важно еще то, что в работе показано, как делать не нужно. Потому что вот такой «обман» сейчас есть среди многих специалистов, что есть вот открытые обзоры, вот мы возьмем SDSS, возьмем WISE, возьмем широкие фильтры, и найдем там квазары, и все что вам нужно. Но оказывается, что нет. Все, что нужно, не найдется. Что будут довольно резкие эффекты селекции, будет множество ошибок отождествлений, и нужно работать с той методикой, что предлагается в данной работе. Поэтому работа очень многогранная, с большим выходом вперед, и с другой стороны она же ещё поддерживает ту диссертацию, что была защищена сегодня утром, потому что методическая часть, связанная с тем, чтобы этот телескоп заработал и выдавал такие результаты, была во многом сделана Сергеем. Поэтому я и сам буду голосовать за, и прошу совет поддержать данную работу.

Председатель:

Я думаю, что присутствующие члены совета согласны с такой оценкой. Дадим человеку высказаться ещё раз. Сергей, пожалуйста.

Котов С.С.:

Спасибо большое. Я бы хотел прежде всего поблагодарить диссертационный совет, который оказался готов меня принять, в особенности Ольгу Николаевну. Хочу отблагодарить своих коллег, которые всегда готовы были

помочь как по науке, так и по бытовым вопросам. И конечно же хочу поблагодарить своего научного руководителя Додонова Сергея Николаевича, без которого данная работа не была бы возможной. И хочу выразить отдельную благодарность Мовсисяну Тиграну Акоповичу за гостеприимство и всестороннюю поддержку этого проекта в Бюраканской астрофизической обсерватории.

Председатель:

Спасибо, вы свободны пока. Переходим к голосованию.

(проводится процедура тайного голосования)

Председатель:

Слово предоставляется председателю счетной комиссии.

Мингалиев М.Г.:

Протокол №151 заседания счетной комиссии, избранной диссертационным советом Д 002.203.01 от 4 октября 2022 года. Состав избирательной комиссии Мингалиев М.Г., Левшаков С.А., Макаров Д.И. Комиссия избрана для подсчета голосов при тайном голосовании по диссертации Котова С.С. на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Состав диссертационного совета утвержден в количестве 20 человек на срок действия номенклатуры специальностей научных работников приказом Минобрнауки РФ № 486/нк от 26 мая 2021 года. Присутствовало на заседании 14 членов совета, в том числе докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации 13. Роздано бюллетеней 14, осталось нерозданных бюллетеней 0, оказалось в урне бюллетеней 14. Результаты голосования по вопросу о присуждении ученой степени кандидата физ-мат наук Котову С.С: За – 14, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель:

Коллеги! Есть замечания по заключению?

Макаров Д.И.:

Упоминается 6 статей, а указано только 5.

Мингалиев М.Г.:

Есть небольшое, на обсуждение. Диссертационный совет отмечает, по этой и по предыдущей диссертации... Давайте я вслух прочитаю, к кому что относится. Надо авторам и руководителю хорошо разделить: «Впервые были получены однородные наблюдательные данные поля площадью...», «Получены среднеполосные фотометрические наблюдательные данные для однородного поля...». Немножко формулировка. Потому что для людей, которые три часа не слушали эти доклады, это может показаться странным. Мы все понимаем, что это разное, и руководитель, выступая в конце защиты, об этом сказал.

Председатель:

Коллеги! Есть еще замечания? Нет? Тогда эти замечания принимаются и учитываются. Утверждаем открытым голосованием это заключение.

Председатель:

Голосуем!

(единогласно «за»)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д002.203.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
СПЕЦИАЛЬНОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 4 октября 2022 г. № 152

О присуждении Котову Сергею Сергеевичу, Российская Федерация, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Поиск активных ядер галактик и изучение их физических свойств по данным среднеполосного фотометрического обзора на 1-м телескопе Шмидта» по специальности 01.03.02 – «Астрофизика и звездная астрономия» принята к защите 28 июля 2022 г., протокол № 139, диссертационным советом Д002.203.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук, Российская академия наук, 369167, КЧР, Зеленчукский район, п. Нижний Архыз.

Соискатель, Котов Сергей Сергеевич, 1994 года рождения, в 2016 году окончил Санкт-Петербургский Государственный Университет по специальности 03.05.01 «Астрономия», с 01.09.2016 г. по 31.08.2021 г. проходил обучение в очной аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук, на данный момент работает в должности младшего научного сотрудника в лаборатории спектроскопии и фотометрии внегалактических объектов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией спектроскопии и фотометрии внегалактических объектов САО РАН, Додонов Сергей Николаевич.

Официальные оппоненты:

1. Киселев Николай Николаевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Крымская астрофизическая обсерватория РАН»

2. Балашев Сергей Александрович, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН»

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург, в своем положительном заключении, подготовленном кандидатом физико-математических наук, доцентом кафедры астрофизики СПбГУ Меркуловой Ольгой Алексеевной, одобренном на заседании кафедры астрофизики 06 сентября 2022 года, утвержденном проректором по научной работе Санкт-Петербургского государственного университета Микушевым С. В., указала, что диссертация является завершённым научным исследованием, удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.03.02 – «Астрофизика и звездная астрономия», а её автор Котов С. С. безусловно заслуживает присуждения ему искомой степени.

