

Отзыв

официального оппонента

на диссертационную работу Котова Сергея Сергеевича

«Поиск активных ядер галактик и изучение их физических свойств по данным среднеполосного фотометрического обзора на 1-м телескопе Шмидта», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия.

Актуальность проблемы

Работа Котова Сергея Сергеевича посвящена чрезвычайно актуальной проблеме современной астрофизики и космологии – поиску и определению функции светимости активных ядер галактик на больших красных смещениях (квазаров). Несмотря на то, что квазары открыты более 50 лет назад, функция их светимости до сих пор известна недостаточно хорошо. Это связано с тем, что хотя активные ядра излучают электромагнитные волны практически во всех диапазонах энергии, они при этом, демонстрируют в каждом диапазоне сильно варьирующие свойства от источника к источнику. Таким образом, поиск и отбор квазаров в любом диапазоне не даёт полную выборку. Один и наиболее часто используемых и исторически сложившихся диапазонов – это оптический. При этом имеющиеся обзоры квазаров в оптике, либо недостаточны по глубине, либо получены на маленькой площади, что приводит к противоречию между функциями светимости квазаров, измеряемыми в этих обзорах. Работа Котова С.С. призвана разрешить имеющиеся неопределённости используя новый фотометрический обзор квазаров, проведённый на 1-м телескопе Шмидта.

Научная и практическая значимость

Результаты, полученные в диссертации Котова С.С. показывают, что пространственная плотность квазаров, полученная в некоторых предыдущих обзорах достаточно сильно недооценена в диапазоне красных смещений $z \sim 2-3$. Это указывает на необходимость более аккуратно оценивать систематические эффекты, возникающие при селекции объектов в фотометрических обзорах. Например, это чрезвычайно важно для оценок вклада квазаров в реионизацию Вселенной, происходившую на красных смещениях $z \gtrsim 6$. Помимо этого, выполненная работа показывает перспективу использования среднеполосных фильтров для поиска квазаров, а методы преселекции кандидатов в квазары по комбинации среднеполосных и широкополосных фильтров, разработанные диссертантом, могут быть использованы в будущих крупных среднеполосных фотометрических обзорах, таких как J-PAS.

Научная новизна

Получены новые фотометрические данные и создан каталог квазаров, содержащий 682 объекта, в поле HS47.5-22, площадью ~ 2.38 квадратных градуса с предельной величиной $AB=22.5^m$ в R фильтре. Разработан оригинальный метод отбора в кандидаты в квазары, на основе данных

среднеполосной и широкополосной фотометрии, полученной на 1-м телескопе Шмидта, а также обзоров SDSS, DECaLS, WISE, Gaia, ROSAT и FIRST.

Оценка содержания диссертации

Диссертация Котова С.С. состоит из введения, четырех содержательных глав, заключения, приложения и списка литературы, рисунков и таблиц. Объем диссертации – 105 страниц, включая 30 рисунка и 3 таблицы. Список литературы состоит из 112 наименований.

Во **Введении** автор описывает мотивацию изучения пространственной плотности и функции светимости квазаров, обосновывает актуальность поставленной задачи.

Глава 1 посвящена описанию разнообразных методик построения выборок квазаров. В том числе критически рассматриваются методы поиска и селекционные эффекты, сопутствующие этим методам, а также обсуждаются несколько обзоров квазаров, полученных относительно недавно на разнообразных телескопах, используя описанные методы. На основе имеющихся обзоров даётся обоснование выбора метода среднеполосной фотометрии для наблюдений в представленной работе.

В **Главе 2** дано описание процесса модернизации и характеристик 1-м телескопа Шмидта БАО РАН для проведения среднеполосного фотометрического обзора. Описано поле наблюдений обзора HS47.5-22 и обосновывается его выбор. Приводится описание наблюдений и обработки полученных данных. Даётся описание метода детектирования и фотометрии объектов, а также представлена полученная выборка источников в поле HS47.5-22 и её основные характеристики.

