

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации Миронова Сергея Андреевича “Особенности возмущений в конформной космологии и массивной гравитации”
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.02 — теоретическая физика.

Качество данных, получаемых в современных космологических экспериментах по измерению космического микроволнового фона, позволяет ставить и решать новые теоретические задачи в исследованиях первых мгновений Вселенной. К таким задачам относится изучение происхождения первичных неоднородностей на старте эволюции нашей Вселенной. Важным представляется поиск объяснения тонкой подстройки начальных параметров, которая могла произойти еще до разогрева при Большом Взрыве. Среди возможных решений, приводящих к наблюдаемой однородности и плоскостности Вселенной, ее высокой энтропии и измеренного в экспериментах WMAP NASA и Planck ESA почти плоского спектра начальных возмущений, наряду с инфляционной теорией, существуют и другие модели дающие близкие результаты. Среди них и развиваемая теоретической группой ИЯИ РАН модель конформной космологии. На мой взгляд, развитие альтернативных теорий физики первичной эпохи дает новое понимание происшедших процессов в момент рождения Вселенной. Поэтому предлагаемая диссертация Сергея Андреевича Миронова, посвященная исследованию свойств первичных возмущений в конформных моделях и расчетным предсказаниям их отличия от других моделей, несомненно актуальна.

Целью диссертационной работы С.А.Миронова явилось изучение конформных механизмов генерации первичных возмущений, исследование их свойств и изучение первичных возмущений в теории массивной гравитации.

Диссертация содержит шесть глав, включая Введение, Заключение и Приложение, а также список литературы.

Во **Введении** дается описание современного состояния теоретических исследований ранней Вселенной, подробно рассматривается сценарий эволюции скалярного поля в модели конформного скатывания и формирование спектра мощности адиабатических возмущений. Описываются свойства скалярных возмущений: спектр мощности фазы и модуля и статистическая анизотропия. Во Введение также дан обзор основных исследований представленной диссертации, проведенных в последующих главах. Во **Второй главе** диссертации исследуется сценарий эволюции в модели с конформным скатыванием. Обсуждается влияние радиальных мод в инфракрасной области на возмущения фазы, и строится эстиматор статистической анизотропии на основе тензора, описывающего градиентное разложение $\delta_i\delta_j\eta_*$. Далее исследуется связь между возмущениями в моделях с конформным скатыванием и генезиса с галилеоном через уравнения движения. Показано, что при адекватном соотношении динамических переменных возмущения генерируются идентично, и их свойства, например негауссовость, одинаковы в обеих моделях. Кроме того, негауссовость исследуется в координатном и импульсном представлении с помощью четырехточечной корреляционной функции полей фазы, возмущения которой на стадии разогрева дают адиабатические возмущения. Найден триспектр в режиме малого переданного импульса. Такой режим связан с усилением негауссовости в конформных моделях. Показаны особенности формы степени негауссовости в различных режимах. Построен эстиматор негауссовости в режиме малого переданного импульса и показана, что именно такое представление (формула (86) диссертации) описывает основной вклад в параметризуемую негауссовость. **Третья глава** посвящена исследованию псевдоконформной модели ранней Вселенной. Для двух режимов эволюции (медленного сжатия и быстрого коллапса) построена аналитическая модель, после чего численно

смоделирована эволюция Вселенной. Проведено вычисление спектров мощности тензорных возмущений для обоих режимов. При расчетах применены ограничения из наблюдательных данных по нуклеосинтезу и из результатов прямого поиска гравитационных волн в экспериментах LIGO и VIRGO. Показано, что в модели псевдоконформного экпиросиса генерируются гравитационные волны с синим спектром мощности, имеющие настолько низкие амплитуды, что их рассмотрение не приводит к ограничениям параметров модели. **Четвертая глава** посвящена рассмотрению теории массивной гравитации. Излагается метод анализа физических теорий в квантовой механике. Он состоит в диагонализации кинетической матрицы и поиске ее собственных значений. Изучено поведение собственных значений, соответствующих экзотическим возбуждениям: духам, тахионам, сверхсветовым частицам, DVZ-скачкам. Рассмотрен случай Лоренц-нарушающей массивной гравитации. На предмет патологий исследована простейшая модель Калуцы-Клейна, не имеющая патологий как стандартная безмассовая гравитация в пространстве-времени большей размерности, но являющаяся массивной с дополнительными полями. **В Заключении** сформулированы основные результаты, полученные в диссертации.

