Отзыв научного руководителя

на диссертацию **Рамазанова Сабира Рамазановича**

«Начальные этапы развития Вселенной: статистические свойства первичных возмущений», представленной на соискание степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02, теоретическая физика.

Представленная диссертация посвящена одной из актуальнейших проблем современной космологии: объяснению свойств первичных скалярных возмущений. Данное исследование интересно в первую очередь в свете наблюдений космического микроволнового фона, проведенных в рамках экспериментов WMAP и Planck, а также исследований крупномасштабной структуры Вселенной. На настоящий момент с хорошей точностью установлен ряд свойств первичных скалярных возмущений: они адиабатические, характеризуются гауссовой статистикой, их спектр мощности имеет небольшой отрицательный наклон. Отмеченные особенности находятся в хорошем согласии с инфляционной теорией, главным кандидатом на роль ранней Вселенной. Тем не менее, существует ряд моделей ранней Вселенной, в которых удается добиться согласия с экспериментальными данными без привлечения инфляционного расширения Вселенной на ранних временах. В частности, в модели конформного скатывания (почти) плоский спектр мощности является следствием конформной симметрии на временах, предшествовавших началу горячего Большого Взрыва.

Основным ингредиентом модели конформного скатывания является безмассовое комплексное скалярное поле, характеризующееся самодействием в виде отрицательного потенциала четвертой степени. В ходе эволюции радиус скалярного поля скатывается вдоль склона потенциала. Возмущения фазового поля развиваются на фоне радиального решения и приобретают плоский спектр мощности к концу конформного скатывания. В предположении о слабом нарушении конформной инвариантности удается также получить небольшой наклон спектра. Модель конформного скатывания допускает две версии в зависимости от космологической эволюции по окончании конформного скатывания. В одной версии возмущения фазы находятся за горизонтом на момент окончания скатывания. В этом случае их эволюция прекращается вплоть до начала горячего Большого Взрыва. В противном случае возмущения фазы продолжают эволюционировать на так называемой промежуточной стадии, которая заканчивается в момент, когда возмущения выходят за горизонт (до начала горячей эпохи). Главная особенность промежуточной стадии состоит в том, что космологическая эволюция на ней характеризуется почти плоской пространственно-временной метрикой-- в противном случае, оказалось бы сильно нарушенным свойство плоскостности спектра фазовых возмущений, сгенерированных к концу конформной эпохи.

Версия модели конформного скатывания с промежуточной стадией была в деталях разработана в настоящей диссертации. В частности, была вычислена форма фазовых возмущений на момент заморозки. Вычисление было проведено аналитически, в предположении длительной промежуточной стадии (по сравнению с характерными космологическими масштабами). Исходя из результатов вычислений, был получен ряд важных предсказаний в свете наблюдений космического микроволнового фона: негауссовость на уровне биспектра и триспектра, небольшой наклон спектра первичных скалярных возмущений и статистическая анизотропия. Последнее предсказание особенно важно, так как представляет собой альтернативу имеющимся на сегодня предсказаниям, следующим из инфляции и модели конформного скатывания без промежуточной стадии.

В диссертации также представлен анализ данных WMAP седьмого и девятого годов на вопрос наличия в них сигнала статистической анизотропии предсказываемого типа. Из ненаблюдения космологической статистической анизотропии были получены ограничения на ряд анизотропных моделей ранней Вселенной. Замечательно, что помимо модели с промежуточной стадией, были рассмотрены версия конформного скатывания без промежуточной стадией, а также анизотропные модели инфляции с векторными полями.

Наконец, в диссертации исследован ряд аномалий, обнаруженных в низших мультиполях космического микроволнового фона: сильная корреляция между квадруполем и октуполем и асимметрия в спектре мощности четных и нечетных мультиполей. Предложена модель, которая позволяет одновременно разрешить обе указанные аномалии. Главным ингредиентом модели является неучтенное фоновое излучение, расположенное симметрично отностительно эклиптической плоскости. Показано, что существует область модельных параметров, для которой находят объяснение как корреляция в низших мультиполях, так и асимметрия четности.

Сильной стороной диссертации, безусловно, является получение конкретных предсказаний, доступных для проверки в имеющихся и будущих экспериментальных. Это делает проделанную теоретическую работу актуальной, а конкретные результаты востребованными в научном сообществе.

Главный научный сотрудник ИЯИ РАН,

доктор физико-математических наук,

академик В. А. Рубаков

 3.03.2014