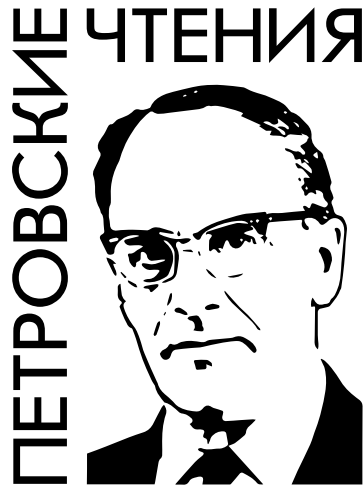




KAZAN FEDERAL UNIVERSITY

Russian Gravitational Society
5-100 Russian Academic Excellence Project



**VI Международная зимняя школа-семинар
по гравитации, космологии и астрофизике
«Петровские чтения-2023»
Тезисы докладов**

**VI International Winter School-Seminar
on gravity, cosmology, and astrophysics
«Petrov School-2023»
Abstracts**

Казань, 2023

УДК 530.12+521

VI Международная зимняя школа-семинар по гравитации, космологии и астрофизике «Петровские чтения-2023». Тезисы докладов международной научной школы-семинара. — Казань: Изд-во КФУ, 2023. — 66 с.

Сборник содержит тезисы докладов участников VI Международной зимней школы-семинара по гравитации, космологии и астрофизике «Петровские чтения-2023». В материалах представлены работы ведущих специалистов и начинающих исследователей из научных центров России, ближнего и дальнего зарубежья, посвящённые исследованиям в ОТО и модифицированных теориях гравитации, теоретической и наблюдательной космологии, релятивистской астрофизике. Международная зимняя школа-семинар проходила в Казанском университете с 27 ноября по 1 декабря 2023 года.

Сборник адресован научным работникам, аспирантам и молодым ученым, специализирующимся в области теории гравитации, космологии и астрофизики, а также для студентов старших курсов естественнонаучных направлений.

Школа-семинар «Петровские чтения-2023» проводится за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

УДК 530.12+521

© Казанский университет, 2023
© Коллектив авторов, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ / ABSTRACTS	7
<i>Д.Л. Абраров.</i> Математико-механическая модель гравитона и ассоциированных фундаментальных физических констант в рамках соответствия “волчки - элементарные частицы”	7
<i>П.А. Анемподистов.</i> Об обратной реакции полей материи на метрику пространства-времени	7
<i>А.М. Баранов, Е.В. Савельев.</i> Эволюция открытой Вселенной в пятимерии как задача о движении частицы в силовом поле.	8
<i>Х.А. Гатин, С.В. Сушков.</i> Анизотропные и неоднородные космологические модели в теории гравитации с неминимальной связью скалярного поля с кривизной	8
<i>В.О. Гладышев, В.Л. Кауц, А.В. Каютенко, Г.Д. Манучарян, П.П. Николаев, И.В. Фомин, Е.А. Шарандин.</i> Процессы гравитационно-электромагнитной конверсии и возможность их реализации в земных условиях	9
<i>Л.В. Грунская, В.В. Исакевич, Д.В. Исакевич.</i> О восприимчивости электрического поля в приземном слое атмосферы Земли к гравитационно-волновому излучению релятивистских двойных звездных систем	10
<i>Л.В. Грунская, В.В. Исакевич, Д.В. Исакевич.</i> Развитие исследований электромагнитного поля Земли в диапазоне гравитационно-волнового излучения двойных звездных систем	11
<i>К.А. Губарев.</i> Интегрируемость в теории струн и М-теории	12
<i>А.Д. Долгов, Л.А. Панасенко, В.А. Бочко.</i> Конверсия реликтовых гравитационных волн в фотоны под действием космологического магнитного поля	13
<i>В.М. Журавлев.</i> Эволюция пылевых дисков и джеты в моделях динамического равновесия	14
<i>Ф.Ш. Зарипов.</i> Гравитационное поле с колебательной фазой в теории МТИГ	15
<i>О.И. Зенин, С.О. Алексеев, А.А. Байдерин, А.В. Немтинова.</i> Вклад квантовых поправок в моделировании теней черных дыр в квадратичной гравитации	16
<i>Ю.Г. Игнатьев.</i> Образование сверхмассивных зародышей Чёрных дыр в ранней Вселенной механизмом скалярно-гравитационной неустойчивости	17
<i>В.А. Ишкаева, С.В. Сушков.</i> Изображение вращающейся кротовой норы Эллиса-Бронникова.	18
<i>М.О. Катанаев.</i> Полное разделение переменных в уравнении Гамильтона-Якоби для геодезических	18
<i>С.М. Козырев, Р.А. Даишев, Б.П. Павлов.</i> Теория гравитации - теория систем отсчета.	19
<i>Н.М. Колганов.</i> Неравновесные функции Грина для произвольных гауссовых теорий поля и состояний	21
<i>Н.М. Колганов, Ф.М. Хасанов.</i> Восстановление нелинейных потенциалов по флуктуационным операторам	24
<i>Р.В. Королев, С.В. Сушков.</i> Общие ограничения для кротовых нор в теориях Хорндески	26

<i>А.А. Лебедев, П.Е. Кашаргин, С.В. Сушков.</i> Модели нейтронных звёзд в теории гравитации с неминимальной кинетической связью с реалистичными уравнениями состояния	27
<i>Р.К. Мухарлямов, Ш.О.А. Башир.</i> Космологические модели в теории Хорнденски с магнитным полем	28
<i>И.С. Нурғалиев.</i> Имеют ли теоремы Пенроуза-Хокинга отношение к реальной Вселенной?	29
<i>А.Е. Павлов.</i> Интегрируемость по Биркгофу редуцированной миксмастерной модели Хоравы – Лившица.	30
<i>Т.А. Петров, Э.Т. Мусаев.</i> Деформации решений супергравитации компактными изометриями	31
<i>К.А. Постнов, Н.А. Митичкин, И.И. Чех.</i> Черные дыры промежуточной массы: астрофизика и космология.	33
<i>Я.В. Рязанцев.</i> Аналитический предел Бекенштайна-Хокинга для Вселенной и его отношение к физическим взаимодействиям и частицам	34
<i>В.А. Тайнов.</i> Асимптотически-полиоднородные пространства	35
<i>А.В. Тимошкин.</i> Голографическое описание объединенной диссипативной модели темной жидкости с аксионным полем	36
<i>И.В. Фомин, Е.С. Денцель.</i> Верифицированные модели космологической инфляции на основе скалярно-тензорной теории гравитации.	36
<i>Д.В. Фурсаев, Е.А. Давыдов.</i> Гравитационные волны от нулевых струн.	37
<i>С.В. Червон, И.В. Фомин, Т.И. Чаадаева.</i> Некоторые космологические решения скалярно-торсионной гравитации с полем самодействия галилеонного типа	38
<i>А.А. Юрова, А.В. Юров.</i> Голографическая дуальность и интегрируемость	39
<i>G.F. Akhtaryanova, R.Kh. Karimov, R.N. Izmailov, K.K. Nandi.</i> Galactic microlensing by charged Kim and Lee wormholes.	40
<i>A.B. Balakin, A. Efremova.</i> Dynamic aether as a trigger for spontaneous spinorization in early Universe	41
<i>A.B. Balakin, G.B. Kiselev.</i> Einstein-Yang-Mills-aether theory with nonlinear axion field: Decay of color aether and the dark matter production	42
<i>К.А. Bolshakova, S.V. Chervon, I.V. Fomin.</i> Solutions in scalar-torsion gravity for power-law evolution of the scalar field	43
<i>К.А. Bronnikov, P.E. Kashargin, S.V. Sushkov.</i> Possible wormholes in a Friedmann universe	44
<i>V.I. Dokuchaev, K.E. Prokopen.</i> Falsification of gravity theories from the form of dark spots on black hole images	44
<i>V.V. Fedotov, S.V. Chervon.</i> On the Quasi-de Sitter Solution in $f(T, (\nabla T)^2)$ Teleparallel Gravity	45
<i>I.V. Fomin.</i> Cosmological models based on scalar-torsion gravity	46
<i>I.V. Fomin, G.D. Manucharyan.</i> Analysis of the high-frequency relic gravitational waves detection possibility by photon-graviton conversion	46
<i>D.V. Fursaev, I.G. Pirozhenko.</i> On Characteristic Cauchy problem and EM Waves Generated by Null Cosmic Strings	47
<i>R.G. Galeev, S.V. Sushkov.</i> Anisotropic cosmological models of Bianchi type I, V, IX in theory of gravity with non-minimal derivative coupling.	47

