

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации Рамазанова Сабира Рамазановича “Начальные этапы развития Вселенной: статистические свойства первичных возмущений” на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика.

После коренного технологического изменения уровня проводимых экспериментов в наблюдательной астрофизике, получения качественных данных с полным покрытием неба на космических обсерваториях, таких как миссии WMAP NASA и Planck ESA, а также с учетом развития математических методов и вычислительных систем, можно с полной уверенностью говорить и наступлении эпохи точной космологии. Несмотря на то, что основные космологические параметры сейчас измерены с высокой степенью точности, имеется ряд серьезных нерешенных проблем, связанных с пониманием полученных наблюдательных данных. Одной из наиболее актуальных тем является статистическая анизотропия карт на низких мультиполях, проявляющаяся в целом ряде аномалий микроволнового фона. Для объяснения этих феноменов привлекаются как теоретические подходы, связанные с созданием сценариев ранней Вселенной, так и поиск факторов сравнительно близкого к нам окружения. Для того, чтобы продвинуться в понимании самых ранних процессов во Вселенной, необходимо детально разобраться с самыми низкими гармониками космического микроволнового фона. В этом и заключается актуальность диссертации Сабира Рамазановича Рамазанова. Чрезвычайно важными стали исследования в этой области после опубликования данных эксперимента BICEP2 по измерению поляризации реликтового излучения, проводимого на Южном полюсе. Рассогласование измеренных амплитуд корреляционных спектров при сравнении с данными WMAP и Planck, показавшими более низкие величины отношения тензорной моды к скалярной, говорит, с одной стороны, о том, что пока еще не сделан окончательный выбор сценария эволюции Вселенной до Большого Взрыва, а, с другой стороны, показывает, что проблема понимания природы низких гармоник, которые могут быть связаны и с распределением сигнала ближнего окружения, выходит на передний край изучения космического микроволнового фона. В этом плане представленная к защите работа находится в русле передовых исследований в этой области.

Целью диссертационной работы С.Р.Рамазанова явилось изучение механизмов генерации первичных возмущений, исследование их свойств и поиск проявления особенностей этих флуктуаций в наблюдательных данных космического микроволнового фона.

Диссертация содержит шесть глав, включая Введение и Заключение, а также четыре приложения и список литературы. Во **Введении** дается описание современного состояния теоретических исследований ранней Вселенной, в основном, базирующихся на моделях инфляции. Также рассмотрены и альтернативные подходы — ранняя эпоха с экспиротомом и модель конформного скатывания. Последняя получила развитие в рамках представленной к защите работе.

Во **второй главе** диссертации исследуется сценарий эволюции в модели конформного скатывания с промежуточной стадией, когда космологические возмущения эволюционируют после окончания конформного скатывания и до эпохи Большого Взрыва. Рассмотрена эволюция полей на стадии конформного скатывания и в последующую промежуточную эпоху. Показано, что возмущения эволюционирующие на фоне радиального решения приобретают плоский спектр в конце стадии конформного скатывания. **Третья глава** посвящена развитию и детализации сценария модели с промежуточной

стадией. В частности, получены оценки уровня негауссовости, определяемой с помощью триспектра, и описаны наблюдательные следствия. Также проведено сравнение предложенного подхода с моделями анизотропной инфляции. Важным рассмотренным предсказанием в третьей главе является существование статистической анизотропии первичных скалярных возмущений в модели конформного скатывания. Обнаруженные отклонения от изотропии в распределении сигнала космического микроволнового фона на низких мультиполях в данных космических миссий WMAP и Planck говорят о важности проработки теорий, объясняющих обнаруженные необычные свойства фонового излучения.

Четвертая глава посвящена рассмотрению конкретных проблем поиска и интерпретации статистической анизотропии в данных WMAP 7-го и 9-го годов. Рассчитаны коэффициенты квадрупольного вида, характеризующие статистическую анизотропию. Причем используемая техника расчета позволяет применить метод для ограничения параметров в других анизотропных моделях ранней Вселенной. В данной главе также построен и применен эстиматор на основе метода максимума квадратичной функции, работающий с данными в гармоническом представлении. С использованием разработанных методов и их применения для данных эксперимента WMAP получены ограничения на параметры модели конформного скатывания с промежуточной стадией, а также для анизотропных моделей инфляции. Для амплитуды квадрупольной статистической анизотропии g_* получены ограничения, рассчитанные по данным WMAP 9-го года наблюдений, сравнимые с результатами Кима и Комацу по данным Planck.

В пятой главе исследуются аномалии космического микроволнового фона, обнаруженные на больших угловых масштабах ($\ell \lesssim 20$) в данных WMAP и подтвержденные на картах Planck. Предложен механизм появления анизотропии микроволнового фона на основе неучтенного излучения пояса Койпера, приводящий к корреляции распределения сигнала в квадрупольной и октупольной компонентах, а также к возникновению асимметрии четности. Применение предложенной модели и декорреляция карты микроволнового фона ILC WMAP позволяет ослабить проблему, связанную с обоими аномальными эффектами.

