

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации Лисакова Михаила Михайловича
“Исследование вспышечной активности квазара 3C 273 на наземных и космических
телескопах”

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия.

Один из основных признаков современной астрофизики — переход на новый технологический уровень. Следствием такого перехода является не только проверка теоретических моделей, но и открытие новых, требующих осмысления, явлений. Одним из методов, которые позволяют обнаружить новые факты, является радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами. Существенное продвижение в улучшении угловой разрешающей способности таких систем было обеспечено научной космической обсерваторией “Радиоастрон” АКЦ ФИАН. Рекордное разрешение системы “Радиоастрон — наземные радиотелескопы” позволило увидеть объекты на предельно малых угловых масштабах: до 8 микросекунд дуги и исследовать области близкие к центральной машине активных ядер галактик. Чрезвычайно интересное направление космической РСДБ — изучение мощных квазаров и среди них наиболее известного 3C 273, в котором обнаружены процессы, требующие разработку новых теоретических моделей. Поэтому предлагаемая диссертация Михаила Михайловича Лисакова, посвященная методам и результатам анализа физических свойств квазара 3C 273 с помощью радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами, включающей космический телескоп “Радиоастрон”, несомненно актуальна.

Основными целями диссертационной работы М.М.Лисакова стали исследования физических свойств квазара 3C 273, определение физических параметров струи и изучение процессов генерации излучения, а также проверка модели некогерентного синхротонного излучения релятивистских электронов в струе объекта.

Диссертация содержит четыре главы, а также Введение, Заключение, списки иллюстраций, таблиц и литературы.

Во **Введении** приведены основные цели диссертационной работы, показаны ее научная новизна и практическая ценность. Обосновывается актуальность этих исследований, и представлены результаты работы, выносимые на защиту. Приведен список публикаций автора, в которых опубликованы эти результаты. Также во Введении кратко описано содержание глав диссертации.

В **Первой главе** приводится описание данных космического телескопа LAT/Fermi, наблюдающего в гамма-диапазоне, многочастотных данных, полученных на наземной радиоинтерферометрической решетке VLBA, а также данных наблюдений на наземно-космическом телескопе “Радиоастрон”. В этой же главе разобраны методические вопросы получения данных наблюдений, включающие калибровку и анализ точности наведения космического радиотелескопа.

Во **Второй главе** диссертации исследуется области струи квазара 3C 273, в которых генерируется гамма-излучение. Анализ данных включает моделирование структуры джета, анализ кинематики и кросс-корреляцию кривых блеска. По данным анализа последовательных вспышек, зарегистрированных на длине волны 7 мм, установлена скорость движения вещества струи; она оказалась в 1.5 раза выше, чем измеренная по кинематическим данным. Этот факт объясняется возможной недооценкой скорости вещества струи в стандартном (традиционном) рассмотрении ее кинематики по данным компонентов. По данным движения кластеров компонент показано, что положение ядра коррелирует с его плотностью потока.

Третья глава посвящена исследованиям яркостной температуры объекта 3C 273. Проанализированы данные наблюдений этого квазара на радионтерферометре “Радиоастрон”. Показано, что яркостная температура на длинах волн 1.35, 6 и 18 см превы-

шает теоретический предел для случая равномерного распределения энергии магнитного поля и частиц, равный $10^{10.5}$ К, и предел “комптоновской катастрофы” ($10^{11.5}$ К). Исследовано влияние обнаруженной субструктуры рефракционного рассеяния на амплитуду функции видности на базах больше 100000 км. Показано, что учет субструктуры рассеяния понижает оценку наблюдаемой яркостной температуры на длине волны 18 см до 7×10^{12} К. Получено выражение для определения величины магнитного поля в видимом начале струи с учетом его смещения, а также изменения плотности частиц.

В **Четвертой** главе проведено исследование радиоспектральных свойств выброса из квазара 3С 273. Были построены карты распределения двухчастотных радиоспектральных индексов с согласованной коррекцией UV-плоскости. С помощью моделирования частично-прозрачной области перехода между началом струи (оптически толстая область) и протяженной частью (оптически тонкая область) был оценен размер зоны перехода — 7 пк вдоль струи по данным на частотах 43-24 ГГц.

В **Заключении** приведены основные результаты диссертационного исследования и указаны перспективы дальнейших исследований.

Среди основных результатов диссертации, на мой взгляд, можно выделить обнаружение эффекта роста яркостной температуры от 10^{10} К в минимуме активности 3С 273 до 10^{13} К, объяснение которого требует разработки новых теоретических подходов. Кроме того, впервые для внегалактического источника была открыта субструктура рефракционного рассеяния. В дополнение к этим результатам были исследованы различные (подвижные и неподвижные) компоненты струи 3С 273, локализована область гамма-излучения, исследованы вариации радиоспектрального индекса вдоль струи, которые согласуются с предположением о прохождении через видимое начало струи как причине вспышек.

Научная новизна работы определяется тем, что 1) получены и обработаны новые данные наблюдений 3С 273 на наземно-космическом радиointерферометре “Радиоастрон”; 2) открыто существование экстремальных яркостных температур в компактных структурах джета 3С 273 на длинах волн 1.35, 6 и 18 см; 3) обнаружена субструктура рассеяния излучения протяженного внегалактического излучения; 4) впервые измерены смещение ядра во время вспышки у 3С 273 и протяженность области, в которой происходит просветление струи.