<i>D.V. Gal'tsov.</i> Wormholes supported by Misner strings.	48
<i>D.E. Groshev, R.I. Kinzibaev.</i> Properties of double-exponential nonlinear electrodynamics	48
<i>R.Kh. Karimov, R.R. Zinnatullin.</i> Timing effects in Kerr-Sen spacetime	49
<i>K.K. Nandi, R.N. Izmailov, R.Kh. Karimov.</i> On the Kalb-Ramond modified Lorentz violating hairy black holes and Thorne's hoop conjecture	50
<i>Nestor Njiya.</i> Geodesic lines in the theory of induced gravitation	51
<i>E.O. Pozdeeva.</i> Primordial Black Holes in Modified Gravity.	51
<i>E.O. Pozdeeva, M.A. Skugoreva, A.V. Toporensky, S.Yu. Vernov.</i> Inflation with monomial potentials in Einstein-Gauss-Bonnet gravity	52
<i>A.A. Popov.</i> Einstein's limit of some modified theories of gravity	52
<i>A.A. Popov, S.G. Rubin, A.S. Sakharov.</i> PBH as manifestation of flexible extra dimensions	53
<i>V.A. Popov.</i> Linear perturbations of oscillating scalar fields	53
<i>S. Saburov, S.V. Ketov.</i> Modified gravity approach to production of primordial black holes after Starobinsky inflation	54
<i>B. Saha.</i> Interacting spinor and electromagnetic fields in cosmology	54
<i>A.F. Shakirzyanov.</i> The extended Einstein-Maxwell-aether-axion theory: Effective metric as an instrument of the aetheric control over the axion dynamics	55
<i>I.L. Shapiro.</i> Conformal symmetry, renormalization, and anomaly	55
<i>A.A. Starobinsky.</i> New developments and trends in the inflationary scenario.	56
<i>S.V. Sushkov.</i> Cosmological models with arbitrary spatial curvature in the theory of gravity with non-minimal derivative coupling	57
<i>S.Yu. Vernov.</i> $F(R)$ gravity models with a scalar field	57
<i>A.V. Vorohov, D.E. Groshev.</i> Black hole image in nonlinear electrodynamics	59
<i>R.M. Yusupova.</i> Accretion processes in the space-time of a charged nonsingular black hole	60
<i>V. Yurov.</i> Application of the Abel equation to cosmological models with and without phantoms	60
АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ/AUTHOR INDEX	63

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ / ABSTRACTS

МАТЕМАТИКО-МЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГРАВИТОНА И АССОЦИИРОВАННЫХ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ КОНСТАНТ В РАМКАХ СООТВЕТСТВИЯ “ВОЛЧКИ - ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ”

Д.Л. Абраров¹

¹ abrarov@yandex.ru; Россия, Москва, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина

Соответствие "волчки - элементарные частицы" означает каноническую эквивалентность трехмерного и нульмерного представлений корректно определенного канонического глобального расслоения Хопфа 3d-сферы \mathbb{S}^3 . Динамика вращения классических твердых 3d-тел (динамика уравнений Эйлера-Пуассона - УЭП) оказываясь размерной, полностью порождается модельной динамической геометрией пространства односвязных аналитических изометрий сферы \mathbb{S}^3 (см. [1]-[2]).

Гравитон в этом соответствии - выделенное равновесие $id[GalQ(s), GalQ(s)]$ для канонической инерциальной вращательной динамики $exp[GalQ(s), GalQ(s)]$ массивного однородного 3d-шара - канонической аналитической \mathbb{S}^3 -параметризации.

Скорость света c , гравитационная постоянная G и постоянная Планка h численно моделируются вычетами функции $\zeta(s, \Delta_{12}(q))$ (это фундаментальное решение УЭП) в $s = 0, 1, 1/2$ и представляют полный набор структурных констант канонической глобальной плоской связности на \mathbb{S}^3 , имея также парадоксальные интерпретации: канонического полного набора глобальных интервалов для УЭП; параметров "вертикального маятника" (матмаятника в вертикальном равновесии ([2])): c - длина его стержня; G - коэффициент упругости его стержня; h - его частота автоколебаний; при этом: фотон - его нижнее равновесие; гравитон - его верхнее равновесие.

Литература

1. Абраров Д.Л. Точная разрешимость уравнений Эйлера-Пуассона: глобальная динамика и дзета-функции. М.: Научный мир, 2021, 614 с.
2. Abrarov D.L. General solution of the Euler-Poisson equations as a generator of universal perturbation theory in the context of the Langlands program and applications to problems of the theory of elementary particles and optimal control in real physical time// Intellectual Archive, natural science, mathematics, 91 p. www.IntellectualArchive.com

ОБ ОБРАТНОЙ РЕАКЦИИ ПОЛЕЙ МАТЕРИИ НА МЕТРИКУ ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ

П.А. Анемподистов¹

¹ anempodistov.pa@phystech.edu; НИЦ "Курчатовский институт Московский физико-технический институт

В рамках квазиклассической гравитации рассматривается поведение свободного скалярного поля, минимально связанного с гравитацией, на фоне черной дыры в пространстве де Ситтера. Данная геометрия интересна наличием двух горизонтов (горизонт событий черной дыры и космологический горизонт).

Будет показано, что любое термальное состояние для поля приводит к расходимости регуляризованного тензора энергии-импульса хотя бы на одном из горизонтов, т.е. нельзя подобрать температуру для состояния поля таким образом, чтобы тензор энергии-импульса был регулярен на обоих горизонтах. Тогда, эта расходимость тензора энергии-импульса, как следует из квазиклассических уравнений Эйнштейна

$$G_{\nu}^{\mu} + \Lambda \delta_{\nu}^{\mu} = 8\pi G \langle \hat{T}_{\nu}^{\mu} \rangle, \quad (1)$$

будет оказывать существенное влияние на метрику пространства-времени, и учет обратной реакции оказывается в этой ситуации необходимым.

Будет произведен учет обратной реакции полей на фоновую метрику через уравнение (1) с помощью численных методов и показано, что учет обратной реакции приводит к исчезновению горизонта черной дыры.

ЭВОЛЮЦИЯ ОТКРЫТОЙ ВСЕЛЕННОЙ В ПЯТИМЕРИИ КАК ЗАДАЧА О ДВИЖЕНИИ ЧАСТИЦЫ В СИЛОВОМ ПОЛЕ

А.М. Баранов¹, Е.В. Савельев²

¹ alex_m_bar@mail.ru; Красноярский государственный педагогический университет им. В.П.Астафьева, Красноярск, Россия; Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М.Ф.Решетнева, Красноярск, Россия
² profill07@mail.ru; ООО «ПРОФИЛЬ-2С», Москва, Россия

Продемонстрировано сведение проблемы моделирования эволюции открытой Вселенной для конформно-плоской метрики пятимерного пространства-времени в форме Фока к эквивалентной ей задаче о механическом движении частицы единичной массы в некотором «силовом поле». При введении «механических» силовых потенциалов в пятимерном пространстве-времени получены точные космологические модели-аналоги открытых моделей Вселенной в четырехмерном пространстве-времени, начиная с решения Фридмана, а также моделей, заполненных материей и излучением в приближении идеальной жидкости.

АНИЗОТРОПНЫЕ И НЕОДНОРОДНЫЕ КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В ТЕОРИИ ГРАВИТАЦИИ С НЕМИНИМАЛЬНОЙ СВЯЗЬЮ СКАЛЯРНОГО ПОЛЯ С КРИВИЗНОЙ

Х.А. Гатин¹, С.В. Сушков²

¹ gatinhasan@mail.ru; Казанский(Приволжский)федеральный университет, Казань, Россия
² sergey_sushkov@mail.ru; Казанский(Приволжский)федеральный университет, Казань, Россия

Исходя из наблюдаемых фактов, хорошо известно что на данный момент Вселенная является однородной и изотропной. Однако не существует данных, из которых бы следовало, что так было изначально. В связи с этим можно задаться следующим

вопросом: могла ли Вселенная быть изначально неоднородной и анизотропной? В своих исследованиях мы хотим получить механизм перехода Вселенной из неоднородной фазы в однородную в рамках теории с неминимальной связью скалярного поля с кривизной.

В рамках данного исследования будем рассматривать теорию, действие которой имеет вид:

$$S = \int d^4x \sqrt{-g} \left\{ (1 + \xi \varphi^2) R - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} \varphi^{,\mu} \varphi^{,\nu} \right\},$$

где $g_{\mu\nu}$ – метрика пространства-времени, $g = \det(g_{\mu\nu})$, R – скаляр Риччи, $G_{\mu\nu}$ – тензор Эйнштейна, φ – безмассовое скалярное поле, ξ – параметр неминимальной связи.

Пространство-время в этой работе описывается метрикой Гауди на топологии тора $T^3 \times R^1$ [1, 2]:

$$ds^2 = e^{\lambda/2} t^{-1/2} (-dt^2 + dx^2) + t[e^P(dy + Qdz)^2 + e^{-P}dz^2],$$

где λ, P, Q функции зависящие от времени $t > 0$ и пространственной переменной x . Пространственные координаты x, y и z принимают значения из множества $[0, 2\pi]$. На функции λ, P, Q наложены условия: $\lambda(t, 0) = \lambda(t, 2\pi)$, $P(t, 0) = P(t, 2\pi)$, $Q(t, 0) = Q(t, 2\pi)$.

В данной работе были получены уравнения поля для теории с неминимальной связью и проведен анализ полевых уравнений.

