

ОТЗЫВ научного руководителя
на диссертацию Иванова Михаила Михайловича
«Первичные неоднородности в неминимальных
космологических моделях и слабо-нелинейный режим
формирования структур»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по
специальности 01.04.02 — теоретическая физика

Многочисленные астрофизические и космологические наблюдения свидетельствуют о существовании во Вселенной тёмной материи и тёмной энергии, а также о стадии экспоненциального расширения Вселенной (инфляции) на раннем этапе её существования. Прояснение природы тёмных компонент наряду с механизмом инфляции является одной из наиболее актуальных задач современной космологии. Стандартная космологическая модель (СКМ) предполагает, что тёмная материя состоит из частиц, которые практически не имеют иных взаимодействий друг с другом и обычной материей, помимо гравитационного, в то время как роль тёмной энергии играет космологическая постоянная в уравнениях Эйнштейна. Источником же инфляции является потенциальная энергия скалярного поля, имеющего ненулевое медленно меняющееся вакуумное ожидание в ранней Вселенной. На данный момент СКМ весьма хорошо согласуется с данными наблюдений. Однако постоянное увеличение объёма и точности космологических данных ставит вопрос о прецизионной проверке СКМ и поиске возможных отклонений от неё. Обнаружение таких отклонений способно дать детальную информацию о свойствах тёмной материи и тёмной энергии и может пролить свет на квантовую гравитацию.

С точки зрения теоретической физики достижение описанной выше цели требует решения двух задач. Во-первых, разработки надёжных и эффективных методов предсказания данных наблюдений из первых принципов, что является весьма сложной задачей даже в СКМ ввиду нелинейной динамики, связывающей наблюдаемые величины с фундаментальными параметрами теории. Во-вторых, построения неминимальных космологических моделей для сравнения их предсказаний с предсказаниями СКМ.

Работа М. М. Иванова посвящена исследованию в этих двух направлениях. В первых трёх главах рассмотрены космологические модели, мотивированные рядом подходов к квантовой гравитации. Особое внимание уделено производству и эволюции первичных возмущений. В первой главе дис-

сертации изучена инфляционная динамика в модели квадратичной гравитации, которая допускает пертурбативное квантование в четырёхмерном пространстве-времени. Известным недостатком этой теории является, однако, нарушение унитарности при высоких энергиях. В диссертации теория рассмотрена в режиме, допускающем надёжные космологические предсказания, независимо от способа решения вышеуказанной проблемы. Показано однако, что такая модель не может адекватно описать наблюдаемую Вселенную. Сделан вывод о необходимости устранения проблемы нарушения унитарности для построения самосогласованных космологических моделей в рамках квадратичной гравитации.

Вторая глава диссертации посвящена теориям гравитации с нарушенной лоренцевой симметрией и наблюдательным ограничениям на их параметры. Данные теории мотивированы новым подходом П. Хоржавы к квантованию гравитации, допускающим (слабое) нарушение лоренц-инвариантности. Третья глава посвящена модели инфляции с нарушенной лоренцевой симметрией. Качественно новой особенностью модели является возможность инфляционного расширения Вселенной за счет взаимодействия нарушающего лоренцеву симметрию поля и инфлатона. В этом случае инфляция может происходить даже при полном отсутствии потенциала инфлатона. Исследованы формирование первичных возмущений и их статистические свойства, произведено сравнение с данными спутника «Планк» по анизотропии температуры реликтового излучения.

Четвертая и пятая главы посвящены исследованию модели тёмной материи с нарушенной лоренцевой симметрией. Выявлены и исследованы интересные с наблюдательной точки зрения эффекты, которые затем были ограничены с использованием данных спутника «Планк» по реликтовому излучению и обзора крупномасштабной структуры Вселенной «ВигглЗ». В результате данного сравнения были получены сильнейшие ограничения на нарушение лоренцевой симметрии в гравитации и впервые получены ограничения на нарушение лоренцевой симметрии в секторе тёмной материи.

Шестая и седьмая главы диссертации посвящены развитию нового аналитического подхода для описания крупномасштабной структуры Вселенной в слабо-нелинейном режиме. Данная задача является весьма актуальной в свете большого объёма космологической информации, получаемого из статистических свойств распределения материи на больших масштабах. Новый подход, названный «теория возмущений на временных расслоениях» (ТВВР) основан на изучении зависящей от времени функции распределения космологических полей, позволяющей вычислить их корреляторы на фиксированных красных смещениях. Метод ТВВР применён для точного

описания нелинейных эффектов длинноволновых возмущений на сахаровские осцилляции в крупномасштабном распределении материи. Показано, что корреляционная функция материи, вычисленная в рамках данного метода, хорошо согласуется с данными численного моделирования на масштабах сахаровских осцилляций. Получена надежная оценка смещения пика этих осцилляций в координатном пространстве.

Представленная диссертация выполнена на высоком научном уровне, а вошедшие в неё результаты уже получили признание в научном сообществе. Следует отметить определяющий вклад соискателя во все работы, вошедшие в диссертацию. М. М. Иванов является сложившимся исследователем с широким кругом научных интересов, включающим в себя теорию поля, гравитацию и космологию.

Диссертация «Первичные неоднородности в неминимальных космологических моделях и слабо-нелинейный режим формирования структур» полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Иванов Михаил Михайлович, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико — математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика.

21 сентября 2017 г.

Старший научный сотрудник ИЯИ РАН,
к.ф. -м.н.

С. М. Сибиряков

Подпись Сибирякова С.М. удостоверяю:

Учёный секретарь ИЯИ РАН

А. Д. Селидовкин