

**ОТЗЫВ официального оппонента  
на диссертацию на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук Авдеева Никиты Алексеевича  
на тему «Инфляция в теориях модифицированной гравитации»  
по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия**

В настоящее время космологическая инфляция является основной теорией, описывающей начальный этап эволюции Вселенной. Теории инфляции, в частности, позволяют решить проблемы пространственной плоскостности, изотропности и однородности Вселенной на больших масштабах, этими теориями также объясняется крупномасштабная структура Вселенной. Существует большое количество моделей инфляции. Проверка моделей на жизнеспособность и изучение их свойств являются актуальными и важными задачами. Также актуальными являются попытки объяснить с помощью модифицированной гравитации эволюцию поздней Вселенной, без использования тёмной энергии и тёмной материей. Важно, чтобы построенные модели не только объясняли ускоренное расширение Вселенной и наблюдаемое движение звёзд в галактиках, но и не приводили к противоречиям с другими наблюдаемыми данными, полностью согласующимися с общей теорией относительности, например, данными наблюдений двойных систем с пульсаром. Именно этим вопросам и посвящена диссертация Н.А. Авдеева. Всё вышесказанное свидетельствует о **актуальности** темы диссертации.

**Первая глава** данной диссертации является вводной. В ней описываются действия рассматриваемых моделей: скалярно-тензорная модель с неминимальной кинетической связью и гибридная метрическая-Палатини  $F(R)$  гравитация. Рассматриваются уравнения эволюции данных моделей.

**Вторая глава** посвящена сравнению предсказаний теории с неминимальной кинетической связью в случае положительной константой взаимодействия поля и гравитации и произвольного степенного потенциала с результатами наблюдений коллабораций Planck и BICEP. В результате показано, что данная теория не может удовлетворить современным наблюдательным ограничениям на тензорно-скалярное отношение  $r$  и спектральный индекс  $n_s$ .

**Третья глава** настоящей диссертации посвящена рассмотрению начальных условий, приводящих к инфляции продолжительностью более чем 60 е-фолдов в скалярно-тензорной теории с отрицательной константой неминимальной кинетической связи в случае нулевого потенциала и степенного потенциала со степенью 1.5. В частности, показано, что в случае нулевого потенциала требуются экспоненциально большое начальное значение производной скалярного поля для получения инфляции более чем в 60 е-фолдов. В случае выбранного степенного потенциала возможны три разных инфляционных сценария, один из которых соответствует конечной инфляции, а два других вечной инфляции. Получено, что достаточно большие области начальных значений скалярного поля и его производной приводят к конечной инфляции продолжительностью более чем в 60 е-фолдов.

**Четвертая и пятая главы** посвящены проверке гибридной метрической-Палатини гравитации на данных двойных систем с пульсаром. В **четвертой главе** показывается получение производной орбитального периода таких систем в случае квазикруговых орбит. Демонстрируются ограничения, накладываемые на параметры теории из этих систем. В диссертации автором получена аналогичная величина для случая орбит с ненулевым эксцентриситетом. Обсуждаются отличия аналитических

выражений, описывающих производную орбитального периода в случае квазикруговых орбит и орбит с ненулевым эксцентриситетом.

**Пятая глава** посвящена получению аналитических выражений для изменения долготы периастра, параметров задержки Шапиро  $r$  и  $s$ . В конце главы проводится получение ограничений на параметры теории из наблюдательных значений описанного выше набора посткеплеровских параметров. Получены ограничение на фоновое значение скалярного поля. Также проводится сравнение теста в квазикруговых системах и системах с ненулевым эксцентриситетом. Делается вывод, что более точные результаты даёт рассмотрение орбит с ненулевым эксцентриситетом.

**Степень обоснованности положений, выносимых на защиту, научных выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации,** не вызывает вопросов. **О научной новизне и достоверности** свидетельствуют многочисленные цитирования работ, на которых основана диссертация, зарубежными и отечественными учеными. А также высокий уровень конференций, где были представлены все вышеперечисленные результаты, и журналов, в которых полученные результаты были опубликованы.

#### **Замечания и вопросы по диссертации:**

1. В работе исследуются два действия модифицированной гравитации (1.3) и (1.5). При этом в действии (1.3) гравитационная постоянная и скорость света положены равными единице, тогда как в действии (1.5) они оставлены размерными параметрами. Диссертация в единых обозначениях смотрелась бы лучше.

2. В последнем абзаце раздела 2.0.1 (страница 22) есть пропущенная ссылка.

3. На Рисунке 2.1 (страница 32) не понятно, какая картинка а), какая б), а какая с).

4. В главе 2 результаты получены на основе только приближения медленного скатывания, нет результатов численного счёта, подтверждающих правильность использования данного приближения. Также, приближение медленного скатывания может нарушаться при больших значениях  $kV_0$ , а пределы (2.58) имеют смысл только при выполнении условий медленного скатывания, что не указано в диссертации.

5. Не понятно, почему главе 3 рассматривается модель только со степенью  $3/2$ . Потенциалы с чётной натуральной степенью поля выглядят более реалистичными и заслуживающими внимания.

6. На странице 40 есть фраза «Этот эффект требует специального исследования, которое будет проведено в будущих работах [27]». Отметим, что ссылка [27] указывает на работу автора 2021 года, что делает смысл фразы непонятным.

7. Автор справедливо отмечает, что имеющиеся наблюдательные данные от двойных систем с пульсарами могут дать ограничения на свободные параметры рассматриваемых моделей модифицированной гравитации. Из текста не ясно, позволили полученные неравенства (4.94) ограничить параметры какой-то конкретной модели или нет. В частности, не пояснено, может ли использован для ограничения параметров модели тот факт, что в гибридной  $f(R)$  гравитации нейтронные звёзды тяжелее, что в ОТО.

Отметим, что указанные замечания не умаляют значимости диссертации. Указанные недостатки не являются принципиальными и не влияют на общую высокую оценку представленной работы. Следует подчеркнуть, что автором выполнено интересное и важное исследование в

области теоретической космологии и астрофизики, результаты которого опубликованы четырёх рецензируемых журналах, индексируемых в базе данных Web of Science. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Авдеев Никита Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,

ведущий научный сотрудник

отдела теоретической физики высоких энергий

Научно-исследовательского института

ядерной физики имени Д. В. Скобельцына

Федерального государственного бюджетного

образовательного учреждения

высшего образования

«Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

ВЕРНОВ Сергей Юрьевич

29.05.2024

Контактные данные:

Тел.: +7(495)939-50-79; e-mail: svernov@theory.sinp.msu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом  
защита диссертация:

01.04.02 – Теоретическая физика

Адрес места работы:

119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, с. 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Московский государственный  
университет имени М.В.Ломоносова», Научно-исследовательский институт  
ядерной физики имени Д. В. Скобельцына, отдел теоретической физики  
высоких энергий

Тел.: +7(495)939-18-18; e-mail: info@sinp.msu.ru

Подпись С. Ю. Вернова заверяю:

Ученый секретарь Научно-исследовательского института ядерной физики  
имени Д. В. Скобельцына ФГБОУ ВО «Московский государственный  
университет имени М.В.Ломоносова»

кандидат физико-математических наук

Е. А. Сигаева