Литература

1. R. N. Gowdy, *Phys. Rev. Lett.* **27**, 827 (1971)
2. R. N. Gowdy, *Ann. Phys.* **83**, 203 (1974)

ПРОЦЕССЫ ГРАВИТАЦИОННО-ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ КОНВЕРСИИ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ В ЗЕМНЫХ УСЛОВИЯХ

В.О. Гладышев¹, В.Л. Кауц², А.В. Каютенко³, Г.Д. Манучарян⁴, П.П. Николаев⁵,
И.В. Фомин⁶, Е.А. Шарандин⁷

¹ gladyshev@bmstu.ru; Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

² vkauts@mail.ru; Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

³ akaytenko@bmstu.ru; Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

⁴ gevorgbek.manucharyan@gmail.com; Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

⁵ ppn@bmstu.ru; Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

⁶ fomin_iv@bmstu.ru; Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

⁷ shar@bmstu.ru; Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Рассмотрены процессы конверсии электромагнитных и гравитационных волн в нелинейных диэлектрических средах при облучении интенсивным источником

света. Предложены и рассчитаны несколько новых механизмов конверсии электромагнитных и гравитационных волн. Проведены экспериментальные исследования нелинейно-оптических явлений, необходимых для реализации конверсии электромагнитных и гравитационных волн. Проведенные исследования показали принципиальную возможность реализации генерации и передачи гравитационно-волновых сигналов на современном технологическом уровне.

О ВОСПРИИМЧИВОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ К ГРАВИТАЦИОННО-ВОЛНОВОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗДНЫХ СИСТЕМ

Л.В. Грунская¹, В.В. Исакевич², Д.В. Исакевич³

¹ *grunsk@vlsu.ru*; Владимирский государственный университет им. А.Г. Столетова и Н.Г. Столетова

² *eigenoscope@yandex.ru*; г. Владимир, ООО «Собственный вектор»

³ *eigenoscope@yandex.ru*; г. Владимир, ООО «Собственный вектор»

1. С использованием спектроайгеноскопии многолетних наблюдений вертикальной составляющей электрического поля ИЧ-диапазона в приземном слое атмосферы (E_z) открыто свойство восприимчивости E_z к воздействию релятивистских двойных звёздных систем (РДЗС) на частотах их ГВ-излучения.
2. Спектроайгеноскопия — анализ амплитудных спектров собственных векторов ковариационной матрицы E_z на конечном интервале анализа (1000 часов) позволяет анализировать отдельные (в том числе энергетически недоминирующие) компоненты E_z и осуществлять сравнительный анализ свойств локализации их амплитудного спектра.
3. Открытое свойство восприимчивости E_z к воздействию РДЗС проявляется в увеличении степени локализации амплитудного спектра собственных векторов на частотах ГВ-излучения РДЗС в сравнении с другими частотами спектральной локализации собственных векторов.
4. Сравнение степени спектральной локализации на частотах ГВ-излучения РДЗС и других частотах спектральной локализации собственных векторов, проведённое с использованием схемы Бернулли и критерия согласия Смирнова-Колмогорова, доказывает наличие свойства восприимчивости с вероятностью ложного обнаружения, не превышающей 10^{-9} .
5. Открытое свойство наблюдалось на всех доступных авторам временных рядах E_z (три станции наблюдения Росгидромета и полигон Кафедры общей и прикладной физики ВлГУ) — как для РДЗС с малым эксцентриситетом, так и для РДЗС с большим эксцентриситетом (список Джонстона).
6. Спектрально локализованные на частотах ГВ-излучения компоненты имеют собственные значения, соответствующие действующим значениям E_z порядка нескольких долей В/м.

7. Открытое свойство наблюдается не только для E_z , но и для компонент геомагнитного поля.

РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ В ДИАПАЗОНЕ ГРАВИТАЦИОННО-ВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗДНЫХ СИСТЕМ

Л.В. Грунская¹, В.В. Исакевич², Д.В. Исакевич³

¹ *grunsk@vlsu.ru*; Владимирский государственный университет им. А.Г. Столетова и Н.Г. Столетова

² *eigenoscope@yandex.ru*; г. Владимир, ООО «Собственный вектор»

³ *eigenoscope@yandex.ru*; г. Владимир, ООО «Собственный вектор»

В 1969 году в МГУ после посещений гравитационных семинаров Д.Д. Иваненко и в ходе обсуждений с Д.Д. Иваненко и В.Б. Брагинским была поставлена задача поиска в электромагнетизме отклика астрофических гравитационно-волновых процессов. Решению такой задачи поспособствовало наличие у Владимирского государственного университета (ВлГУ) физического экспериментального полигона, на котором осуществляется мониторинг атмосферного электрического и геомагнитного поля в инфранизкочастотном диапазоне (ИНЧ) с целью изучения атмосферных, сейсмических и астрофизических процессов.

Важнейшим событием в данных исследованиях оказалось обсуждение каталога двойных релятивистских звездных систем в 1993 году на 8-ой Гравитационной конференции в Пущино с А.Б. Балакиным. Ключевым моментом этой дискуссии оказался тот факт, что частотный диапазон, в котором излучают ГВ-маяки, оказался в диапазоне наших исследований на физическом полигоне ВлГУ. А.Б. Балакиным были получены точные решения уравнений аксионной электродинамики, которые продемонстрировали возможность аномального усиления электрического сигнала за счет аксион-фотонного взаимодействия во внешнем гравитационно-волновом поле. Согласно модели аксионно-фотонного взаимодействия, разработанной А.Б. Балакиным, была получена оценка величины амплитуды геомагнитного поля на частоте ГВ излучения релятивистских двойных звездных систем (РДЗС). Для электрической компоненты предстояло такую оценку получить по результатам экспериментальных исследований. Использование классического спектроанализатора с целью выявления сигналов на частотах ГВ источников с инфранизкочастотным ГВ излучением не дало ожидаемых результатов даже при длительности временных рядов в несколько десятков лет.

Следующий этап в данных исследованиях был связан с созданием совместно с Исакевичем В.В. и Исакевичем Д.В. метода обнаружения периодических энерго-недоминирующих составляющих в экспериментальных временных рядах, названного «Айгеноскопия» (анализ собственных векторов). Разработанный и запатентованный метод «Айгеноскопии» позволяет представлять временной ряд в виде некоррелированных компонент — собственных векторов ковариационной матрицы, построенной по результатам баз данных многолетнего мониторинга электромагнитного поля Земли. Все собственные векторы, полученные для исследуемого

временного ряда, спектрально локализованы. Высокая чувствительность и избирательность этого метода основаны на том, что спектральному анализу подвергается не сам временной ряд, а его отдельные некоррелированные компоненты.

На сегодня во временных рядах электрического и геомагнитного полей достоверно обнаружены сигналы на частотах гравитационно-волнового излучения более сорока релятивистских двойных звездных систем с исчезающе малой вероятностью ложного обнаружения, не превышающей уровень 10^{-17} .

Выделены признаки гравитационно-волнового характера обнаруженных источников ГВ излучения:

выявлена суточная и годовая модуляция ГВ сигналов от РДЗС, свидетельствующая о внеземном происхождении источников;

на станциях наблюдения (Душети, Воейково, Верхнее Дуброво, ВлГУ) выявлены спектрально локализованные на удвоенных частотах обращения РДЗС с малым эксцентриситетом компоненты в вертикальной составляющей напряженности электрического поля Земли, которые имеют действующее значение амплитуд, превышающее медианное значение;

обнаруженные компоненты, спектрально локализованные на удвоенных частотах обращения РДЗС с малым эксцентриситетом, имеют индекс когерентности и амплитуду, которые статистически значимо отличаются от индекса когерентности и амплитуды компонент, спектрально локализованных на частотах, не совпадающих с частотами гравитационного излучения РДЗС;

доказано наличие пространственных корреляций некоррелированных компонент, спектрально локализованных вблизи гравитационно-волновых частот РДЗС на пространственно разнесенных станциях наблюдения;

подтверждено предсказание Я.Б. Зельдовичем и И.Д. Новиковым наличие гравитационно-волнового излучения РДЗС с высоким эксцентриситетом на высоких гармониках, в отличии от РДЗС с низким эксцентриситетом, у которых максимальная энергия излучения ГВ наблюдается на второй гармонике.

ИНТЕГРИРУЕМОСТЬ В ТЕОРИИ СТРУН И М-ТЕОРИИ

К.А. Губарев¹

¹ *kirill.gubarev@phystech.edu*; м.н.с, Московский физико-технический институт, Институтский пер., 9, г. Долгопрудный, 141701, Россия; Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, 123182, Россия

Свойство интегрируемости в физических системах является важным, так как на классическом уровне позволяет точно решить уравнения движения системы, а на квантовом уровне найти её полный спектр. Для механических систем известно несколько подходов к исследованию их классической интегрируемости. Одним из них является формализм Лакса–Захарова–Шабата, имеющий естественное обобщение на двумерные теории поля, в частности двумерные сигма модели. Этот подход

тесно связан с возможностью сформулировать динамику этих систем при помощи скобки Пуассона, которую можно определять при помощи бивекторного параметра решающего классическое уравнение Янга–Бакстера (СУВЕ). Однако прямое обобщение этих методов на случай трехмерных систем, естественно описываемых в терминах скобки Намбу, неизвестно. Тем не менее есть несколько указаний на то, что некоторый вид интегрируемости в трехмерных системах должен быть, а именно:

1. При попытке обобщения формализма Лакса–Захарова–Шабата на системы Намбу возникает обобщенное уравнение Янга–Бакстера (gСУВЕ), аналогично тому как возникает СУВЕ для двумерных Пуассоновых систем.
2. Для двумерных сигма моделей существуют деформации Янга–Бакстера сохраняющие их интегрируемость. Такие деформации определяются 2-векторным параметром, решающим СУВЕ. Мы предлагаем естественное обобщение деформаций Янга–Бакстера на случай М–теории. В таких деформациях параметром являются 3- и 6-векторы, решающие gСУВЕ.