Одним из основных достижений диссертации, на мой взгляд, является развитие моделей ранней Вселенной с конформной инвариантностью, сравнение их с другими сценариями и предсказание поведения параметров негауссовости и их наблюдательного проявления для различных моделей. Это позволяет экспериментально различать теоретические модели ранней Вселенной. Замечу, что исследования из Главы 2 вполне достаточны для квалификации на степень кандидата физико-математических наук. Главы 3 и 4 лишь усиливают этот вывод. Хочется отдельно отметить качественное владение диссертантом современными математическими методами и, в частности, искусством аналитического интегрирования сложных функциональных выражений.

Научная новизна работы определяется тем, что 1) исследован механизм возникновения первичных скалярных возмущений в моделях с конформной инвариантностью; 2) проведено сравнение различных форм негауссовости для разных моделей ранней Вселенной на уровне четырехточечной корреляционной функции; 3) исследованы тензорные возмущения в псевдоконформной модели, впервые найден классический режим эволюции и рассчитан спектр мощности тензорных возмущений, генерируемых в быстром режиме; 4) разработан новый метод анализа теории массивной гравитации.

Практическая значимость состоит в том, что 1) предложен метод анализа негауссовости, позволяющий экспериментально отличить классы моделей с конформной симметрией от инфляции; 2) получены ограничения параметров на основе спектра мощности тензорных возмущений, генерируемых в быстром режиме; 3) предложен алгоритмически реализуемый метод выявления патологий разных типов в квадратичных теориях.

Диссертация нашла полное отражение в пяти публикациях в журналах "Progress of Theoretical Physics Supplement", "Physical Review D", "Classical and Quantum Gravity" и "Journal of Physics A", удовлетворяющих списку и требованиям ВАК. Одна из работ подготовлена без соавторов.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Обоснованность и достоверность полученных в работе результатов не вызывают сомнения, поскольку они основаны на адекватном применении математического аппарата, подтверждаются в ряде случаев результатами численного моделирования, а также результатами исследований других авторов.

Диссертация написана хорошим языком с малым числом опечаток и пунктуационных ошибок.

Имеется ряд мелких *замечаний*:

В Оглавлении диссертации не указана ссылка на Список Литературы.

Во Введении (стр.12) Вторая Глава названа Первой.

Среди опечаток можно отметить следующие: на странице 12 строка 12 снизу опечатка в слове “Заием” (“Затем”), на странице 15 строка 5 снизу — “флуклуацию”, на странице 36 строка 10 сверху — “сделовательно” и ряд других.

Употребляемое в нескольких местах текста слово “анзац” (стр.36, 37) должно писаться без буквы ‘т’.

Иногда встречаются жаргонные выражения. Например, вместо “вычисления статистической анизотропии” (стр.19) лучше использовать “параметризованное” выражение для этого свойства: вычисление степени или уровня (или карты) статистической анизотропии.

В автореферате (стр.12) образована новая форма слова — множественное число для существительного “поведение”.

На странице 13 автореферата изменена последовательность изложения содержания по сравнению с диссертацией: сначала описывается Приложение потом Заключение.

Из предложений по улучшению представления работы можно упомянуть создание (генерирование и визуализацию) карт неоднородностей, обусловленных негауссовостью космического микроволнового фона. Карты, смоделированные для разных сценариев, позволили бы подчеркнуть визуальные различия в распределении отклоняющегося от статистически изотропного сигнала реликтового излучения.

Перечисленные замечания носят, скорее, редакционный характер и не снижают общей положительной оценки диссертации.

Заключение. Считаю, что представленная диссертационная работа является исследованием, имеющим большое научное и практическое значение в задачах изучения ранней эволюции Вселенной, возникновения и роста первичных возмущений, а также при интерпретации данных, полученных в современных международных космических экспериментах. Диссертант показал свою высокую квалификацию в решении теоретических задач физики ранней Вселенной. Диссертация удовлетворяет всем требованиям “Положения о порядке присуждения ученых степеней” ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а диссертант Миронов Сергей Андреевич *несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 “Теоретическая физика”*.

Официальный оппонент

докт.физ.-мат.н., вед.н.с. Верходанов Олег Васильевич
Специальная астрофизическая обсерватория (САО) РАН
пос. Нижний Архыз, Карачаево-Черкесская респ., 369167
т. 8-87878-46329, адрес эл.почты: vo@sao.ru

Подпись Верходанова О.В. удостоверяю
и.о. ученого секретаря САО РАН, к.ф.-м.н.

