

ОТЗЫВ

официального оппонента Горбунова Дмитрия Сергеевича
на диссертацию Головнева Алексея Валерьевича «Модифицированные теории гравитации в космологическом контексте», представленной на соискание
ученой степени доктора физико-математических наук по специальности
01.04.02- «теоретическая физика».

В рамках Стандартной модели физики частиц и Общей теории относительности невозможно объяснить огромную совокупность астрономических наблюдений, относящихся ко Вселенной в целом и к крупнейшим гравитационно связанным структурам – галактикам и скоплениям галактик. Мы не понимаем источника асимметрии между материей и антиматерией в ранней Вселенной. Кроме того, для описания эволюции Вселенной и образования крупномасштабной структуры материи требуется ввести два новых ингредиента – тёмную материю и тёмную энергию – чей вклад в полную плотность энергии Вселенной является определяющим уже начиная с эпохи, предшествовавшей образованию атомов водорода (рекомбинации). Строго говоря, наблюдения указывают на недостаток гравитационных потенциалов от обычного вещества, причём пространственные масштабы и времена варьируются в очень широких пределах: от характерных размеров карликовых галактик до размера видимой части Вселенной, от периода оборота галактики до современного возраста Вселенной. Более того, нам нужны эти компоненты и в современной и в ранней Вселенной. Новые ингредиенты традиционно подразумевают модификацию физики частиц, и предложено большое количество таких модификаций, успешно справляющихся с генерацией недостающих гравитационных потенциалов в рамках стандартной эйнштейновской гравитации. В то же время, такое решение не гарантировано, и вместо новых ингредиентов, возможно, следует модифицировать теорию гравитации. Пока успешных в этом смысле модификаций предложено не было, но это не означает, что такой

модификации не существует. Данная диссертация посвящена теоретическому исследованию различных моделей модифицированной гравитации – направлению современной теоретической физики, в развитие которого автор действительно внёс заметный вклад. Актуальность работы и её важность для правильного понимания физических законов и устройства нашей Вселенной не вызывает сомнения.

Диссертация состоит из Введения, пяти глав основного текста, Заключения и Списка литературы. Во Введении обсуждается актуальность исследования, цели работы и разработанность темы, перечислены общие положения, выносимые на защиту, показана научная новизна, значимость работы, апробация полученных результатов и их публикация. В первой главе приведён вспомогательный материал: математический формализм, активно используемый в последующих главах для описания модификаций гравитации, изложены основные сведения из космологии. Вторая глава посвящена построению и исследованию свойств космологических моделей ранней инфляции (почти экспоненциального расширения ранней Вселенной), обеспеченной динамикой массивных векторных полей. Автор рассматривает случай неминимальной связи векторов с гравитацией, что согласуется с названием диссертации. Рассматривается вопрос стабильности малых неоднородностей и даётся краткий обзор современного состояния дел в этой области. В третьей главе обсуждается так называемая массивная гравитация – модификация Общей теории относительности с массивным гравитоном. Представлены основные проблемы, лежащие на пути построения такой теории, и описывается пример успешного построения – модель де Рам, Габададзе и Толли. Автор приводит оригинальный анализ стабильности данной модели, а также подробно обсуждает математические проблемы изучения этой теории при использовании квадратных корней из матриц. В четвёртой главе рассматриваются избранные модели биметрической гравитации и приводится специфический формализм, удобный для описания решений и исследованию их стабильности. Пятая глава содержит сразу

несколько различных вопросов: построение телепараллельных теорий гравитации, эквивалентную формулировку популярной модели тёмной материи (Mimetic dark matter), обсуждение модифицированной ньютоновой динамики, исследование дополнительных квантовых потенциалов в многомерных теориях и оригинальное замечание об информационном парадоксе чёрных дыр. В Заключение сформулированы основные полученные результаты и представлен список опубликованных работ по теме диссертации.

По сути к диссертации есть два основных замечания: она неоправданно большая и, вопреки названию, не показывает собственно связи полученных результатов с космологией.

Автор многие годы и успешно работает над построением и исследованием моделей модифицированной гравитации, и при наличии большого количества работ нет необходимости включать их все в диссертацию. В случае с работами из Главы 5 автор сам отчасти признаёт это. Да и формально, обсуждение, например, информационного парадокса чёрных дыр (раздел 5.5), не относится к теме диссертации. В первой главе (а она занимает четверть текста без литературы) более половины места уделено описанию современных представлений о развитии ранней Вселенной, включая детали рекомбинации и первичного нуклеосинтеза. При этом в основном тексте ничего из этого ни то что не используется, но даже не упоминается. Подробное изложение математических особенностей извлечение корня из матрицы (раздел 3.4), с отсылкой к известному учебнику Ф.Гантмахера тоже можно было бы заметно сократить. Автореферат отчасти страдает тем же недостатком: зачем-то автор вставил сюда полное оглавление диссертации, которое заняло 5 страниц, а потом традиционно представил основное содержание диссертации, уместившееся на 8 страницах. Помимо результатов, выносимых на защиту, приводятся ещё «основные результаты диссертации».