КОНВЕРСИЯ РЕЛИКТОВЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН В ФОТОНЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ КОСМОЛОГИЧЕСКОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

А.Д. Долгов¹, Л.А. Панасенко², В.А. Бочко³

¹ ; Физический факультет, Новосибирский Государственный Университет, Новосибирск, Пирогова, 2, 630090

² *l.vetoshkina@g.nsu.ru*; Физический факультет, Новосибирский Государственный Университет, Новосибирск, Пирогова, 2, 630090

³ ; Физический факультет, Новосибирский Государственный Университет, Новосибирск, Пирогова, 2, 630090

В работе мы проверяем гипотезу о возможном подавлении реликтовых гравитационных волн за счет их конверсии в фотоны во внешнем космологическом магнитном поле с последующим выбыванием фотонов из пучка вследствие их взаимодействия с первичной плазмой.

Мы выводим систему уравнений для взаимного распространения возмущений метрики и электромагнитного поля в присутствии внешнего магнитного поля для произвольной фоновой метрики. Далее, мы решаем полученную систему дифференциальных уравнений численно для случая метрики Фридмана–Леметра–Робертсона–Уокера для верхнего ограничения на величину напряженности межгалактического магнитного поля в 1 нГс (значение в наше время, при движении вспять по времени напряженность растет как квадрат масштабного фактора). В заключении мы делаем вывод о том, что рассмотренное явление конверсии гравитонов в фотоны в присутствии космологического магнитного поля могло значительно изменить спектр реликтовых тензорных гравитационных волн, в особенности в длинноволновом диапазоне.

ЭВОЛЮЦИЯ ПЫЛЕВЫХ ДИСКОВ И ДЖЕТЫ В МОДЕЛЯХ ДИНАМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ

В.М. Журавлев¹

¹ zhvictorm@gmail.com; Ульяновский государственный педагогический университет, Лаборатория гравитации, космологии и астрофизики, Ульяновск, Россия

В работе на основе общей идеи динамического равновесия астрофизических объектов [1, 2] рассматриваются задачи структуры и эволюции пылевых дисковых структур. Поле тяготения и параметры среды в рамках такого подхода описывается с помощью метода гидродинамических маркеров (лагранжевых переменных). Отличием предлагаемого в данной работе подхода от классического [3–6] является дополнительная модификация квазиклассического описания поля тяготения [1, 2] и плотности среды с помощью введения функции массивности частиц, являющейся функцией маркеров. Функция массивности играет роль элемента теории, объясняющего возникновение явления скрытой массы или “темной материи”. При этом функция массивности определяет структурные особенности пылевых дисков, включая появление в условиях их динамического равновесия джетов и балджей. В докладе представлен вывод уравнения динамического равновесия пылевых структур. Получены общие уравнения для распределения плотности и зонального потока (локального вращения дисков) при некоторых упрощающих условиях, а также выведены уравнения эволюции дисков. В работе проанализированы некоторые варианты динамической эволюции дисков в форме качественного анализа соответствующей динамической системы эволюции масштабных параметров. Рассматривается вопрос о возможности переноса предлагаемого подхода на описание динамики эллиптических и спиральных галактик.

Литература

1. В.М. Журавлев Пространство, время и фундаментальные взаимодействия, 2020, N4, с. 10-17
2. В.М. Журавлев. Модели динамического равновесия астрофизических объектов. ЖЭТФ, 2022, т. 162, N 6
3. А. В. Гуревич, К. П. Зыбин, Ю. В. Медведев, ЖЭТФ 104, 3369 (1993)
4. Н.Н. Горькавый, А. М. Фридман. Физика планетарных колец – М.: Наука, 1994.
5. А. Г. Морозов, А. В. Хоперсков. Физика дисков. Изд-во Волгоград. гос. ун-та, 2005. – 422 с
6. В.М. Журавлев. Модели динамики пылевидной материи в собственном гравитационном поле. Метод гидродинамических подстановок. ЖЭТФ, 2017, т. 152, вып. 3(9), с. 495-510

ГРАВИТАЦИОННОЕ ПОЛЕ С КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ ФАЗОЙ В ТЕОРИИ МТИГ

Ф.Ш. Зарипов¹

¹ *farhat.zaripov@kpfu.ru*; Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт математики и механики им. Н.И. Лобачевского

В работе рассматриваются решения уравнений, так называемой, модифицированной теории индуцированной гравитации (МТИГ) ([1], [2]), описывающих поле гравитации в колебательном режиме на дальних расстояниях от центра масс. На фоне этих решений исследуются поведение геодезических кривых для случая центрально-симметричного пространства. Колебательный характер решений приводит к появлению гравитационного потенциала, содержащего спектр минимумов, а не только один, как в теории Ньютона – Эйнштейна (решение Шварцшильда – де Ситтера); а также может привести во второй половине периода к антигравитации, которая выражается в противоположном ускорении пробного тела. Подобные решения приводят к распределению потенциала гравитационного поля, создающему дополнительный массовый эффект на больших расстояниях, и хорошо подходят для моделирования воздействия темной материи в галактиках. Аналогичное колебательное поведение также возникает в космологических решениях, что приводит к появлению циклов состоящих из быстрого (раздувания) и медленного (возможно квазистатического) расширения. Показано, что в окрестностях галактики можно выделить как минимум три типа зон. При $r_g > r < r_{cr}$ это зона Шварцшильда, где поведение геодезических с точностью порядка $10^{-9} \div 10^{-10}$ не соответствует отличаются от решений Шварцшильда, хотя можно построить эксперименты для их обнаружения. Далее зоны антигравитации и гравитации периодически повторяются с ростом r . Мы получили множество решений для орбит, невозможных в теории Ньютона и Эйнштейна. Сравнение таких решений с необъяснимыми астрономическими наблюдениями — задача последующих исследований.

Литература

1. Zaripov, F. The Ambiguity in the Definition and Behavior of the Gravitational and Cosmological ‘Coupling Constants’ in the Theory of Induced Gravity. *Symmetry*. 2019, 11, 81; <https://doi.org/10.3390/sym11010081>;
2. Zaripov F. Dark Matter as a Result of Field Oscillations in the Modified Theory of Induced Gravity / F. Zaripov // *Symmetry*. - 2020. - Vol. 12, Iss. 1. - 41. - doi.org/10.3390/sym12010041.

ВКЛАД КВАНТОВЫХ ПОПРАВК В МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕНЕЙ ЧЕРНЫХ ДЫР В КВАДРАТИЧНОЙ ГРАВИТАЦИИ

О.И. Зенин¹, С.О. Алексеев², А.,А. Байдерин³, А.В. Немтинова⁴

¹ dkiiiabu4@gmail.com; ФФ МГУ

² salexeyev@gmail.com; ГАИШ МГУ

³ baiderin21a@gmail.com; ФФ МГУ

⁴ aleksandra.nemtinova14@mail.ru; УрФУ

Идея расширения существующих теорий гравитации (и их решений вида “черная дыра”) с помощью добавления не только базовых состояний полей, но и их возбужденных состояний в настоящее время активно развивается. Одним из результатов такого расширения становится то, что теории, ограниченные ранее результатами гравитационно-волновой астрономии (событие GW170817, [1]), становятся совместимыми с этими экспериментальными данными за счет дополнительных степеней свободы. Следуя обсуждаемому подходу таким же образом была расширена модель гравитации с лагранжианом $L = R + R^2$ (модель Старобинского) [2] вместе с выводом в рамках этой новой модели нового решения вида “черная дыра”.

Далее используя метод Ньюмена-Яниса [3] было получено вращающееся решение из изначально статической метрики. Данный алгоритм может применяться и для других теорий гравитации в будущем. Также получены уравнения Гамильтона-Якоби и выражения для координат тени в плоскости, перпендикулярной наблюдателю.

Конечным этапом было проведение моделирования теней вращающихся черных дыр для $R + R^2$ метрики для дополнительных полей различного типа. Были взяты ограничения на размер тени, полученные ЕНТ по результатам наблюдений M87* и Sgr A* [4]. Также был отдельно рассмотрен случай Sgr A*, поскольку для этой черной дыры были получены наиболее вероятные значения угла наклона плоскости вращения θ_0 и параметра вращения a [4].

