

## ОТЗЫВ

**официального оппонента о диссертации Найдена Ярослава Владимировича “Исследование космического микроволнового фона на низких пространственных частотах” на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия**

В настоящее время общепринятой является стандартная  $\Lambda$ CDM модель Вселенной, согласно которой Вселенная является однородной и изотропной на очень больших масштабах, и космическая структура является результатом медленного роста крошечных флуктуаций плотности, которые возникли сразу после Большого взрыва. Данные космических миссий WMAP и Planck показывают в целом хорошее согласие со стандартной моделью. В то же время исключительное качество измерений Planck подтверждает наличие тонких аномалий в картах реликтового излучения, обнаруженных еще WMAP, которые могут оспорить основы стандартной модели. Наиболее серьезной аномалией является дефицит сигнала на больших угловых масштабах (низких значениях мультиполей  $l$ ), который составляет около 10%, по сравнению с тем, что диктуется стандартной моделью. Другие аномалии, которые также были обнаружены ранее – значительное расхождение сигнала реликтового излучения, наблюдаемого в двух противоположных полушариях неба, и аномально большое “холодное пятно” – также подтверждены с высокой степенью достоверности. Все это говорит о том, что некоторые аспекты стандартной модели космологии, возможно, потребуются пересмотреть, повышая вероятность того, Вселенная устроена более сложно, чем мы думаем. В связи со сказанным, диссертационная работа Ярослава Владимировича Найдена, посвященная дальнейшему выявлению и изучению аномалий на больших угловых масштабах по данным международных космических миссий, представляется очень своевременной и актуальной. Также надо отметить большое значение независимых исследований WMAP и Planck карт реликтового излучения различными группами с использованием различных методов анализа. Основной задачей таких исследований является разделение аномалий (негауссовостей), вызванных инструментальными ошибками, ошибками обработки, недостаточной степенью удаления фоновых загрязнений и негауссовостей космологической природы.

Целью диссертационной работы Я. В. Найдена явилась разработка необходимого инструментария для проведения анализа статистической анизотропии карт реликтового излучения и проведение собственно анализа существующих ILC WMAP карт реликтового излучения на низких мультиполях: ( $l < 100$  (высоких пространственных угловых масштабах:  $\theta > 3^\circ$ )).

В первых двух главах рассматриваются методические вопросы, связанные с представлением сигнала на небесной сфере, особенностями методов пикселизации, вычислением углового спектра мощности сигнала, методов статистического анализа карт реликтового излучения. В третьей главе получены все защищаемые диссертантом результаты анализа статистической анизотропии карт реликтового излучения. С помощью методов корреляционного анализа показано, что наблюдаемые негауссовости на низких мультиполях обусловлены источниками излучения галактического и внегалактического происхождения. На основе метода пятипараметрической корреляции получена оценка наибольшего масштаба ячейки неоднородности для различных значений красного смещения  $z$ , т.е. в различные космологические эпохи, что сделано впервые. Последние две главы, четвертая и пятая, посвящены описанию разработанных вычислительных систем, открытых для публичного доступа.

Безусловным достижением диссертации является доведение разработанных методов исследования до общедоступного программного обеспечения и получение реальных оценок. Необходимо отметить оригинальность предложенного метода, основанного на вычислении пятипараметрической корреляционной функции, а также двумерных картографирующих эстиматоров. Слабой стороной диссертации является то, что все исследования выполнены только с использованием ILC карты миссии WMAP, в то время как уже имеются существенно более точные данные миссии Planck, и интересно было бы знать, в какой степени выводы диссертации подтверждаются и даже усиливаются в результате использования новых данных.

*Научная новизна* работы определяется в основном тем, что 1) впервые, на основе предложенного метода пятипараметрической корреляции, определен максимальный размер ячейки неоднородности из совместного анализа карты реликтового излучения и каталога SDSS; 2) показана связь обнаруженной статистической анизотропии карты ILC WMAP с галактическими источниками излучения и источниками излучения в Солнечной системе на основе корреляции с каталогами PCCS, 2MASX и FSC. В диссертации делается общий вывод, что аномалии, обнаруженные на низких

гармониках, не являются космологическими, и для их объяснения не требуется пересмотра модели инфляции. Однако, не думаю, что в этом вопросе поставлена окончательная точка. Исследования статистических аномалий будут проводиться и дальше различными группами с использованием различных методов. Тем не менее, диссертантом проделана огромная работа по интерпретации рассмотренных аномалий.

*Практическая значимость* работы определяется тем, что разработано программное обеспечение, открытое для публичного доступа, которое может быть использовано для изучения аномалий карт реликтового излучения, для отождествления различных источников, а также в широком классе других задач.

