

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор ФГБУН Институт космических  
исследований РАН

академик Л. М. Зеленый  
08.12.2017 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

**М. М. Иванова**

**«Первичные неоднородности в неминимальных космологических моделях и слабо-нелинейный режим формирования структур»**

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

В диссертационной работе проведено подробное исследование космологических следствий некоторых моделей, на основе которых можно было бы построить квантовую теорию гравитации. В рамках этой работы исследовано рождение и эволюция возмущений в модели квадратичной гравитации в интересном случае, когда подавлены возникающие в этой модели неунитарные процессы. Показано, что в этом случае кроме скалярных адиабатических возмущений кривизны рождаются еще скалярные возмущения “духа”, плотность энергии которых начинает доминировать еще до начала первичного нуклеосинтеза, что несовместимо с наблюдаемой Вселенной. Из этого следует, что для дальнейшего развития теории квадратичной гравитации в первую очередь требуется решить проблему ее неунитарности.

Кроме того, значительная часть диссертации посвящена исследованию следствий теории гравитации с нарушением Лоренцевой симметрии. Предложена модель инфляции основанная на этой теории, проведены расчеты спектра и биспектра первичных возмущений, получены предсказания для скалярно-тензорного отношения и амплитуды негауссовости. Исследованы свойства темной материи с нарушенной Лоренцевой симметрией. Обнаружен ряд интересных эффектов, возникающих при описании возмущений плотности такой темной материи, таких как усиленный рост возмущений вследствие нарушения принципа эквивалентности.

Замечательно, что автор не ограничивается теоретическим описанием обнаруженных эффектов, но проводит значительную работу по расчету наблюдаемых величин и по сравнению результатов этих расчетов с имеющимися космологическими данными. В частности, в модели, где Лоренцевая симметрия нарушена в секторе темной материи, проведен расчет искажений спектра анизотропии температуры реликтового излучения и спектра мощности возмущений темной материи при помощи модифицированного автором больцмановского кода *CLASS*. При помощи моделирования марковских цепочек

исследованы доверительные области значений параметров нарушения Лоренцевой симметрии, которые могут удовлетворять имеющимся наблюдательным данным.

Большое практическое значение имеют результаты, представленные в шестой и седьмой главах диссертации. В них предложен новый подход к расчету нелинейного роста возмущений плотности темной материи. Этот подход применяется для изучения нелинейной эволюции барионных акустических (сахаровских) осцилляций, что позволило получить эффективный алгоритм расчета двухточечной корреляционной функции, которая описывает нелинейную эволюцию сахаровских осцилляций с процентной точностью. Эти расчеты должны будут найти широкое применение при измерениях сахаровских осцилляций в больших обзорах галактик, скоплений галактик, квазаров, которые имеются в настоящее время или будут выполнены в обозримом будущем.

Замечания и вопросы к диссертации:

1. Во введении к диссертации перечисляются обзоры, направленные на исследование крупномасштабной структуры Вселенной. Странно, что при этом не упоминается рентгеновский обзор всего неба, который будет выполнен при помощи космической обсерватории Спектр-Рентген-Гамма (СРГ) после ее запуска, который должен состояться в конце 2018 или в начале 2019 г. Предполагается, что в обзоре телескопа eРОЗИТА на борту обсерватории СРГ будет обнаружено несколько миллионов активных ядер галактик и квазаров, несколько сотен тысяч скоплений и групп галактик, включая *все* массивные скопления галактик в наблюдаемой части Вселенной. По результатам этого обзора будет получено наиболее точное измерение функции масс скоплений галактик, будут измерены барионные акустические осцилляции по данным об активных ядрах галактик и о скоплениях галактик. Поэтому результаты, полученные в диссертации, будут самым прямым образом востребованы при работе с данными будущего обзора СРГ. Упоминание этого обзора подчеркнуло бы важность диссертационной работы не только для западных, но и для российских исследований в области наблюдательной космологии.
2. В главе 2, где обсуждаются астрофизические ограничения на параметры нарушения Лоренц-инвариантности, следовало бы также обсудить возможность обнаружения электромагнитного сигнала от источника гравитационных волн, из чего сразу же можно было бы получить строгие ограничения на скорость распространения гравитационных волн. Надежда на то, что такое измерение будет получено в скором времени была очень сильна с момента обнаружения всплесков гравитационного излучения на интерферометрах *LIGO* и над этим работало большое число наших коллег, в том числе и в России. Как известно, такой сигнал был обнаружен недавно (ограничение на отклонение от скорости света оказалось лучше  $10^{-14}$ ), сообщение об этом наблюдении было опубликовано в середине октября, когда подготовка диссертации была уже завершена.