Соискатель имеет шесть опубликованных работ по теме диссертации (общим объемом 69 страниц), пять из которых напечатаны в рецензируемых журналах. Наиболее значимые научные результаты по теме диссертации опубликованы в работах:

1. Dodonov, S. N., Kotov, S. S., Movsessian, T. A., Gevorgyan, M. H.; "One-meter Schmidt telescope of the Byurakan Astrophysical Observatory: New capabilities"; *Astrophysical Bulletin*, Vol. 72, Issue 4, pp. 473—479 (2017)

2. Kotov S., Dodonov S., Grokhovskaya A.; "Quasars' physical properties study based on the medium-band photometric survey"; *Astronomische Nachrichten*, Vol. 343, Issue 1/2, e210092 (2022)
3. Kotov S., Dodonov S.; "Active Galactic Nuclei Search"; *Atoms*, Vol. 5, Issue 4 (2017)
4. Grokhovskaya A., Dodonov S.N., Movsessian T.A., Kotov S.S.; "The gMOSS: the galaxy survey and galaxy populations of the large homogeneous field *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, Vol. 513, Issue 4, pp. 5973-5987 (2022)
5. Kotov, S. S., Dodonov, S. N., Movsessian, T. A., Grokhovskaya A. A.; "A catalog of quasars created from the results of a medium-band photometric survey at the 1-m Schmidt telescope"; *Astronomy Letters*, Vol. 48, Issue 8 (2022)

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается темой исследования, высокой компетентностью в вопросах, рассматриваемых в диссертационной работе.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. Получены среднеполосные фотометрические наблюдательные данные для однородного поля HS47.5-22 площадью 2.38 квадратных градуса до $r_{SDSS} = 22.5^m$.
2. Разработан алгоритм отбора кандидатов в квазары, использующий как данные среднеполосной и широкополосной фотометрии на 1-м телескопе Шмидта, так и данные оптических обзоров SDSS и DECaLS, инфракрасного обзора WISE, астрометрического обзора GAIA, рентгеновского обзора ROSAT и радио обзора FIRST. Была оценена эффективность применения алгоритма для задач отбора квазаров и поиска необычных объектов.
3. Произведен отбор кандидатов в квазары в поле HS47.5-22 площадью 2.38 квадратных градуса до $r_{SDSS} = 22.5^m$. 4. Впервые создан однородный до $r_{SDSS} = 22.5^m$ каталог кандидатов в квазары в поле HS47.5-22, содержащий данные для 682 объектов. По созданному каталогу квазаров построена функция светимости, демонстрирующая более высокие значения в диапазоне красных смещений $3 < z < 4$, в сравнении с данными обзоров SDSS, COMBO-17, COSMOS, ALHAMBRA.

Теоретическая значимость диссертационной работы обоснована тем, что результаты, полученные соискателем, могут быть использованы для изучения космологической эволюции активных ядер галактик. Это позволит уточнить имеющиеся представления об эволюции сверхмассивных черных дыр во Вселенной.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

1. При выполнении диссертационного исследования получен большой объём наблюдательных данных на телескопах различного класса (БТА САО РАН, 1-м телескоп Шмидта БАО НАН). Анализ полученных данных позволит получить важнейшие результаты, необходимые для понимания эволюции сверхмассивных черных дыр во Вселенной.
2. Представленный в диссертации новый метод отбора квазаров позволяет создавать репрезентативные выборки для построения функции светимости и изучения космологической эволюции активных ядер галактик. Это позволит уточнить имеющиеся представления об эволюции активных ядер галактик.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Достоверность результатов работы определяется применением стандартных методов и программ при обработке фотометрических данных. Классификация объектов и определение фотометрических красных смещений проводились современными методами, предложенными в многочисленных работах. Результаты работы апробированы на международных и всероссийских конференциях.

Личный вклад автора в обсуждение и интерпретацию результатов во всех статьях равен вкладу других соавторов, при этом вклад автора в подготовке трех статей к печати является определяющим. Автор является соавтором наблюдательных программ на телескопах БТА САО РАН, а данные, полученные в ходе выполнения этих программ, использовались при подготовке диссертации. Обработка спектральных и фотометрических данных, а также фотометрия по данным 1-м телескопа Шмидта БАО НАН выполнены наравне с соавторами.

На заседании 04 октября 2022 г. диссертационный совет принял решение присудить Котову Сергею Сергеевичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования, диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 13 докторов наук по специальности 01.03.02, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 14 , против - 0, недействительных бюллетеней - 0 .

Заместитель председателя
диссертационного совета



Ключкова В.Г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Шолухова О.Н.

04 октября 2022 г.