

Отзыв официального оппонента Иванчика А.В.
на диссертационную работу
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

Теоретические и наблюдательные исследования спектра реликтового излучения и его угловой, температурной анизотропии по небу дали возможность, в рамках стандартной Λ CDM космологической модели, определить ряд ключевых космологических параметров с беспрецедентной точностью, что в свою очередь позволило говорить о наступлении эры прецизионной космологии. Не смотря на уже полученную уникальную информацию о строении и эволюции Вселенной, спектр и анизотропия реликтового излучения может содержать в себе дополнительные, не менее ценные сведения о ранних этапах эволюции Вселенной и физических процессах, происходивших в те времена. Эта информация может содержаться как в свойствах поляризации реликтового излучения, так и в спектральных деталях.

Представленная диссертация посвящена исследованию искажения частотного спектра реликтового излучения, в ней обсуждаются различные методы их наблюдений, способы оптимальных параметров получения полезного сигнала. Применение этих методов для анализа результатов будущих наблюдательных экспериментов с более высокой чувствительностью, более высоким спектральным и угловым разрешением позволит продвинуться в понимании строения и эволюции Вселенной, что и определяет **актуальность** представленной диссертации.

Диссертация состоит из Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы и списка графических материалов. **Во введении**, описаны актуальность темы исследования, цели и задачи работы, их научная новизна и практическая значимость, апробация результатов работы, основные положения, выносимые на защиту, список публикаций по теме диссертации, а также личный вклад

диссертанта, структура и объем диссертации. **Первая глава** посвящена исследованию искажений частотного спектра параметров Стокса, возникающих из-за комптоновского рассеяния анизотропного космического микроволнового фонового излучения на электронах в скоплениях галактик. Автор рассмотрел поляризованный тепловой эффект Сюняева-Зельдовича и вывел в аналитическом виде характерные компоненты спектральных искажений параметров Стокса, которые возникают ввиду наличия дипольной, квадрупольной и октупольной компонент в анизотропии реликтового излучения. **Во второй главе** описывается новый подход по отделению спектральных искажений частотного спектра реликтового излучения от фонов с плохо определёнными формами спектра. Приводится пример применения алгоритма к реальному фону. **Третья глава** посвящена применению разработанного алгоритма разделения сигнала с целью отделения спектральных искажений реликтового излучения от ряда фоновых компонент космического и инструментального происхождения. В **заключении** диссертации перечислены основные результаты работы.

В результате выполнения диссертационной работы были получены **новые и важные** научные результаты.

- (i) Обнаружен особый вид спектральных искажений параметров Стокса реликтового излучения. Исследование этих искажений позволяет, наблюдая близкие и удалённые скопления галактик, независимо оценить низкие мультиполи $\ell = 1, 2, 3$ анизотропии реликтового фона, а также разделить вклад в анизотропию от неинтегрального и интегрального эффектов Сакса-Вольфа.
- (ii) Был разработан новый метод разделения компонент сигнала для данных, содержащих μ и u спектральные искажения реликтового излучения, а также фоны космического и инструментального происхождения. В качестве фоновых сигналов космического происхождения рассматривались галактическая пыль, инфракрасный фон, синхротронное излучение и свободно-свободные переходы.
- (iii) Найдена оптимальная температура оптической системы телескопа для любого эксперимента по измерению монополярной части μ искажений спектра реликтового излучения. Её значение составило $8\div 10$ К.

Научные положения, выносимые на защиту, представляются **вполне обоснованными.**

Автореферат полностью отражает содержание и структуру диссертации.

По существу диссертации замечаний, которые ставили бы под сомнение полученные результаты и их важность, не имеется. Однако есть ряд замечаний по представлению результатов и их описания в диссертации, а также ряд стилистических замечаний.

1. Один из ключевых результатов диссертации – обнаружение особого вида спектральных искажений параметров Стокса реликтового излучения. Эффект действительно представляется интересным и важным, поэтому к обоснованию сделанных допущений при его определении приковывается особое внимание. Так при расчете этого эффекта в качестве начального условия предполагается, что падающее излучение не поляризовано (см., например, стр. 27). Однако одной из ключевых характеристик анизотропии реликтового излучения, на измерение которой направляются особые усилия, является именно его поляризация, обусловленная возможностью существования первичных гравитационных волн. В разных инфляционных сценариях предсказывается различная величина этой поляризации, которую в конечном итоге надеются обнаружить. Поэтому при обсуждении открытого авторами эффекта, необходимо оценивать соотношение величин этих эффектов, и в случае не пренебрежимой их малости, оценивать влияние одного эффекта на другой.

Еще одним допущением (стр. 26) является отсутствие учета движения скоплений галактик. Заявляется, что ожидаемый сигнал можно легко отделить от компонент, связанных с кинематическим эффектом СЗ. Это утверждение не выглядит столь очевидным и требует более детального объяснения. Наивно, казалось бы, что движение скопления может породить дополнительную поляризацию, которая является частью открытого авторами эффекта. Так это или нет, в любом случае, столь важное утверждение требует более подробного объяснения.

2. При обсуждении спектральных искажений реликтового излучения упомянуты почти все важные искажения, однако ничего не говорится о рекомбинационных линиях, которые неизбежно возникают в процессе первичной рекомбинации плазмы, на фоне которой и формируется анизотропия реликтового излучения. Да, пока что их не удалось задетектировать, но они точно есть и их величина хорошо известна, в отличие, например, от обсуждаемого μ -искажения, величина которого может быть сколь угодно мала.

Ряд стилистических замечаний:

1. Раздел 2.1 Введение и Раздел 3.1 Введение довольно близко повторяют высказывания представленные в основном Введении диссертации, что кажется излишним.
2. Во Введении первый параграф на стр. 10 весьма странен, непонятно что автор им хотел сказать, поскольку первое предложение, по существу неверно, второе никак не обосновано, а третье противоречит первому.
3. Использование неаккуратных слэнговых выражений, например, T – температура Вселенной, μ - химический потенциал Вселенной (стр 10). Это не верно, поскольку два этих параметра относятся только к реликтовому излучению фотонов и их некорректно приписывать всей Вселенной, поскольку во Вселенной есть реликтовый фон нейтрино с другой температурой и возможно химический потенциал, характеризующий лептонную асимметрию Вселенной.
4. Почему-то автор при обсуждении эффекта Сюняева-Зельдовича постоянно упоминает межзвездную среду (см., например, стр 22, 23), в то время как комптоновское рассеяние реликтового излучения происходит применительно к этому эффекту, на горячих электронах межгалактической среды скоплений галактик, которая по своим свойствам существенно отличается от свойств межзвездной среды самих галактик.

Высказанные стилистические замечания не носят принципиального характера в отношении результатов, полученных в диссертации, и скорее могли бы быть учтены при описании будущих научных результатов, которые получит диссертант.

Считаю, что диссертационная работа **Михальченко Артема Олеговича** «Искажения частотного спектра реликтового излучения и методы их исследования», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 — физика космоса, астрономия, соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года No 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент:

ведущий научный сотрудник

Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе,

доктор физико-математических наук,

член-корреспондент РАН

E-mail: iav@astro.ioffe.ru

Иванчик А.В.

27 августа 2025 г.

194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26

ФГБУН Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе

Российской академии наук

Телефон: (812) 297-2245

E-mail: post@mail.ioffe.ru

Подпись Иванчика А.В. удостоверяю

Зав.отделом кадров ФТИ им. А.Ф. Иоффе

_____/ Е.М. Сулиаури

28.08.2025