Тем не менее, надо отметить, что ограничения на нарушения Лоренц-инвариантности в гравитации, полученные в этой работе, являются весьма полезными, поскольку они были получены и опубликованы значительно раньше,

когда не было никакой гарантии, что всплески гравитационного излучения будут вообще обнаружены в обозримом будущем.

3. Для ограничения параметров нарушения Лоренц-инвариантности в работе использованы данные обзора ВигглЗ (*WiggleZ*) по измерению линейного спектра мощности возмущений плотности. По-видимому, не учитывается то, что это измерение получено на основе измерений спектра мощности распределения галактик, которые сами по себе являются существенно нелинейными объектами. Из-за этого их распределение отличается от распределения темной материи и это отличие зависит от того, каким образом происходит нелинейная эволюция возмущений. Может ли нарушение Лоренц-инвариантности изменять ход нелинейного коллапса объектов? Каким образом на распределение галактик может повлиять смещение возмущений барионов относительно возмущений темной материи, которое обнаружено в диссертационной работе для случая нарушенной Лоренц-инвариантности?

Для того, чтобы избежать необходимости отвечать на такие вопросы, возможно, вместо данных обзора ВигглЗ лучше было бы использовать данные по слабому гравитационному линзированию далеких галактик, а также данные по измерению линзирующего потенциала, которые были получены в обзоре обсерватории им. Планка.

Если же нарушение Лоренц-инвариантности не меняет нелинейного коллапса объектов, вместо данных измерений спектра мощности распределения галактик, по-видимому, лучше использовать данные об измерениях функции масс скоплений галактик — эти данные должны содержать значительно меньшее количество систематических неопределенностей.

4. В главе 7 было бы полезно показать сравнение результатов расчета двухточечной корреляционной функции не только с результатами численных моделирований, но и с результатами применения стандартных на настоящее время методик расчета нелинейных поправок спектра мощности возмущений, таких как ГАЛОФИТ.

В целом, диссертация производит очень хорошее впечатление. Стоит отметить большой объем проделанной работы. В диссертации решен целый набор очень интересных и важных задач, установлены весьма существенные новые ограничения на модели квантовой гравитации. Результаты расчетов нелинейной эволюции возмущений будут непременно востребованы при работе над данными всех больших обзоров галактик, скоплений галактик и квазаров, которые предполагается выполнить в ближайшем обозримом 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 семи статьях в высокорейтинговых журналах. 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 в 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 Иванов Михаил Михайлович несомненно заслуживает присуждения ему 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 учреждение 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,  
15 ноября 2017 г.

Руководитель семинара

Профессор РАН, 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. Буренин Р. А., Расширение каталога скоплений галактик обзора обсерватории им. Планка // Письма в Астрономический журнал, 43, 559 (2017), arXiv:1703.05597
2. Planck Collaboration, Planck 2015 results. XXVII. The Second Planck Catalogue of Sunyaev-Zeldovich Sources // Astronomy & Astrophysics, 594, A27 (2016), arXiv:1502.01598
3. 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
4. Planck Collaboration, Planck 2013 results. XX. Cosmology from Sunyaev-Zeldovich cluster counts // Astronomy & Astrophysics, 571, A20 (2014) arXiv:1303.5080
5. Planck Collaboration, Planck 2013 results. XXIX. The Planck catalogue of Sunyaev-Zeldovich sources // Astronomy & Astrophysics, 571, A29 (2014), arXiv:1303.5089
6. 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
7. 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
8. 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
9. 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
10. 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