

Отзыв официального оппонента **Барвинского Андрея Олеговича**

на диссертацию Токаревой Анны Александровны

«Наблюдаемые следствия модификаций гравитации в космологии и астрофизике»,

представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02- теоретическая физика.

В диссертационной работе А. А. Токаревой рассмотрен ряд актуальных проблем модифицированной теории гравитации в космологии и астрофизике. Актуальность исследований модифицированной гравитации диктуется необходимостью объяснения физики как очень ранней, так и современной Вселенной. В этом смысле данная работа покрывает очень широкий круг явлений, включающих физику частиц Стандартной модели, инфляцию и физику темной энергии и являющихся в мировой науке предметом самого напряженного и дорогостоящего экспериментального исследования, как в области микромира, так и в области крупномасштабной структуры пространства-времени.

В первой главе диссертации рассматривается модифицированная модель гравитации Старобинского с материальным источником в виде поля Хиггса Стандартной модели физики частиц, конформно связанного с кривизной пространства-времени. Эта модель интересна по ряду причин. В частности, конформное взаимодействие поля Хиггса со скаляром кривизны соответствует фиксированной точке ренормгруппы Стандартной модели и приводит к наличию новой релятивистской степени свободы – безмассового дилатона, возможный избыток частиц которого может быть критически важным для выполнения ограничений, налагаемых механизмом нуклеосинтеза. По сравнению со стандартным сценарием,

описанным А. Старобинским, в данной модели происходит более поздний разогрев Вселенной после инфляции. В работе показано, что при конформной связи разогрев происходит за счет распада поля скалярона на калибровочные бозоны. Рассмотрены также наблюдаемые следствия более низкой температуры разогрева: гравитационно-волновой сигнал, который в принципе может быть обнаружен в будущих экспериментах, и предсказания для спектра возмущений. В конце главы обсуждается вопрос о стабильности поля Хиггса в этой модели на стадии осцилляций скалярона и ставится ограничение на массу хиггсовского бозона.

Во второй главе рассмотрены модели инфляции со спонтанным нарушением масштабной инвариантности, в которых масса Планка определяется вакуумным средним нового скалярного поля. Изучено расширение модели Старобинского, которое включает инфляцию на поле скалярона, а также переход от нее к инфляции на поле Хиггса. Вычислен вклад дилатонов в темную радиацию, из которого получены ограничения на возможные модели инфляции со спонтанным нарушением масштабной инвариантности.

В третьей главе рассмотрена $F(R)$ модель гравитации Старобинского, возможно объясняющая механизм темной энергии во Вселенной. Исследовано рождение частиц полем скалярона в сжимающейся среде. Проведены вычисления как квантового рождения скаляронов (связанного с зависимостью массы скалярона от плотности среды), так и возникновения классических осцилляций вокруг движущегося минимума потенциала. В последнем случае по сравнению с недавними работами поставлены физически обоснованные начальные условия для осцилляций поля скалярона. Для режима нелинейных осцилляций показана неприменимость приближения однородной среды и однородного поля скалярона, которое использовалось в недавних работах А.Д. Долгова и др. Сделана оценка рождения частиц за рамками однородного приближения и показано, что во всех случаях рождение частиц высоких энергий в $F(R)$ -гравитации

пренебрежимо мало.

Все полученные результаты являются новыми, и безусловно представляют большой интерес для исследования модификаций теории гравитации и их приложений в физике очень ранней и современной Вселенной. Эти результаты могут найти непосредственное применение при анализе наблюдательных данных в космологии и астрофизике. Критика недавних работ А.Д.Долгова с соавторами по рождению высокоэнергетических частиц в модифицированной гравитации выглядит очень убедительно, поскольку она проводится с разных дополнительных друг к другу точек зрения -- с позиций постановки начальных данных и с позиций правильной аппроксимационной схемы, выходящей за рамки приближения пространственной однородности.

Остановимся на нескольких замечаниях к содержанию диссертации. По первой главе работы следует отметить, что вклад конформной аномалии в уравнении (13) не исчерпывается квадратом напряженности калибровочного поля, а включает также квадрат массовой матрицы всех полевых мод, что, по-видимому, приводит к дополнительным эффектам распада скалярона на хиггсовские бозоны. Какова будет оценка интенсивности этого эффекта?

Хотелось бы иметь более детальное описание кривых гравитационно-волнового сигнала от инфляции на Рис.1. Хотелось бы иметь более детальное описание вывода формул (101) и (104) или, если это классические результаты, желательно иметь необходимые ссылки.

Последнее замечание касается предъэкспоненциального фактора в правой части уравнения (105) – правильная асимптотика должна быть $(m_0\beta)^{3/2}$. Это исправление, тем не менее, не меняет выводы работы, поскольку в обсуждаемой области $m_0 > \beta$ рождение частиц монотонно убывает (не возрастает) с ростом массы m_0 , что собственно и было целью вычисления в уравнении (105).

Вышеприведенные замечания, однако, не снижают ценности данной

работы. Полученные в диссертации результаты хорошо обоснованы и изложены в пяти публикациях в российских и зарубежных рецензируемых журналах. Результаты докладывались на российских и международных конференциях, а также на научных семинарах в ряде институтов.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Диссертационная работа полностью отвечает всем требованиям Положения о присуждении учёных степеней , утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. No842, а сам автор, Токарева Анна Александровна, заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Ведущий научный сотрудник
Физического института им. П.Н.Лебедева
Российской академии наук,
доктор физико-математических наук,

Барвинский А.О.

18 апреля 2016 г.
Москва, 119991,
Ленинский просп. 53,
Тел. 8(906) 7343873,
E-mail: barvin@td.lpi.ru

Подпись А.О. Барвинского удостоверяю.

Ученый секретарь Физического института
им. П.Н.Лебедева Российской академии наук,
кандидат физико-математических наук

Цвентух М. М.

Барвинский Андрей Олегович

доктор физико-математических наук, Физический институт им. П.Н.Лебедева
Российской академии наук, Отделение теоретической физики, ведущий
научный сотрудник.

Основные публикации по теме защиты:

1. A. O. Barvinsky, A. Yu. Kamenshchik, D. V. Nesterov, New type of hill-top inflation// JCAP 01 (2016) 036, arXiv:1509.07270
2. A. O. Barvinsky, A. Yu. Kamenshchik, D. V. Nesterov, Origin of inflation in CFT driven cosmology: R^2 -gravity and non-minimally coupled inflaton models// Eur. Phys. J. C75 (2015) 12, 584, arXiv:1510.06858
3. A. O. Barvinsky, Holography beyond conformal invariance and AdS isometry?// JETP 147, No.2 (2015), arXiv:1410.6316
4. A. O. Barvinsky, Dark matter as a ghost free conformal extension of Einstein theory// JCAP 1401 (2014) 014, arXiv:1311.3111
5. A. O. Barvinsky, A. Yu. Kamenshchik, C. Kiefer, A. A. Starobinsky, C. F. Steinwachs// Higgs boson, renormalization group, and naturalness in cosmology, Eur. Phys. J. C72 (2012) 2219, arXiv:0910.1041
6. A. O. Barvinsky, Serendipitous discoveries in nonlocal gravity theory// Phys. Rev. D85 (2012) 104018, arXiv:1112.4340