Из ограничений на размер тени в [4] было исключено поле гравитона ($r_s = 5.813M$ при максимально допустимом $5.3M$) при рассмотрении случая Sgr A* с $\theta_0 = \pi/6$ с фиксированными параметрами a (0.5 и 0.94). При значении параметра вращения $a = 0.94$ деформация приблизительно равна 5-8% (без учета поля гравитона), а при $a = 0.5$ она уменьшается всего примерно до 1.5%. Таким образом, при улучшенной разрешающей способности в наблюдениях можно будет более точно определить, имеет ли Sgr A* значительное вращение. Кроме того, при заданном угле наклона плоскости вращения размер тени зависит от параметра вращения a , что также позволяет более точно определить его значение. Наконец, предложен более точный вариант выбора расширенных теорий гравитации, основанный на учете вращения черной дыры.

Благодарности. Работа Олега Зенина частично поддержана грантом Фонда развития теоретической физики и математики «БАЗИС» номер 22-2-2-11-1.

Литература

1. LIGO Scientific, Virgo, Fermi-GBM and INTEGRAL Collaborations, *Astrophys.J.Lett.* **848** 2, L13 (2017)

2. X. Calmet, R. Casadio, F. Kuipers, Phys. Rev. D **100**, 086010 (2019).
3. E.T. Newman, A.I. Janis, J. Math. Phys. **6**, 915 (1965).
4. The Event Horizon Telescope Collaboration, Astrophys.J.Lett. **930** L13 (2022).
K. Akiyama, et al., Astrophys. J. **875**, L5 (2019).

ОБРАЗОВАНИЕ СВЕРХМАССИВНЫХ ЗАРОДЫШЕЙ ЧЁРНЫХ ДЫР В РАННЕЙ ВСЕЛЕННОЙ МЕХАНИЗМОМ СКАЛЯРНО-ГРАВИТАЦИОННОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ

Ю.Г. Игнатьев¹

¹ *yurii.ignatév.1947@yandex.ru*; институт физики Казанского федерального университета, НИЛ Космология, 420008 Россия, Казань, ул. Кремлевская 18

На основе сформулированных и доказанных свойств подобия космологических моделей, основанных на статистической системе вырожденных скалярно заряженных фермионов, а также выявленного ранее механизма скалярно-гравитационной неустойчивости космологических моделей проведено численно-аналитическое исследование процесса формирования сверхмассивных зародышей Чёрных дыр в ранней Вселенной. Построена математическая модель эволюции сферических возмущений, на основе которой выявлены основные закономерности процесса эволюции коллапсирующих масс и зависимости параметров формирующихся чёрных дыр от фундаментальных параметров космологической модели и длины волны гравитационных возмущений. При этом учтены потери массы чёрной дыры на квантовое испарение. Показана устойчивая тенденция раннего образования сверхмассивных зародышей чёрных дыр в исследуемом классе космологических моделей и показана тесная связь процесса роста масс сферических возмущений с характером особых точек этих моделей.

Ключевые слова: скалярно заряженная плазма, космологическая модель, скалярное поле Хиггса, гравитационная устойчивость, сферические возмущения, образование чёрных дыр.

Литература

1. Yu. G. Ignat'ev, Gravit. Cosmol. **29:4**, 327 (2023); arXiv:2308.03192 [gr-qc].
2. Yu. G. Ignat'ev, Theoret. and Math. Phys. **215**, 862 (2023); arXiv:2306.17185 [gr-qc].
3. Yu. G. Ignat'ev, Theoret. and Math. Phys. **217**, (2024) (to be published); arXiv:2306.17185 [gr-qc]. arXiv:2307.13761 [gr-qc].
4. Yu.G. Ignat'ev, I.A. Kokh, Theor. Math. Phys. **207:1**, 514 (2021).

ИЗОБРАЖЕНИЕ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ КРОВОЙ НОРЫ ЭЛЛИСА-БРОННИКОВА

В.А. Ишкаева¹, С.В. Сушков²

¹ *ishkaeva.valeria@mail.ru*; Казанский (Приволжский) федеральный университет; г. Казань, 420008, Россия

² *sergey_sushkov@mail.ru*; Казанский (Приволжский) федеральный университет; г. Казань, 420008, Россия

Существование кротовых нор пока не подтверждено экспериментально. Одним из способов их обнаружить является анализ изображений астрофизических объектов, например, изображений сверхмассивных компактных объектов в центрах галактик. Зная массу и скорость вращения компактного объекта, по его изображению можно судить о том, является ли он кротовой норой. В данной работе представлено изображение медленно вращающейся кротовой норы Эллиса-Бронникова, окруженной аккреционным диском. Мы сравниваем его с изображением черной дыры Керра и показываем что изображения этих двух объектов существенно различаются.

ПОЛНОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ В УРАВНЕНИИ ГАМИЛЬТОНА–ЯКОБИ ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ

М.О. Катанаев¹

¹ *katanaev@mi-ras.ru*; Математический институт им. В. А. Стеклова, 119991, Москва, ул. Губкина

Рассматривается (псевдо)риманово многообразие произвольной размерности. Уравнение Гамильтона–Якоби для геодезических допускает полное разделение переменных для (сепарабельных) метрик в некоторых (сепарабельных) системах координат. Такие метрики представляют большой интерес как с математической, так и с физической точек зрения. Большинство известных в настоящее время точных решений уравнений Эйнштейна допускают полное разделение переменных. В 1893 году Штеккель поставил вопрос: “Какие метрики допускают полное разделение переменных в уравнении Гамильтона–Якоби?” Эта проблема привлекла большое внимание физиков и математиков и стала классической. Она была решена для метрик произвольной сигнатуры в случае, когда все диагональные элементы обратной метрики отличны от нуля. Однако для индефинитных метрик, например, лоренцевой сигнатуры, на диагонали возможно появление нулей, и проблема Штеккеля в этом случае осталась открытой. В докладе предложено полное решение проблемы Штеккеля для метрик произвольной сигнатуры, включая появление нулей на диагонали, на многообразиях произвольной размерности. Все метрики разделены на классы эквивалентности, внутри которых они связаны каноническими преобразованиями и невырожденными преобразованиями независимых параметров в полном интеграле уравнения Гамильтона–Якоби. В каждом классе эквивалентности явно построена каноническая (наиболее простая) сепарабельная метрика, проведено разделение переменных и построены соответствующие законы сохранения

в гамильтоновом формализме. Доказано, что существует такой выбор независимых параметров, что все законы сохранения не более, чем квадратичны по импульсам. В качестве примера перечислены все сепарабельные метрики в пространствах двух (три класса), трех (шесть классов) и четырех (десять классов) измерений.

Сепарабельные метрики представляют большой интерес для моделей гравитации. Обычно для нахождения точных решений уравнений Эйнштейна делается предположение о наличии достаточно большой группы симметрии. Тогда количество независимых компонент метрики уменьшается, и появляется возможность явно решить уравнения Эйнштейна. Как правило, переменные в соответствующем уравнении Гамильтона–Якоби полностью делятся для таких решений. Этот подход можно изменить. Дело в том, что переменные могут делиться и при отсутствии какой-либо симметрии. Если предположить сначала, что переменные в уравнении Гамильтона–Якоби полностью делятся, то количество нетривиальных компонент метрики тоже существенно уменьшается. Кроме того, каждая компонента метрики является рациональной функцией от нескольких функций одной координаты, что сводит уравнения Эйнштейна к системе *обыкновенных* дифференциальных уравнений. Кроме того, при полном разделении переменных уравнения геодезических допускают четыре независимых интеграла движения, находящихся в эволюции, и, следовательно, уравнения геодезических интегрируемы по Лиувиллю. Это важно для физической интерпретации решений уравнений Эйнштейна и анализа глобальной структуры пространства-времени.

Есть еще дополнительный бонус от сепарабельных метрик. А именно, полное разделение переменных в уравнении Гамильтона–Якоби является необходимым условием полного мультипликативного разделения переменных в уравнении Лапласа–Бельтрами, Шредингера, Дирака и волнового уравнения на соответствующих многообразиях.

ТЕОРИЯ ГРАВИТАЦИИ - ТЕОРИЯ СИСТЕМ ОТСЧЕТА

С.М. Козырев¹, Р.А. Даишев², Б.П. Павлов³

¹ sergey@tnpko.ru; Научный центр гравитационно-волновых исследований "Дулкын"

² rinat.daishev@ksu.ru; Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д.18.

³ pavlov.gpb@gmail.com; Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева - КАИ, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

Уравнения Эйнштейна представляют собой нелинейную систему из шести независимых уравнений для десяти компонент метрики. На функции $g_{\alpha\beta}$ тем не менее не налагается никаких ограничений, кроме троекратной дифференцируемости C^3 , а также невырожденности матрицы $\|g_{\alpha\beta}\|$, чтобы существовали величины $g_{\alpha\beta}$. Следует отметить, что в теории Эйнштейна физический смысл имеют только такие решения уравнений Гильберта–Эйнштейна, которые удовлетворяют принципу

причинности Гильберта

$$g_{11} < 0, \begin{vmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{vmatrix} > 0, \begin{vmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} \end{vmatrix} < 0, g_{00} > 0.$$

К сожалению, решения несовместимые с принципом причинности глубоко проникли даже в учебники.

Иногда координатные степени свободы по аналогии с электромагнитной теорией называют калибровкой, но поскольку в четырех дополнительных нековариантных уравнениях присутствует значительный произвол, сказать заранее, что мы получим систему с тем же множеством решений, нельзя.