Несмотря на то, что в качестве мотивации к рассмотрению моделей модифицированной гравитации автор предъявляет космологические проблемы, при обсуждении конкретных моделей или своих результатов для этих моделей

никакой связи с космологией не прослеживается нигде, за исключением рассмотрения модели Mimetic Dark Matter (где хотя бы продемонстрировано ожидаемое для тёмной материи поведение с масштабным фактором). Принимая во внимание огромный объём диссертации, было бы правильным потратить по страничке на то, чтобы объяснить чем конкретная модель замечательна для решения именно космологических проблем: решаются ли проблемы тёмной материи или тёмной энергии, чем данные решения предпочтительнее модификации физики частиц и т. п. В диссертации почти полностью отсутствует связь между обсуждением физических проблем во Введении, разделами 1.2, 1.3 и остальным текстом.

Из конкретных замечаний, можно указать следующие. В первой главе лишь первое из уравнений (1.65), (1.66) традиционно называют уравнением Фридмана. На странице 50 утверждается, что поскольку вклад кривизны убывает, то ранняя Вселенная была ещё более плоской, но ведь с расширением Вселенной растёт радиус кривизны трёхмерного многообразия, а значит она «выпрямляется». На странице 53 написано, что расширение Вселенной не нарушает термодинамического равновесия фотонного газа, но ведь именно из-за расширения во Вселенной произошла рекомбинация и фотоны (радиация) отщепились от материи, ставшей электронейтральной. Там же приведённое обсуждение термодинамического равновесия между релятивистской и нерелятивистской компонентами также представляется некорректным. Не совсем удачно описано нарушение барионного числа и роль сфалеронных переходов в модели SU(5). Указано, что масса слабо взаимодействующих массивных частиц тёмной материи должна быть порядка ТэВ, но модельно независимые оценки определяются не массой, а исключительно сечением аннигиляции этих частиц. Непонятно, чем при обсуждении вклада физических масштабов в величину космологической постоянной выделен масштаб 1 ТэВ (60 порядков величины): во-первых это не масштаб восстановления суперсимметрии, а (возможный) масштаб масс суперпартнёров частиц Стандартной модели, а во-вторых в космологическом контексте следует

рассматривать супергравитацию, а в ней, вообще говоря, плотность энергии не ограничена снизу. Во второй главе рассматривается массивное векторное поле с характерным энергетическим масштабом (параметр Хаббла), превышающим массу поля. При описании взаимодействия такого поля с другими полями (а это обязательно надо сделать, поскольку энергия этого поля – инфлатона – в конце концов должна пойти на разогрев Вселенной) можно ожидать проблемы с унитарностью, аналогичные проблемам для массивных электрослабых векторных бозонов, решаемым хиггсовским механизмом. Будут ли здесь такие проблемы, как их предполагается решать, связаны ли эти проблемы с обсуждаемыми в диссертации нестабильностями модели, и не изменит ли включение хиггсовского механизма инфляционную динамику модели? На странице 95 существование режима медленного скатывания ассоциируется с достаточно малой массой поля, но для скалярного случая важно большое (выше планковского) значение поля, а не масса. С чем связано отличие? Автор упоминает, что обсуждение аналогичных рассматриваемым в диссертации проблем с векторными полями содержится в малоизвестных «старых статьях по инфляции», ссылаясь при этом на работу, опубликованную лишь за 4 года до работ автора, причём в том же журнале: это выглядит странным. В начале третьей главы упомянуты космологические решения в массивной гравитации, но к сожалению не сказано, на каком этапе эволюции Вселенной оказывается существенной масса гравитона. Величина этого параметра остаётся неясной и после обсуждения основных проблем в конце главы. При обсуждении нестандартных корней из матриц не отслеживается, насколько такие решения важны именно в космологическом контексте. В пятой главе говорится, что начальное распределение Mimetic dark matter оказывается константой интегрирования: означает ли это подгон величины и скоррелированности пространственных неоднородностей (адиабатическая мода)?


Из технических замечаний отмечу использование некоторых величин в формулах без или до их определения в тексте, изменение обозначений по ходу

изложения (например, постоянной Больцмана или величины массы Планка: где-то стоит, где-то опущена), привлечение литературных фраз и оборотов, несвойственных научным текстам (что, конечно, оживляет повествование), умеренное использование англицизмов (релевантное, кор, касп), нестандартных терминов (праворукие нейтрино, условие медленного качения), и удивительно малое для 298 страниц количество опечаток как в формулах, так и в тексте.

Все вышеизложенные недостатки и поднятые вопросы ни в коей мере не снижают ценности диссертации как фундаментального научного исследования в области теоретической физики. Все результаты, представленные в диссертации, являются оригинальными. Они чётко обоснованы и изложены в многочисленных, в том числе высокоцитируемых публикациях в российских и зарубежных рецензируемых журналах. Результаты неоднократно докладывались на российских и международных конференциях, а также на многочисленных научных семинарах в ряде российских и зарубежных институтов.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации, изложение рассчитано на широкую научную аудиторию, что немаловажно. Диссертационная работа полностью отвечает всем требованиям Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а сам автор, Головнев Алексей Валерьевич, заслуживает присуждения искомой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Главный научный сотрудник ОТФ ИЯИ РАН
доктор физ.-мат. наук, член-корр. РАН



Горбунов Д.С.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН)

Адрес: проспект 60-летия Октября, 7а, Москва, 117312

Тел.: +7(499)783-9291

e-mail: gorby@ms2.inr.ac.ru

Дата: 06.03.2018г.

Подпись Д.С. Горбунова удостоверяю.

Учёный секретарь ИЯИ РАН

кандидат физ.-мат. наук



Вересникова А.В.