/ Е. И. Кайсина /

12.09.2014 г.

Верходанов Олег Васильевич

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук (САО РАН),
Лаборатория радиоастрофизики, ведущий научный сотрудник
Доктор физ.-мат.наук - 01.03.02 (астрофизика и радиоастрономия)

Основные публикации по теме защиты с 2009 г.:

- a) Verkhodanov O.V., Khabibullina M.L., Majorova E.K. 2009.
Tessellated mapping of cosmic background radiation correlations.
Astrophys. Bull., 64, Iss. 3, 263-269, arXiv:0912.3073
- b) Верходанов О.В., Парийский Ю.Н. 2009. Радиогалактики и космология.
М.:Физмалит. ISBN 978-5-9221-1135-5. 304с.
- c) P.D.Naselsky, P.R.Christensen, P.Coles, O.V.Verkhodanov, D.I.Novikov, Ja.Kim. 2010. Understanding the WMAP Cold Spot mystery.
Astrophys. Bull. 65, Iss. 2, 101-120, arxiv.org:0712.1118
- d) V.S. Berkutov, Ya. V. Naiden, and O. V. Verkhodanov. 2010.
Axial Symmetries in WMAP ILC Data.
Astrophys. Bull. 65, Iss. 2, 187-195.
- e) O.V.Verkhodanov, M.L.Khabibullina,
Dominant Multipoles in WMAP5 Mosaic Data Correlation Maps.
Astrophys. Bull., 2010, V.65, No.4, 390-399, arXiv:1108.4128.
- f) A.G.Doroshkevich, O.V.Verkhodanov, 2011,
CMB component separation in the pixel domain.
Physical Review D, V.83, No.4, 3002, arxiv:1008.4094.
- g) A.G.Doroshkevich, O.V.Verkhodanov, P.D.Naselsky, Ja.Kim, D.I.Novikov, V.I.Turchaninov, I.D.Novikov, L.-Y. Chiang, M.Hansen. 2011,
The Gauss-Legendre Sky Pixelization for the CMB polarization (GLESP-pol).
Errors due to pixelization of the CMB sky.
Int. J. Mod. Phys. D, v.20., Iss.6, p.1053-1078, arXiv: 0904.2517.
- d) Ya.V. Naiden, O.V. Verkhodanov. 2011
Determination of microwave background map inhomogeneity from
angular power spectrum.
Astrophys. Bull., 2011, V.66, No.3, p.345-354.
- h) O.V. Verkhodanov and A.A.Basova.
Non-Gaussianity of Peak Statistics in Contrasting Spots of WMAP ILC.
Astrophys. Bull., V.66, No.4, p.407-415 (2011).
- i) P.Naselsky, C.H.Christensen, P.R.Christensen, P.H.Damgaard,
A.Frejsel, J.J.Gaardhoje, A.Hansen, M.Hansen, J.Kim,
O.Verkhodanov, U.A.Wiedemann. 2012.
Morphology of high-multiplicity events in heavy ion collisions.
Phys. Rev. C, V.86, 024916, arXiv:1204.0387
- j) M. Hansen, W.Zhao, A.M.Frejsel, P.D.Naselsky, J.Kim, O.V.Verkhodanov.
Faraday rotation as a diagnostic of Galactic foreground contamination of
cosmic microwave background maps.
MNRAS, V.426, Iss.1, P.57-69 (2012), arXiv:1202.1711
- k) О.В. Верходанов. 2012. Поиск негауссовости в наблюдательных данных по
реликтовому микроволновому фону, УФН, т.182, No 11, 1177-1193 (2012).
- l) Ya.V.Naiden, O.V.Verkhodanov. 2013.
Power spectrum distortions in CMB map one-dimensional cross-sections
depending on the cosmological model.

- Astrophys. Bull. V.68, No.2, p.226-235 (2013).
- m) О.В. Верходанов, А.Г. Дорошкевич. 2013. Системы пикселизации неба для анализа протяженного излучения. УФН, Т.183 (8), 849-862 (2013).
- n) Ya. V. Naiden, O. V. Verkhodanov
Correlation properties of the WMAP CMB and 2MRS and SDSS catalogs at different redshifts. Astrophys. Bull., V.68, No.4, p.471-480 (2013).
- o) O.V.Verkhodanov.
Comparison of Low-Harmonics Spectra and Maps According to the WMAP and Planck Space Missions. Astrophys. Bull. V.69, Iss.3, 330-338 (2014).