В **Главе 3** представлен методика отбора кандидатов в квазары, используя полученные фотометрические данные среднеполосной фотометрии. Обсуждаются свойства известных из других обзоров квазаров в изучаемом поле. Представлен метод предварительной идентификации квазаров на основе комбинации метода ближайших соседей, совместно с определением отношения цветов широкополосной фотометрии, а также данных о собственном движении, полученных телескопом Gaia. Дано описание процесса составления финальной выборки, основанный на визуальной классификации и представлен финальный каталог, содержащий 682 квазара. Описан метод определения фотометрических красных смещений, с помощью фитирования шаблонных спектров пакетом ZEBRA. Представлен анализ полноты полученной выборки и показано, что она составляет более 80 % для объектов ярче $AB=22.5^m$ в исследуемом диапазоне красных смещений.

Глава 4 посвящена построению функции светимости квазаров на основе полученного каталога в поле HS47.5-22. Описана методика расчёта и получены абсолютные звёздные величины квазаров на длине волны 1450 Ангстрем. Построены функций пространственной плотности и светимости квазаров как функции красного смещения в поле HS47.5-22 и проведено сравнение с результатами других обзоров.

В **заключении** сформулированы основные результаты диссертации.

В **приложении** приведён каталог квазаров, полученный по результатам работы, с данными об их основных свойствах.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. Выводы диссертации соответствуют выводам, опубликованным в автореферате.

Соответствие темы диссертации специальности 01.03.02. Содержание диссертации Котова С.С. соответствует специальности 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия.

Основные результаты диссертации Котова С.С. опубликованы в 6 статьях в рецензируемых журналах (5 из списка ВАК), в трёх из них, Котов С.С. является первым автором, и неоднократно представлялись на международных и всероссийских конференциях.

Недостатки и замечания

1. В главе 3.2 представлена процедура отбора кандидатов в квазары по фотометрическим данным, при этом как следует из текста, после применения некоторой относительно подробно описанной статистической процедуры, было отобрано 1355 объектов - кандидатов в квазары. После это использовалась некоторая процедура, основанная на визуальном анализе и некоторых критериях, приведённых без подробностей, которая сократила количество объектов вдвое. Из текста осталось непонятным как применение такой процедуры влияет на полноту выборки? Это является критически важным для обсуждения главных результатов работы, а именно представленной функции светимости квазаров.

2. В разделе 3.4 обсуждаются оценки полноты полученной выборки квазаров, при этом для оценок использовался критерий, описанный без достаточных подробностей, основанный на детектировании линий. Так как такие оценки основаны на данных о распределении эквивалентных ширин линий, то непонятно как неполнота, которая вероятно содержится в использованных данных может наследоваться в оценках, выполняемых диссертантом. Так как полнота выборки отчасти определяется результатами определения фотометрических красных смещений пакетом ZEBRA (т.е. точностью определения красных смещений), было бы правильно определять полноту на основе применения пакета ZEBRA к моделированным данным.

3. В том же месте, что и предыдущее замечание, непонятно сколько линий считалось достаточным для идентификации? Учитывалась ли хорошо известная корреляция в относительной силе линий? Дополнительно, в спектроскопическом каталоге квазаров SDSS, встречаются спектры, в которых эмиссионная линия MgII некорректно отождествлена с линией Ly α , что приводит катастрофической ошибке определения красного смещения (например, вместо $z \sim 0.9$ получается $z \sim 3$). Не связано ли большее значение пространственной плотности квазаров чем в других обзорах, полученное авторами на $z=2.5-3.5$ с таким эффектом?

4. В разделе 4.1 сказано, что полученный каталог является актуальным для изучения функции светимости квазаров до $z=4$ в диапазоне абсолютных величин ярче $M=-24^m$. Однако, как условно следует из рисунка 4.1 это может быть верно только для объектов с $z < 2$. Для квазаров $z < 4$ более правильная предельная величина $M=-26^m$. Это также хорошо видно на нижних панелях рисунка 4.4 где показана дифференциальная функция светимости квазаров для разных диапазонов красных смещений. Для диапазонов с $z > 3$ явно имеется загиб распределения на величинах $M > -25, 26^m$, что было отмечено диссертантом в разделе 4.2.

