

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
на диссертацию Михальченко Артема Олеговича
«Искажения частотного спектра реликтового излучения и методы их
исследования»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.1 — Физика космоса, астрономия.

Диссертация посвящена исследованию спектральных искажений реликтового излучения и разработке новых методов выделения этих искажений на фоне сигналов с неопределёнными или слабо моделируемыми спектральными характеристиками. Работа затрагивает одну из важнейших тем современной космологии — выявление μ и y искажений спектра РИ, а также оценку их вклада в понимание эволюции ранней Вселенной. Обнаружение этих искажений позволяет получать уникальную информацию о процессах, происходивших в эпоху до рекомбинации, таких как инъекции энергии, затухание акустических волн и распад массивных частиц.

Актуальность исследования определяется тем, что спектральные искажения реликтового излучения несут уникальную информацию о физических процессах, происходивших в эпоху до рекомбинации и на масштабах, недоступных традиционным методам наблюдения. Такие искажения могут быть порождены вбросом энергии либо фотонов в космическую плазму, а также взаимодействием реликтового излучения с горячим газом в галактических скоплениях. При этом обнаружение таких искажений, требует высокой чувствительности, широкого диапазона наблюдаемых частот и тщательного учёта загрязняющих факторов, таких как галактические и внегалактические фоны, шум приборов и особенности оптической системы. Решение задачи отделения слабых спектральных искажений от фонов с плохо определёнными формами спектров имеет ключевое значение для будущих экспериментов («Миллиметрон», PIXIE).

Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения и списка литературы:

1. В первой главе рассматривается анизотропный эффект Сюняева–Зельдовича и его вклад в спектральные искажения параметров Стокса. Автором получен новый аналитический результат: выделена особая компонента спектральных искажений, отличимая от релятивистских и кинематических поправок, а также показано, что она зависит только от низших мультиполей реликтового излучения ($\ell = 1, 2, 3$). Этот эффект позволяет получить независимую оценку диполя, квадруполя и октуполя анизотропии реликтового излучения — особенно актуально на фоне известных аномалий в данных WMAP и Planck.
2. Вторая глава посвящена разработке алгоритма выделения искажений частотного спектра реликтового излучения на фоне компонент с плохо определёнными спектрами (например, пыли, космического инфракрасного фона и эмиссии зеркала телескопа). Предложен новый численный подход — метод наименьшего отклика

LRM (Least Response Method), включающий разложение по параметрам фонов и анализ их допустимых вариаций. Отдельное внимание уделяется практической реализации метода и его устойчивости к неопределённости модели фона.

3. В третьей главе развивается предложенный новый метод, позволяющий выделить слабые сигналы искажений при минимальном отклике на фон и шум, даже если спектральная форма последних неизвестна. Метод тестируется для большого набора фонов и сравнивается с существующими подходами (ILC, MILC), при этом продемонстрирована его превосходящая эффективность. Также получена важная инженерная рекомендация: оптимальная температура зеркала телескопа, при которой возможно измерение μ -искажений, составляет порядка 9 K.

Диссертация оставляет впечатление зрелого и глубокого научного исследования. Разработанный метод наименьшего отклика (Least Response Method) является оригинальным и эффективным инструментом для обработки данных. Показано, что можно эффективно отделять искомый сигнал, не зная точной формы спектра фона. Результаты, касающиеся возможности независимой оценки низких мультиполей реликта, имеют крайне важную научную ценность. Полученное ограничение на оптимальную температуру зеркала телескопа для измерения μ -искажений представляет практическую значимость для планирования космических миссий, в частности «Миллиметрона».

Тем не менее, по диссертации имеются некоторые замечания:

1. В первой главе стоило бы подробнее обсудить потенциальные ограничения метода оценки мультиполей с помощью анизотропного эффекта СЗ, особенно в случае наличия эффектов, связанных с пекулярным движением скоплений или вариациями температуры плазмы.
2. Метод наименьшего отклика построен на ограничении параметров фоновых компонент. Желательно было бы подробнее обсудить устойчивость метода при вариациях границ областей определения параметров.
3. Хотелось бы более подробно увидеть, как LRM может быть усовершенствован при использовании итерационного подхода.
4. В работе предполагается, что фоновые компоненты (например, пыль и синхротронное излучение) не коррелируют между собой. Однако в реальных наблюдениях такие корреляции неизбежны. Их учёт необходим при обработке реальных наблюдений.
5. Вывод об оптимальной температуре зеркала (8–10 K) сделан для конкретной конфигурации Фурье-спектрометров. Желательно исследовать, как этот результат зависит от других параметров.
6. Поскольку методы обработки данных являются потенциально ресурсоёмкими, было бы уместно оценить производительность предложенного алгоритма в зависимости от объёма входных данных, особенно в сравнении с другими методами

(MILC, ILC). Это важно в контексте применения к большим наборам данных, характерным для космологических миссий.

Кроме того, имеются немногочисленные опечатки в тексте. Например, «соответствует» на стр. 37, «амплитуда» стр. 40, «отлик» на стр. 58, 78 и 87, «На Рис. 2.1 справа» вместо «снизу» на стр. 54.

Однако отмеченные замечания носят рекомендательный характер и не умаляют научной значимости и ценности представленной работы.

Диссертация Михальченко А.О. представляет собой значимое научное исследование, выполненное на высоком теоретическом и методическом уровне. Работа содержит ряд фундаментальных результатов, обладающих новизной и практической ценностью для современной астрофизики и космологии.

Критические замечания носят конструктивный характер и не снижают общей высокой оценки работы.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертация Михальченко Артема Олеговича удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 – Физика космоса, астрономия.

Официальный оппонент

Столяров Владислав Александрович

Кандидат физ.-мат. наук, специальность 01.03.02 – Астрофизика и радиоастрономия

Старший научный сотрудник лаборатории радиоастрофизики

Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук

Нижний Архыз, Зеленчукский район, Карачаево-Черкесская республика, 369167, Россия

Тел: +7 988 9125014

Email: vlad@sao.ru

06 августа 2025 г.

_____/Столяров В.А./

Подпись с.н.с. CAO РАН Столярова В.А. удостоверяю

Учёный секретарь CAO РАН

к.ф.-м.н. Кайсина Е.И.