Практическая значимость состоит в том, что 1) разработан метод измерения кинематических параметров по данным о группе компонентов струи; 2) данные о субструктуре рассеяния могут быть использованы при исследовании других квазаров на наземно-космических радиотелескопах; 3) обнаружена систематическая погрешность наведения телескопа “Радиоастрон”, что может быть использовано при создании программных средств наведения космических телескопов.

Диссертация нашла полное отражение в шести публикациях в международных астрономических журналах таких, как “Astrophysical Journal” и “Monthly Notices R. Astron. Soc.”, а также “Космические исследования” и др., удовлетворяющих списку и требованиям ВАК.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Выводы и результаты **обоснованны и достоверны**, что подтверждается применением современных методов наблюдения и анализа данных, публикациями в ведущих астрономических журналах. Моделирование данных функции видности квазара 3С 273 дает непротиворечащие наблюдениям результаты.

Диссертация хорошо иллюстрирована и содержит детальное описание применяемых методов, что позволяет разобраться в особенностях получения научных результатов.

Важно отдельно еще раз отметить, что учет эффекта отклонения между реальной электрической осью и осью визирной системы координат, проведенный в представленной работе, позволил повысить чувствительность наземно-космического интерферометра “Радиоастрон” в полтора раза на длине волны 1.35 см.

Имеется ряд мелких *замечаний*.

На странице 6 приводится определение квазаров, которое неполно и отражает ситуацию двадцатилетней давности. Данное определение не включает результаты оптических измерений и, если следовать ему, надо в сотни раз сократить имеющиеся списки квазаров Слоановского обзора, содержащего в том числе и радиоспокойные квазары.

Диссертант неожиданно вводит терминологию из других областей человеческой деятельности, например, “архетипический квазар” (стр.11 диссертации), с чем могут не согласиться другие астрономы. На стр.13 используется термин “параметры кинематики”. Кинематика - это раздел механики. А в работе, по-видимому, имеются в виду кинематические параметры.

В тексте диссертации часто использована англоязычная пунктуационная система, не соответствующая русскому языку, например, выступающее в начале предложения в роли союза слово “Однако” отделяется от остального предложения запятой (стр.20 и далее везде); то же касается и “Также” (стр.17). А вводные слова, определяющие фразы, такие как “Кроме того” (стр.33), запятой не отделены.

Периодически в предложениях встречается несогласование падежей, лиц и числа, например: “положения ядра не совпадает” (стр.50), “определение параметров...позволяется связать друг с другом...” (стр.53), “для нашим многочастотных” (стр.95-98 в подписях к рисункам 4.1-4.4) и др.

Вызывает сомнение утверждение на стр.67, что “Гамма-фотоны, образованные в процессе обратного комптоновского рассеяния, сразу покидают эту область и направляются к детектору Fermi/LAT, который будет построен примерно через 2 миллиарда лет”. Большая часть фотонов все-таки направляется не на конкретный детектор.

На стр.56 приведена стилистически неудачная фраза: “...использовались точки в течение примерно 1 года..., около 10 точек”, как будто в течение года использовались точки, а потом перестали использоваться.

На стр.59 в подписи к рис.2.13 два раза подряд упоминается фраза “Результат диссертанта”.

На стр.69 (2-я строка сверху) не дана ссылка на источник формулы “ $\Delta t_{obs} < 280\delta^{-1}$ ”.

На стр. 70-71 пункта 5 запятые, поставленные случайным образом, затрудняют понимание текста.

На стр.73 хорошо бы привести ссылку на источник формулы (3.2).

Имело бы смысл пояснить понятие распределения “по гауссу” комплексных величин (видностей), о чем говорится на стр.77.

На стр.83 на рис.3.2 приводятся “симулированные изображения”. Использовался для симуляций отдельный общедоступный пакет, или это частная программа, созданная для конкретного эксперимента?

На стр.92 приведена стилистически неудачная фраза: “Получено выражение для нахождения значения магнитного поля”. Лучше все же говорить о величине: “Получено выражение для определения величины магнитного поля”.

На стр.102 обсуждается распределение величины спектрального индекса вдоль струи. В связи с чем возникают вопросы. Каким образом определялись ошибки на графике 4.6? Сколько было построено моделей с шумами для оценки эффектов распределения? Чем

определяется величина 20% при задании доли точек, подверженных влиянию неодинакового заполнения UV-плоскости?

Перечисленные замечания носят, скорее, редакционный характер и не снижают общей положительной оценки диссертации.

Заключение. Считаю, что представленная диссертационная работа является исследованием, имеющим большое научное и практическое значение в задачах изучения активных ядер галактик, релятивистских струй, методике радиоинтерферометрических наблюдений со сверхдлинными базами, включая наземного-космический телескоп “Радиоастрон”, а также при интерпретации данных, полученных в современных наблюдательных астрономических экспериментах. Диссертант показал свою высокую квалификацию в проведенных им исследованиях структуры струи и активности квазара 3C 273 и анализе наблюдательных радиоинтерферометрических данных. Диссертация удовлетворяет всем требованиям “Положения о порядке присуждения ученых степеней” ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а диссертант Лисаков Михаил Михайлович *несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 “Астрофизика и звездная астрономия”*.

Официальный оппонент

докт.физ.-мат.н., вед.н.с. Верходанов Олег Васильевич

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук (САО РАН)

пос. Нижний Архыз, Карачаево-Черкесская респ., 369167

т. 8-87878-46329, адрес эл.почты: vo@sao.ru

Подпись Верходанова О.В. заверяю

ученый секретарь САО РАН, к.ф.-м.н.

/ Е. И. Кайсина /

17.10.2017 г.