Безусловным достижением диссертации является детальная проработка новой модели ранней Вселенной, а именно модели конформного скатывания с промежуточной стадией, в которой рассчитаны и описаны предсказываемые в наблюдениях эффекты. Существенным моментом является анализ наблюдательных данных WMAP с целью получения ограничения параметров модели. К сожалению, не для всех рассмотренных моментов имеются аналогичные проверки по данным Planck, что позволило бы не только уточнить параметры, но и сравнить, собственно, сами данные, которые несомненно различаются, по крайней мере, на уровне систематических эффектов. Отдельно хочу отметить пятую главу, где удается показать, что ряд проблем низких мультиполей (“Ось зла” и нарушение четности спектра) может быть разрешен без привлечения новой физики.

Научная новизна работы определяется в основном тем, что 1) разработана модель конформного скатывания с промежуточной стадией; 2) исследован новый механизм генерации первичных возмущений с плоским спектром в сценарии конформного скатывания; 3) проведен анализ данных WMAP 7-го и 9-го годов с целью поиска статистической анизотропии и получены новые ограничения на число е-фолдингов в инфляционных моделях; 4) предложена новая модель, привязанная к излучению пояса Койпера, для

интерпретации наблюдаемых низкочастотных аномалий космического микроволнового фона.

Практическая значимость работы определяется тем, что разработанный подход при исследовании генерации первичных скалярных возмущений может быть применен в других моделях псевдоконформной Вселенной; получены следствия, которые могут быть проверены в наблюдательных данных (например, статистическая анизотропия), предложена модель генерации аномалий микроволнового фона на основе излучения пояса Койпера, которая может оказаться существенной при разделении компонент фонового излучения, а также может быть применена в широком классе других задач, например, при исследовании Солнечной системы.

Диссертация нашла полное отражение в пяти публикациях в журналах “Journal of Cosmology and Astroparticle Physics” и “Physical Review D”, удовлетворяющих списку и правилам ВАК.

Автореферат правильно отражает содержание 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*:

В Оглавлении диссертации не указаны Приложения и Список Литературы.

Во Введении диссертации (стр.4) говорится о метрике Фридмана–Робертсона–Уокера, в то время как в каноническом виде она называется метрикой Фридмана–Леметра–Робертсона–Уокера.

Часто встречаются жаргонные выражения. Например, когда говорится о негауссовости флуктуаций (стр.15), используется оборот “величина негауссовости” вместо “величина параметра негауссовости” либо “уровень негауссовости”.

При описании излучения Млечного Пути (стр.18), когда речь идет о нашей Галактике, следует учитывать, что в данном случае “Галактика” — имя собственное, чтобы избежать путаницы с другими объектами.

В Главе 3 вводится понятие амплитуды квадрупольной статистической анизотропии g_* (Ур.3.12), что подразумевает скалярную величину. Однако в Главе 4 это же обозначение (без параметров) уже применяется для описания распределения на сфере, т.е. функции.

В Главе 4 говорится о различии результатов поиска статистической анизотропии в данных 7-го и 9-го годов WMAP (Раздел 4.3), и различие объясняется учетом формы диаграммы направленности антенны. Интересно было провести деконволюцию данных 7-го года и сравнить результаты с данными 9-ого. Это замечание в частности связано с тем, что в работе группы института Нильса Бора (A.Frejsel, M.Hansen, and H.Liu, JCAP 06, 005 (2013)) было обнаружено, что карта LC9 имеет высокую корреляцию с разностным сигналом в восстановленных картах, и для исследовательских задач предложено использовать при космологическом анализе как раз карту LC7.

На стр.93 используется понятие “асимметрия функции сглаживания пучка” (причем в Автореферате диссертации (стр.20) уже говорится об “асимметрии функции сглаживания луча”), в то время как речь идет об асимметрии диаграммы направленности антенны.

Таблица 4.1 (стр.95) не помещается в формат листа.

При обсуждении статистической анизотропии (Раздел 4.3.2, Рис.4.7, Таблица 4.2)

проверяется уровень по выделенным направлениям, связанным с эклиптической системой координат. В то же время Рис.4.7 демонстрирует явно выделенную галактическую систему, что тоже можно было бы обсудить.

В подписи к Рис. 5.2 (стр.105) следует поменять описание систем координат слева и справа.

В тексте диссертации обнаруживается большое число опечаток, причем их число растет с номером главы.

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 исследования ранней эволюции Вселенной, возникновения и роста первичных возмущений и природы аномалий в картах космического микроволнового фона, полученных по данным современных международных космических экспериментов. Диссертант показал свою высокую квалификацию в области физики ранней Вселенной и интерпретации наблюдательных данных по реликтовому излучению. Диссертация удовлетворяет всем требованиям “Положения о порядке присуждения ученых степеней” ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а диссертант Рамазанов Сабир Рамазанович *несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 “Теоретическая физика”*.

Официальный оппонент
д.ф.-м.н., вед.н.с. САО РАН

/ О. В. Верходанов

Подпись Верходанов О.В. удостоверяю
и.о. ученого секретаря САО РАН, к.ф.-м.н.

/ Е. И. Кайсина

26.05.2014 г.