Важно подчеркнуть, что физический смысл имеют только такие решения уравнений Гильберта-Эйнштейна, которые опираются на понятие класса допустимых функций. А поскольку в теории Эйнштейна функциональная структура метрического тензора для заданной арифметизации оказывается разной при разном выборе координатных условий, то и ее предсказания будут зависеть от этого выбора, т. е. будут недостаточно корректны, так как не опираются на понятие класса допустимых функций.

Так, например, приведение метрики центрально-симметричных полей к виду всегда можно провести только в предположении, что $g_{\alpha\beta}$ принадлежит функциям класса C^1 тогда как тождествами Бьянки на функции $g_{\alpha\beta}$ налагается ограничение C^3 . Доказательство теоремы Биркгофа основано на использовании тех решений, которые ищутся в классе по крайней мере C^2 и, следовательно, заранее отбрасываются волновые решения.

Очевидно, можно согласиться с В.А.Фоком что произвольные преобразования координат вводят фиктивные гравитационные поля. Чтобы устранить эту двусмысленность, необходимо наложить дополнительные ограничения. Например, в общей теории относительности для изолированной системы масс существуют привилегированные гармонические системы координат удовлетворяющие условию

$$\Gamma_{\mu\nu}^{\beta} g^{\mu\nu} = 0. \quad (1)$$

Не случайно Международный астрономический союз в своих резолюциях о системах отсчета пространства-времени рекомендует использовать именно гармонические координатные условия. Решения описывающие свойства гравитационных волн также получены с использованием гармонических условий.

Условия гармоничности, уравнение состояния вещества и уравнения Гильберта - Эйнштейна образуют полную систему дифференциальных уравнений. Гармонический принцип может быть применен к любым координатным условиям. Поскольку гармонический принцип может быть определен для любых координатных условий, уравнения (1) можно рассматривать не как координатные условия, а дополнительные уравнения поля.

Эйнштейновская теория гравитации и сейчас, спустя сто лет после своего создания, продолжает оставаться наиболее удовлетворительным вариантом классической теории тяготения. Предсказания ОТО согласуются с проведенными до сих пор

гравитационными экспериментами, включая радиолокацию планет и лазерную локацию Луны, обнаружение гравитационных волн.

В случае релятивистских теорий гравитации одних только уравнений поля недостаточно для определения гравитационной системы. По-видимому, необходим более строгий критерий допустимости получаемых решений.

НЕРАВНОВЕСНЫЕ ФУНКЦИИ ГРИНА ДЛЯ ПРОИЗВОЛЬНЫХ ГАУССОВЫХ ТЕОРИЙ ПОЛЯ И СОСТОЯНИЙ

Н.М. Колганов¹

¹ *nikita.kolganov@phystech.edu*; Московский физико-технический институт, 141700, Институтский переулок, 9, Долгопрудный, Россия; Институт теоретической и математической физики, Московский государственный университет, 119991, Ленинские горы, 1, Москва, Россия; Отделение теоретической физики, Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Ленинский проспект 53, Москва 119991, Россия

Целью данной работы [1] является построение формализма Швингера-Келдыша [2, 3] для квантовомеханических средних и корреляционных функций в довольно общей неравновесной системе с начальным состоянием в виде специальной матрицы плотности. Предполагается, что сама эта матрица плотности определяется динамическим содержанием системы. Мотивация для этой конструкции исходит из идей квантовой космологии, предполагающих, что начальное состояние Вселенной должно задаваться не из каких-то специальных и свободно изменяемых начальных условий, а внутренне фиксироваться теоретико-полевой моделью Вселенной.

Мы рассматриваем общую систему с действием

$$S[\phi] = \frac{1}{2} \int dt \left(\dot{\phi}^T A \dot{\phi} + \dot{\phi}^T B \phi + \phi^T B^T \dot{\phi} + \phi^T C \phi \right) \quad (1)$$

где ϕ^I — поля, индекс I включает в себя как дискретные индексы полей, так и пространственные координаты, а $A = A^T \equiv A_{IJ}$, $B \equiv B_{IJ}$ и $C = C^T \equiv C_{IJ}$ — операторы, явно зависящие от времени t . Уравнения движения в такой теории являются дифференциальными уравнениями второго порядка по времени и задаются дифференциальным оператором

$$F = -\frac{d}{dt} A \frac{d}{dt} - \frac{d}{dt} B + B^T \frac{d}{dt} + C, \quad (2)$$

получающимся из гессиана действия $F\delta(t-t') = \delta^2 S[\phi] / \delta\phi(t) \delta\phi(t')$.

Основным объектом нашего интереса является производящий функционал Швингера-Келдыша in-in корреляционных функций гейзенберговских операторов в физическом состоянии, описываемом начальной матрицей плотности $\hat{\rho}$. Это функционал двух источников

$$Z[J_1, J_2] = \text{tr} \left[\hat{U}_{J_1}(T, 0) \hat{\rho} \hat{U}_{-J_2}^\dagger(T, 0) \right]. \quad (3)$$

Здесь след вычисляется по гильбертовому пространству состояний канонически квантованного поля $\hat{\phi}$, а $\hat{U}_J(T, 0)$ — оператор унитарной эволюции от $t = 0$ до $t = T$ с

зависящим от времени гамильтонианом, соответствующим действию (1), модифицированным слагаемым с источником $-J^T(t)\phi(t)$.

Мы рассматриваем класс матриц плотности, ядро которых в координатном представлении $\langle \varphi_+ | \hat{\rho} | \varphi_- \rangle = \rho(\varphi_+, \varphi_-)$ имеет гауссов вид, т.е.

$$\rho(\boldsymbol{\varphi}) = \text{const} \times \exp \left\{ -\frac{1}{2} \boldsymbol{\varphi}^T \boldsymbol{\Omega} \boldsymbol{\varphi} + \mathbf{j}^T \boldsymbol{\varphi} \right\},$$

$$\boldsymbol{\varphi} = \begin{bmatrix} \varphi_+ \\ \varphi_- \end{bmatrix}, \quad \mathbf{j} = \begin{bmatrix} j_+ \\ j_- \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{\Omega} = \begin{bmatrix} R & S \\ S^* & R^* \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где мы собрали φ_{\pm} в двухкомпонентные столбцы, а блоки матрицы $\boldsymbol{\Omega}$ должны удовлетворять свойствам $R = R^T$, $S = S^\dagger$ для обеспечения эрмитовости матрицы плотности. То же касается и «источников» j_{\pm} в определении \mathbf{j} , а именно $j_+ = j_-^* \equiv j$. Такой выбор матрицы плотности мотивирован тем, что для блочно-диагонального $\boldsymbol{\Omega}$ она сводится к чисто квазивакуумному состоянию, а её «источник» \mathbf{j} позволяет индуцировать ненулевое квантовомеханическое среднее значение оператора поля. Также дифференцированием по \mathbf{j} можно сгенерировать гораздо более широкий класс матриц плотности с членами «взаимодействия» в экспоненте.

Результат вычисления производящего функционала (3) методом функционального интеграла, который оказывается точным ввиду гауссовости подинтегрального выражения, имеет вид

$$Z[\mathbf{J}] = \text{const} \times \exp \left\{ -\frac{i}{2} \int_0^T dt dt' \mathbf{J}^T(t) \mathbf{G}(t, t') \mathbf{J}(t) - \int_0^T dt \mathbf{J}^T(t) \mathbf{G}(t, 0) \mathbf{j} + \frac{i}{2} \mathbf{j}^T \mathbf{G}(0, 0) \mathbf{j} \right\}, \quad (5)$$

где $\mathbf{J} = [J_1, J_2]^T$. Функция Грина $\mathbf{G}(t, t')$ является результатом решения краевой задачи, следующей из условия стационарности гауссова функционального интеграла. Она имеет блочно-матричную форму

$$\mathbf{G}(t, t') = \begin{bmatrix} G_{\top}(t, t') & G_{<}(t, t') \\ G_{>}(t, t') & G_{\bar{\top}}(t, t') \end{bmatrix}, \quad (6)$$

типичную для формализма Швингера-Келдыша и состоящую из фейнмановских $G_{\top}(t, t')$, антифейнмановских $G_{\bar{\top}}(t, t')$ и вайтмановских $G_{\geq}(t, t')$ компонент.

Выражение для функции Грина $\mathbf{G}(t, t')$ может быть выписано явно в терминах базисных функций $v(t)$, $v^*(t)$, решающих граничную задачу

$$Fv(t) = 0, \quad (iW - \omega)v(t)|_{t=0} = 0, \quad (iW + \omega^*)v^*(t)|_{t=0} = 0, \quad (7)$$

где $W = A \frac{d}{dt} + B$, а матрица ω должна быть симметричной и иметь положительно-определённую вещественную часть, в остальном же является произвольной.

