

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ФГБУН Институт космических исследований РАН

академик Л. М. Зеленый

04.05.2016 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

А. А. Токаревой

«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 проведено подробное исследование наблюдательных проявлений различных видоизменений теории гравитации, которые могут быть использованы для описания инфляционной стадии расширения Вселенной, а также ее ускоренного расширения в настоящее время.

Диссертация состоит из Введения (Глава 1) и трех глав с изложением результатов, заключения и списка литературы.

В главе 2 для моделей видоизмененной гравитации Старобинского, в которых поле Хиггса связано с гравитацией конформным образом, проведен расчет температуры разогрева Вселенной, которая оказывается примерно на порядок ниже, по сравнению с моделями, в которых поле Хиггса не является конформным. Показано, что это приводит к небольшим отличиям в предсказаниях наклона спектра скалярных возмущений и скалярно-тензорного отношения. Кроме того, показано, что образование структур на материально-номинированной стадии после инфляции приводит к появлению сигнала гравитационных волн с амплитудой на несколько порядков выше сигнала от флуктуаций метрики во время инфляции, который может быть обнаружен в будущих гравитационно-волновых экспериментах. Исследована стабильность электрослабого вакуума в этой модели.

В главе 3 рассматриваются стадии инфляции и разогрева в моделях со спонтанно нарушенной масштабной инвариантностью, в том числе, и в сочетании с конформным полем Хиггса. Из имеющихся космологических ограничений получены ограничения на параметры такой инфляции. Обсуждается рождение на постинфляционной стадии голдстоуновских бозонов — дилатонов, что приводит к появлению дополнительного вклада в плотность релятивистской материи, т.е., к увеличению эффективного числа релятивистских степеней свободы N_{eff} . Получено ограничение на температуру разогрева в таких моделях в зависимости от наблюдаемого количества нестандартного темного излучения.

В главе 4 рассматриваются видоизменения гравитации, объясняющие ускоренное расширение Вселенной в настоящее время. Подробно рассмотрена интересная задача о рождении частиц высоких энергий в сжимающейся среде из-за рождения скаляронов. Показано, что такое рождение частиц сильно подавлено и является пренебрежимо малым.

В Заключение перечислены основные результаты, полученные в диссертации.

Замечания и вопросы:

1. Различия в параметрах спектра возмущений для различных моделей инфляции в §2.3 оказываются довольно малыми. Было бы неплохо обсудить возможность в будущем измерить эти параметры с точностью, которая была бы достаточной для того, чтобы различить эти модели. По-видимому, наклон спектра скалярных возмущений в обозримом будущем с точностью до четвертого знака измерен не будет. Однако, скалярно-тензорное отношение может быть измерено в будущем с требуемой точностью при помощи измерений поляризации реликтового излучения.
2. Для того, чтобы возмущения достигли нелинейной стадии на материально-доминированной стадии после инфляции, должно пройти какое-то время после того, как соответствующие моды войдут под горизонт. Из-за этого характерная длина волны возмущений на нелинейной стадии должна быть меньше горизонта, и характерная частота соответствующего гравитационно-волнового сигнала, по-видимому, должна быть смещена в сторону более высоких частот, по сравнению с тем, как это представлено на рис. 1. Так ли это? Возможно, этот вопрос следовало бы обсудить подробнее.
3. В §3.1 (стр. 34) используется не самое строгое ограничение на наклон спектра скалярных возмущений по данным обсерватории им. Планка. По какой-то причине использовано ограничение без учета поляризации и дополнительных астрофизических данных. Наиболее строгое ограничение, с учетом этих дополнительных данных, из этой работы имеет примерно в 1.5 раза меньший доверительных интервал ($n_s = 0.9667 \pm 0.0040$). По-видимому, следовало использовать именно это ограничение. Кроме того, казалось бы, из этого ограничения и выражения (55) следует не верхний предел, а также ограничение на параметр ξ . Однако, в диссертации дается только верхний предел на этот параметр (выражение 56). Возможно, все это следовало бы обсудить более подробно.
4. В §3.2 (стр. 35) используется 68%-й доверительный интервал для ограничения на число релятивистских степеней свободы по данным *WMAP*+, ..., но для данных обсерватории им. Планка использованное ограничение $N_{\text{eff}} = 3.14 \pm 0.44$, на самом деле, соответствует доверительному уровню 95% (см. таблицу 5 в работе о космологических ограничениях по данным Планка выпуска 2015 г). Кроме того, как и выше, по-видимому, следовало бы обсудить возможность использования более строгого ограничения, полученного с учетом поляризации и дополнительных астрофизических данных, $N_{\text{eff}} = 3.04 \pm 0.33$ (95%).

С другой стороны, следует отметить, что ограничения, которые получаются из данных обсерватории им. Планка на высоких мультиполях, к которым относятся и ограничения на N_{eff} , не всегда являются устойчивыми. Например, это касается данных о поляризации, как это обсуждается в цитированной выше работе. Кроме того, это касается и ограничений из подавления температурного спектра на высоких мультиполях. Например, оказывается, что ограничения на H_0 , полученные из данных о температурном спектре на низких и высоких мультиполях по-отдельности противоречат другу на уровне около 3σ (см., например, Аддисон и др., arXiv:1511.00055). Имея ввиду также противоречия в определении H_0 между данными обсерватории им. Планка и прямыми измерениями этой величины в местной части Вселенной, по-видимому, вопрос о надежности ограничений на N_{eff} по данным обсерватории им. Планка, которые обсуждались выше, нельзя считать решенным.