5. В разделе 4.3 сравниваются зависимости пространственной плотности квазаров от красного смещения, полученные диссертантом с другими обзорами. При этом замечается, что так

как в обзоре в поле NS 47.5-22 снижение пространственной плотности квазаров на красных смещениях $z \sim 2-3$ происходит не так стремительно, как было получено в других обзорах, то это может сделать вклад квазаров в реионизацию водорода при $z > 6$ значительным. Этот вывод кажется несколько необоснованным, так как хорошо видно, что данные обзоров COMBO-17, COSMOS для $z > 4$ согласуются с результатами, полученными в работе.

Несмотря на то, что в целом работа написана понятно и логично (а некоторые разделы даже очень хорошо), присутствуют и недостатки в оформлении. Например, текст в разделе 1.3 местами повторяет раздел 1.1. В разделе 1.2.2 и начале раздела 3.4 указано слишком много подробностей, которые фактически не использовались далее по тексту. Помимо этого, присутствуют орфографические опечатки в тексте (порядка 15 штук на весь текст), например, “фитирование” несколько раз написано в два тт. В целом есть проблема использования англицизмов, например, для понятия шаблона в тексте используется темплейт (и даже template), для фотометрического расстояния - расстояние яркости. Не совсем понятно, из подписи к рисунку 1.5 как полнота может быть 120%. Стоит отдельно упомянуть замечания к оформлению рисунков: стоило бы увеличить графики и размер текста в них, а подписи (по крайней мере в текст по осям) – перевести на русский язык, и сделать более подробными.

Общее заключение

Несмотря на сделанные замечания и отмеченные недостатки диссертация Котова Сергея Сергеевича производит благоприятное впечатление, выполнена на высоком уровне и является завершённой научно-квалификационной работой по поиску квазаров, используя фотометрические наблюдения, и построению функции светимости квазаров с большими красными смещениями. Она содержит значительный объём фактического материала и полученных результатов. Также видно, что проделана большая работа по модернизации 1-м телескопа Шмидта, что является особенно ценным в условиях ограниченности наблюдательных возможностей в нашей стране. Таблицы и рисунки в диссертации полностью соответствуют тексту и содержанию работы.

В диссертационной работе Котова С.С. получены новые важные результаты в области астрофизики и наблюдательной космологии – разработан метод идентификации квазаров по фотометрическим данным среднеполосных обзоров, и исследована эволюция функции светимости квазаров и пространственной плотности. Полученные результаты могут быть **использованы** не только для исследования и разработки процедур поиска активных ядер галактик, но и для изучения галактик, так как включают в себя относительно глубокие данные среднеполосной фотометрии в поле ~ 2.4 квадратных градуса. Результаты работы могут быть использованы в АКЦ ФИАН, ГАО РАН, ГАИШ МГУ, ИНАСАН, ИКИ РАН, САО РАН, СПбГУ, ФТИ им. А.Ф. Иоффе и др.

Считаю, что диссертационная работа «Поиск активных ядер галактик и изучение их физических свойств по данным среднеполосного фотометрического обзора на 1-м телескопе Шмидта», **полностью соответствует** требованиям положения о присуждении ученых степеней ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а её автор, Сергей Сергеевич Котов, **безусловно заслуживает присуждения** **искомой степени кандидата физико-математических наук** по специальности 01.03.02 – «Астрофизика и звездная астрономия».

Официальный оппонент,

С.А. Балашев

кандидат физ.-мат. наук

01.03.02 – Астрофизика и радиоастрономия

научный сотрудник сектора теоретической астрофизики

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук

194021, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26,

Тел. +7 (812) 2927180

Электронная почта: s.balashev@gmail.com

15 сентября 2022

Подпись к.ф.-м.н. Балашева С.А. удостоверяю

Ученый секретарь ФТИ им. А.Ф. Иоффе

кандидат физ.-мат. наук, профессор



М.И. Патров