Для произвольного выбора ω явное выражение для $\mathbf{G}(t, t')$ является громоздким и сложно интерпретируемым, однако упрощается если выбрать ω специальным образом. Введя среднее число частиц ν и аномальное среднее κ как

$$\nu = \text{tr}[\hat{\rho} \hat{a}^\dagger \hat{a}], \quad \kappa = \text{tr}[\hat{\rho} \hat{a} \hat{a}], \quad (8)$$

потребуем зануление аномального среднего κ . Это даёт уравнение на ω , которое может быть решено явно в случае вещественности блока S в определении (4) матрицы плотности как

$$\omega = R^{1/2} \sqrt{I - \sigma^2} R^{1/2}, \quad \sigma \equiv R^{-1/2} S R^{-1/2} \quad (9)$$

В этом случае среднее число частиц ν принимает вид

$$\nu = \frac{1}{2} \kappa \left(\sqrt{\frac{I - \sigma}{I + \sigma}} - 1 \right) \kappa^T, \quad \kappa \equiv [\omega^{1/2} R^{-1} \omega^{1/2}]^{1/2} \omega^{-1/2} R^{1/2} = (\kappa^T)^{-1}, \quad (10)$$

а блоки функции Грина $\mathbf{G}(t, t')$ выражаются через базисные функции $\nu(t)$, $\nu^*(t)$, и ν простым образом

$$iG_T(t, t') = \nu(t) \nu^\dagger(t') \theta(t - t') + \nu^*(t) \nu^T(t') \theta(t' - t) + \nu(t) \nu \nu^\dagger(t') + \nu^*(t) \nu \nu^T(t'), \quad (11)$$

$$iG_>(t, t') = \nu(t) (\nu + I) \nu^\dagger(t') + \nu^*(t) \nu \nu^T(t'). \quad (12)$$

Этот вид функций Грина хорошо знаком из термополевой динамики простых равновесных систем [4], когда все входящие в ответ матрицы становятся диагональными в импульсном представлении и представляют собой числа заполнения для статистики Бозе-Эйнштейна. Примечательно, что картина чисел заполнения обобщается на неравновесные системы очень общего типа, а именно собственные значения матрицы ν служат числами заполнения в общем неравновесном состоянии с начальной матрицей плотности (4).

Как обсуждалось выше, в контексте квантовой космологии сама матрица плотности может быть задана в терминах евклидова функционального интеграла по ϕ , таким образом, динамически определяться отдельными свойствами системы, включая ее функционал действия. Итак, мы рассматриваем выражение для евклидовой матрицы плотности, определяемой через евклидов функциональный интеграл как

$$\rho_E(\varphi_+, \varphi_-; J_E) = \frac{1}{Z} \int_{\phi(\tau_\pm) = \varphi_\pm} D\phi \exp \left\{ -S_E[\phi] - \int_{\tau_-}^{\tau_+} d\tau J_E(\tau) \phi(\tau) \right\}, \quad (13)$$

где евклидово действие задаётся виковским поворотом

$$iS[\phi(t)] \Big|_{t=-i\tau} = -S_E[\phi_E(\tau)]. \quad (14)$$

Эрмитовость полученной матрицы плотности накладывает жесткие условия на операторные коэффициенты функционала действия (1), а именно, операторные коэффициенты евклидова функционала действия, определяемые как

$$A_E(\tau) = A(-i\tau), \quad B_E(\tau) = -iB(-i\tau), \quad C_E(\tau) = -C(-i\tau), \quad (15)$$

должны удовлетворять следующему условию периодичности

$$A_E(\beta - \tau) = A_E^*(\tau), \quad B_E(\beta - \tau) = -B_E^*(\tau), \quad C_E(\beta - \tau) = C_E^*(\tau). \quad (16)$$

для некоторой $\beta = \tau_+ - \tau_-$. Важным следствием этих аналитических свойств является то, лоренцевы базисные функции становятся квазипериодическими в мнимом времени

$$\nu(t - i\beta) = \nu(t) \frac{\nu + I}{\nu}, \quad \nu^*(t - i\beta) = \nu^*(t) \frac{\nu}{\nu + I}. \quad (17)$$

Благодаря взаимно обратным матричным коэффициентам базисных функций, функции Вайтмана $G_{>}(t, t')$ и $G_{<}(t, t') = G_{>}^T(t', t)$ (задаваемые выражением (12)) удовлетворяют соотношению

$$G_{>}(t - i\beta, t') = G_{<}(t, t'), \quad (18)$$

что есть не что иное, как условие Кубо-Мартина-Швингера [5, 6]. Важно, что это условие выполняется в общей неравновесной системе со специальной евклидовой матрицей плотности (13), даже несмотря на то, что в такой физической постановке отсутствует понятие сохраняющейся энергии.

Таким образом, мы построили производящий функционал функций Грина и корреляционных функций для общей матрицы плотности гауссового типа и показали, что требование отсутствия аномального среднего числа частиц выбирает выделенный набор положительных/отрицательных частотных базисных функций волнового оператора теории, которая определяется параметрами матрицы плотности. Затем мы рассмотрели частный случай матрицы плотности, определяемой евклидовым интегралом по траекториям теории и показали, что если функционал действия имеет специальные аналитические, то функции вайтмановские функции Грина удовлетворяют условиям периодичности Кубо-Мартина-Швингера, которые выполняются, несмотря на неравновесную природу физической системы.

Литература

1. A. O. Barvinsky and N. Kolganov, "Nonequilibrium Schwinger-Keldysh formalism for density matrix states: analytic properties and implications in cosmology," arXiv:2309.03687.
2. J. S. Schwinger, "Brownian motion of a quantum oscillator," J. Math. Phys. **2**, 407-432 (1961)
3. L. V. Keldysh, "Diagram technique for nonequilibrium processes," Zh. Eksp. Teor. Fiz. **47**, 1515-1527 (1964)
4. Y. Takahasi and H. Umezawa, "Thermo field dynamics," Collect. Phenom. **2**, 55-80 (1975)
5. R. Kubo, "Statistical mechanical theory of irreversible processes. 1. General theory and simple applications in magnetic and conduction problems," J. Phys. Soc. Jap. **12**, 570-586 (1957)
6. P. C. Martin and J. S. Schwinger, "Theory of many particle systems. 1.," Phys. Rev. **115**, 1342-1373 (1959)

ВОССТАНОВЛЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ ПО ФЛУКТУАЦИОННЫМ ОПЕРАТОРАМ

Н.М. Колганов¹, Ф.М. Хасанов²

¹ nikita.kolganov@phystech.edu; Московский физико-технический институт, 141700, Институтский переулок, 9, Долгопрудный, Россия; Институт теоретической и математической физики, Московский государственный университет, 119991, Ленинские горы, 1, Москва, Россия; Отделение теоретической физики, Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Ленинский проспект 53, Москва 119991, Россия

² khasanov.mkh@phystech.edu; Московский физико-технический институт, 141700, Институтский переулок, 9, Долгопрудный, Россия; Отделение теоретической физики, Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Ленинский проспект 53, Москва 119991, Россия

При изучении амплитуды туннелирования, например, в двукратном потенциале, возникает понятие флуктуационного оператора, который определяет квадратичное действие. На фоне топологического инстантона, т.е. инстантона с бесконечным периодом, он имеет вид оператора Пёшль-Теллера $K = -\partial_\tau^2 + m^2 - l(l+1)\text{sech}^2\tau$, для которого при целых значениях параметров l, m точно известен спектр, собственные функции, а также функция Грина. Некоторым выделенным значениям параметров также соответствуют потенциалы синус-Гордона, кубический, и перевернутый двукратный. Нашей целью является решение обратной задачи, а именно, зная параметры оператора Пёшль-Теллера восстановить потенциал, флуктуационный оператор которого равен исходному. В результате мы получили бесконечное семейство потенциалов, в общем случае являющихся неаналитическими.

Идея восстановления потенциалов основана на том, что производная инстантонного решения по модулярному параметру, обычно имеющему смысл положения инстантона, является нулевой модой флуктуационного оператора. Таким образом, интегрируя известную нулевую моду флуктуационного оператора, мы получаем явное выражение для инстантонного решения. Инстантонное решение зависит от времени, поэтому подставляя его в закон сохранения энергии для нулевой энергии мы получим выражение для потенциала. Не всегда можно обратить инстантонное решение, однако мы всегда можем построить потенциал параметрически.

Для потенциала Пёшль-Теллера собственные функции есть присоединенные полиномы Лежандра $P_l^k(\text{th})$, $k = 1, \dots, l$, а нулевой модой является $P_l^m(\text{th})$. В результате, мы получаем, что потенциал $V(x)$, построенный с помощью описанной выше процедуры для параметров l, m , задается параметрически как $x = \int^{\tau(x)} dt P_l^m(\text{th } t)$, $V = \frac{1}{2}(P_l^m(\text{th } \tau(x)))^2$. Примеры графиков потенциалов для некоторых значений l, m приведены ниже. Необычным результатом является то, что в большинстве случаев потенциалы не являются аналитическими функциями и имеют точки ветвления в плоскости комплексифицированной координаты.

Выше система была при нулевой энергии. При конечных энергиях в случае малых параметров флуктуационный оператор имеет вид оператора Ламе [1] $L = -\partial_\tau^2 + l(l+1)k^2\text{sn}^2(\tau, k) - h$, где h выражается через k и m . В случае же больших параметров оператор принимает более сложный вид выражающийся через гипергеометрические функции. Предел $k \rightarrow 1$ соответствует случаю Пёшль-Теллера.