Исходя из этого, использование грубой оценки возможного количества нестандартного темного излучения во Вселенной $N_{\text{eff}} \sim 1$, на настоящем этапе можно считать оправданной.

5. Имеется неточность в описании экспериментальных данных на стр. 36 — наиболее точные измерения современного значения параметра Хаббла были выполнены не «в результате *WMAP*», а в работах по измерению расстояний в местной Вселенной при помощи калибровок абсолютных величин сверхновых типа I-a. Эти работы никак не связаны с *WMAP* и соответствующие статьи следовало бы цитировать отдельно.
6. Можно ли из ограничений на температуру разогрева в моделях инфляции со спонтанно нарушенной масштабной инвариантностью получить ограничения на параметры спектра возмущений, как это было сделано для различных моделей в §2.3?

Текст диссертации подготовлен очень хорошо. Имеется только небольшое число речевых ошибок, например:

... Дилатоны как релятивистские частицы вкладывают в плотность энергии ... (стр. 35)

Надписи на рисунках следовало бы перевести на русский язык.

В целом, диссертация производит очень хорошее впечатление. В ней решен целый набор очень интересных задач, некоторые результаты могут быть проверены наблюдениями в недалеком будущем, что говорит о значительной практической ценности диссертации. Приведенные выше замечания, ни в коей мере не снижают ценность работы в целом.

Представленные в диссертации основные результаты являются новыми. Они опубликованы в 5 работах, 4 из них уже опубликованы в высокорейтинговых журналах, еще одна представлена к публикации. Результаты апробированы в докладах автора на различных конференциях и семинарах.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Выносимые на защиту положения содержат новые важные результаты в области космологии и физики ранней Вселенной. Полученные в диссертации результаты представляют несомненный интерес для широкого круга специалистов и могут быть использованы различных научных учреждениях и организациях.

Диссертация обсуждалась на семинаре Отдела астрофизики высоких энергий ИКИ РАН.

Диссертация полностью удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а диссертант Токарева Анна Александровна несомненно заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика.

Отзыв составил:

старший научный сотрудник
отдела Астрофизики высоких энергий ИКИ РАН,
кандидат физико-математических наук

Р. А. Буренин

телефон: 495-333-53-00

электронный адрес: rodion@hea.iki.rssi.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждения науки Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная 84/32, телефон +7(495) 333-52-12, факс +7(495) 333-12-48, iki@cosmos.ru

Отзыв утвержден на семинаре Отдела астрофизики высоких энергий ИКИ РАН,
17 марта 2016 г.

Руководитель семинара

д.ф.-м.н. С. Ю. Сазонов

Буренин Родион Анатольевич

кандидат физико-математических наук, Институт космических исследований Российской академии наук, отдел Астрофизики высоких энергий, старший научный сотрудник

Основные публикации по теме защиты:

1. Planck Collaboration, Planck 2015 results. XXVII. The Second Planck Catalogue of Sunyaev-Zeldovich Sources // *Astronomy & Astrophysics*, in press, arXiv:1502.01598
2. Planck Collaboration, Planck intermediate results. XXVI. Optical identification and redshifts of Planck clusters with the RTT150 telescope // *Astronomy & Astrophysics*, 582, A29 (2015), arXiv:1407.6663
3. Planck Collaboration, Planck 2013 results. XX. Cosmology from Sunyaev-Zeldovich cluster counts // *Astronomy & Astrophysics*, 571, A20 (2014) arXiv:1303.5080
4. Planck Collaboration, Planck 2013 results. XXIX. The Planck catalogue of Sunyaev-Zeldovich sources // *Astronomy & Astrophysics*, 571, A29 (2014), arXiv:1303.5089
5. Буренин Р. А., Возможное указание на наличие ненулевой массы и дополнительных видов нейтрино по данным космологических измерений // *Письма в Астрономический журнал*, 39, 403 (2013), arXiv:1301.4791
6. Буренин Р. А., Вихлинин А. А., Ограничения на космологические параметры по измерениям функции масс скоплений галактик в сочетании с данными других экспериментов // *Письма в Астрономический журнал*, 38, 395 (2012), arXiv:1202.2889
7. Vikhlinin A., Kravtsov A. V., Burenin R. A., Ebeling H., Forman W. R., Hornstrup A., Jones C., Murray S. S., Nagai D., Quintana H., Voevodkin A., Chandra Cluster Cosmology Project III: Cosmological Parameter Constraints // *The Astrophysical Journal*, 692, 1060 (2009), arXiv:0812.2720
8. Vikhlinin A., Burenin R. A., Ebeling H., Forman W. R., Hornstrup A., Jones C., Kravtsov A. V., Murray S. S., Nagai D., Quintana H., Voevodkin A., Chandra Cluster Cosmology Project. II. Samples and X-Ray Data Reduction // *The Astrophysical Journal*, 692, 1033 (2009), arXiv:0805.2207
9. Burenin R. A., Vikhlinin A., Hornstrup A., Ebeling H., Quintana H., Mescheryakov A., The 400 Square Degree ROSAT PSPC Galaxy Cluster Survey: Catalog and Statistical Calibration // *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 172, 561 (2007), arXiv:astro-ph/0610739