Диссертация нашла полное отражение в восьми публикациях в журнале “Астрофизический бюллетень”, входящем в список ВАК. Единственно, вызывает сожаление отсутствие публикаций в зарубежных высокорейтинговых изданиях, поскольку тематика затрагивает интересы многих международных групп, занимающихся поиском негауссовостей в картах реликтового излучения. Результаты работы докладывались на семинарах САО РАН, ГАО РАН, ФТИ им. А. Ф. Иоффе, а также ряде всероссийских и международных конференций.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации, однако в качестве недостатка надо отметить слишком краткое изложение содержания диссертации.

*Обоснованность и достоверность* полученных в работе результатов не вызывают сомнения, поскольку они основаны на адекватном применении математического аппарата, подтверждаются в ряде случаев результатами численного моделирования, а также результатами исследований других авторов.

Имеется ряд мелких замечаний:

1. Стр.6. Хотелось бы знать, почему, по мнению автора, термин “космический микроволновый фон” точнее отражает реальность, нежели термин “реликтовое излучение”.
2. На странице 17 формула приведена с ошибкой, множителя  $C_1^{1/2}$  под знаком суммы не должно быть.
3. В формуле (1.2) в знаменателе должна быть единица, иначе возникает противоречие между формулами (1.4) и исправленной, в соответствии с первым замечанием, формулой на стр.17.
4. Стр.20. Перед уравнением (1.4) должна быть ссылка на формулу (1.1), а не (1.2).

5. Встречаются небрежности в формулировках. Так, например, на стр. 27 в начале параграфа 2.2 дается определение эstimатора как *правила* вычисления какой-либо количественной характеристики. Но уже чуть ниже эstimатор фигурирует как *объект* вычисления: "...мы можем вычислять эstimатор для любой области ... и ожидать, что его значение будет слабо зависеть от координат...".
6. Стр.29. Одномерные сферические сечения являются частным случаем двумерного сферического распределения. Поэтому нельзя говорить о том, что аппарат сферических функций не применим. Фурье-анализ является частным случаем сферического анализа. Мало того, надо было бы привести обоснование применения аппарата одномерного ДПФ к наблюдениям на приведенных сечениях на сфере.
7. Стр.38. Думается, что замена выражения "Однако, процедура разделения компонент оказывает *достаточно слабое* воздействие..." на выражение " Однако, процедура разделения компонент оказывает *некоторое* воздействие..." более точно отразила бы смысл полученного результата.
8. Тема анализа реликтового излучения, изложенная в параграфе 2.3.1. стоит несколько особняком в диссертации. Не совсем понятен смысл этого параграфа, поскольку не делается внятных выводов о том, каково значение проводимых в настоящее время на РАТАНе экспериментов на одномерных сечениях. Если спектр мощности сигнала на одномерных сечениях практически не реагирует на изменение космологических параметров, то зачем нужны такие наблюдения? Возможно, ситуация меняется при более высоких  $l$ . Тогда, начиная с каких? Ничего об этом не говорится.

Вместе с тем, надо отметить некоторое противоречие изложенного в диссертации материала с материалами диссертанта, опубликованными в Астрофизическом Бюллетене 2013 г., N 4. В отмеченной статье делается вывод о малой чувствительности спектра мощности к изменению параметров  $\Omega_b$  и  $\Omega_\Lambda$ , но отмечается значимая чувствительность к спектральному индексу  $n_s$ , чего нет в диссертации, хотя этот параметр тоже варьировался при моделировании. Кроме того, в отличие от указанной публикации, в диссертации ничего не говорится о возможности анализа по одномерным сечениям аномалий реликтового излучения (например, в статье отмечается различие в спектрах мощности для карт чётных и нечётных гармоник), что придало бы больший смысл наблюдениям на одномерных сечениях.

9. В списке Литературы статьи, опубликованные в российских журналах (ПЖ. Астрофизический бюллетень), почему-то даются не в оригинальном, а в англоязычном варианте.

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 задаче анализа природы аномалий и негауссовостей в картах реликтового излучения, полученных по данным современных международных космических экспериментов. Диссертант, являясь членом единственной в России группы по исследованию реликтового излучения, хорошо известной в международном сообществе, показал свою высокую квалификацию в области прецизионной обработки сигналов и создания сложных вычислительных программных комплексов. Диссертация удовлетворяет всем требованиям “Положения о порядке присуждения ученых степеней” ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а диссертант **Найден Ярослав Владимирович** заслуживает присуждения ему ученой степени **кандидата физико-математических наук** по специальности 01.03.02 “Астрофизика и звездная астрономия”.

Официальный оппонент

д.ф.-м.н., с.н.с., гл.н.с. ГАО РАН

А. Т. Байкова

Подпись Байковой А.Т.

ученый секретарь ГАО РАН



Т. П. Борисевич

31.03.2014 г.