Потенциалы Пёшль-Теллера относятся к классу безотражательных потенциалов. Этот класс связан с семейством точных решений уравнения КдФ - так называемых N -солитонных решений. Подбирая параметры N -солитонного потенциала, мы можем привести его к виду потенциалов Пёшль-Теллера с $l = N$. Уравнение КдФ определяет изоспектральную эволюцию волновых функций, заданную данными рассеяния, поэтому мы можем восстановить потенциал Пёшль-Теллера деформированный КдФ и посмотреть на его эволюцию со временем.

Нашей задачей является описание найденных потенциалов: вычисление квантовых периодов, необходимых для квазиклассического квантования; нахождения уравнения Пикара-Фукса для периодов и установление с их помощью ресургентные соотношения [2],[3].

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 075-15-2022-287 от 06.04.2022).

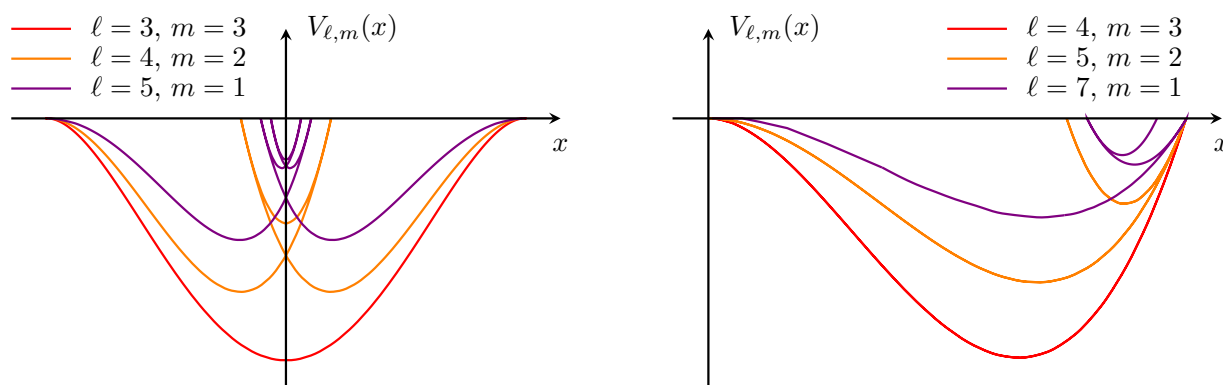


Рис. 1. Параметрически построенные потенциалы для некоторых параметров l и m оператора Пёшль-Теллера

Литература

1. Ward R. S. The Nahm equations, finite-gap potentials and Lamé functions //Journal of Physics A: Mathematical and General. – 1987. – Т. 20. – №. 10. – С. 2679.
2. Basar G., Dunne G. V., Nival M. Quantum geometry of resurgent perturbative/nonperturbative relations //Journal of High Energy Physics. – 2017. – Т. 2017. – №. 5. – С. 1-56.
3. Fischbach F., Klemm A., Nega C. WKB method and quantum periods beyond genus one //Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical. – 2019. – Т. 52. – №. 7. – С. 075402.

ОБЩИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ДЛЯ КРОТОВЫХ НОР В ТЕОРИЯХ ХОРНДЕСКИ

Р.В. Королев¹, С.В. Сушков²

¹ korolyovrv@gmail.com; Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

² sergey_sushkov@mail.ru; Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

Скалярные поля популярны для построения физических теорий и часто используются в физике высоких энергий за рамками стандартной модели. Когда существует множество моделей, то возникает вопрос, как мы должны изучать и сравнивать их в рамках единообразного подхода. Особенно полезным инструментом становится понимание того, что все эти классы моделей являются частными случаями наиболее общего лагранжиана, приводящего к уравнениям поля второго порядка, а именно лагранжиана Хорндески [1], который был заново открыт в работе [2]. Действие Хорндески может быть записано в виде:

$$\mathcal{S} = \int d^4x \sqrt{-g} \sum_{i=2}^5 \mathcal{L}_i + \mathcal{S}_M[g_{\mu\nu}, \chi_M], \quad (1)$$

где g - детерминант метрического тензора $g_{\mu\nu}$, \mathcal{S}_M - действие, отвечающее за материю, в котором χ_M обозначает все материальные поля. Лагранжианы \mathcal{L}_i опреде-

лены ниже:

$$\begin{aligned}\mathcal{L}_2 &= G_2(\phi, X), \\ \mathcal{L}_3 &= -G_3(\phi, X)\square\phi, \\ \mathcal{L}_4 &= G_4(\phi, X)R + G_{4,X}(\phi, X) [(\square\phi)^2 - (\nabla_\mu\nabla_\nu\phi)^2] \\ \mathcal{L}_5 &= G_5(\phi, X)G_{\mu\nu}\nabla^\mu\nabla^\nu\phi - \frac{1}{6}G_{5,X} \times \\ &\quad \times [(\square\phi)^3 - 3\square\phi(\nabla_\mu\nabla_\nu\phi)^2 + 2(\nabla_\mu\nabla_\nu\phi)^3],\end{aligned}$$

где R – это скалярная кривизна и $G_{\mu\nu}$ – тензор Эйнштейна; G_i ($i = 2, 3, 4, 5$) – произвольные функции скалярного поля ϕ и канонического кинетического члена, $X = -\frac{1}{2}\nabla^\mu\phi\nabla_\mu\phi$. Мы введем определения $G_{i,X} \equiv \partial G_i/\partial X$, $(\nabla_\mu\nabla_\nu\phi)^2 = \nabla_\mu\nabla_\nu\phi\nabla^\nu\nabla^\mu\phi$, и $(\nabla_\mu\nabla_\nu\phi)^3 = \nabla_\mu\nabla_\nu\phi\nabla^\nu\nabla^\rho\phi\nabla_\rho\phi\nabla^\mu\phi$.

Отметим, что соответствующий выбор функций G_i позволяет воспроизвести любую скалярно-тензорную теорию второго порядка. Например, член G_2 используется в теории гравитации с k -эссенцией [3], а функция G_3 исследовалась в модели с кинетическим гравитационным сплетением [4]. Скалярно-тензорные теории широко применяются в физике кротовых нор. Выбрав анзац статического сферически-симметричного пространства-времени, мы проводим анализ полевых уравнений в горловине, рассматривая множество подклассов лагранжиана Хорндески.

Литература

1. Horndeski G.W. Second-Order Scalar-Tensor Field Equations in a Four-Dimensional Space // Int. J. Theor. Phys. 1974. Vol. 10. № 6. P. 363–384.
2. Deffayet C., Gao X., Steer D.A., Zahariade G. From k -essence to generalised Galileons // Phys. Rev. D 2011. Vol. 84. № 6. P. 064039.
3. Armendariz-Picon C., Mukhanov V.F., Steinhardt P.J. A Dynamical solution to the problem of a small cosmological constant and late time cosmic acceleration // Phys. Rev. Lett. 2000. Vol. 85. № 21. P. 4438.
4. Deffayet C., Pujolas O., Sawicki I., Vikman A. Imperfect Dark Energy from Kinetic Gravity Braiding // J. Cosm. Astropart. Phys. 2010. V. 2010. № 10. P. 026.

МОДЕЛИ НЕЙТРОННЫХ ЗВЁЗД В ТЕОРИИ ГРАВИТАЦИИ С НЕМИНИМАЛЬНОЙ КИНЕТИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ С РЕАЛИСТИЧНЫМИ УРАВНЕНИЯМИ СОСТОЯНИЯ

А.А. Лебедев¹, П.Е. Кашаргин², С.В. Сушков³

¹ lebedev.aleks2012konnor@yandex.ru; Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

² pkashargin@mail.ru; Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

³ sergey_sushkov@mail.ru; Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

Нейтронные звёзды исследовались в различных модифицированных теориях гравитации - $f(R)$, $f(R, T)$, EDGB, в том числе в различных подклассах теории гравитации Хорндески [1–3]. Одним из подклассов теории гравитации Хорндески является теория гравитации с неминимальной производной связью скалярного поля

и тензора Эйнштейна. Цель данной работы – исследование внутренних конфигураций нейтронных звезд в рамках теории гравитации с неминимальной производной связью скалярного поля и тензора Эйнштейна в случае ненулевой космологической постоянной и стандартного кинетического слагаемого для скалярного поля. В качестве рабочих уравнений состояния было использовано не только модельное политропное, но и более реалистичные, относящиеся к подклассу BSk, а именно BSk19, BSk20 и BSk21 [4]. Были получены диаграммы масса – радиус для различных значений параметра неминимальной связи ℓ , а также значения центральных плотностей вещества, соответствующих границам устойчивости.

Литература

1. P. E. Kashargin, S. S. Sushkov, Anti-de Sitter neutron stars in the theory of gravity with nonminimal derivative coupling, *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, 01, **2203** (2023).
2. G. W. Horndeski, Second-order scalar-tensor field equations in a four – dimensional space, *Int. J. Theor. Phys.* **10**, 363–384 (1974).
3. A. Cisterna, T. Delsate, M. Rinaldi, Neutron stars in general second order scalar-tensor theory: the case of non-minimal derivative coupling, *Phys. Rev. D* **92**, iss.4, 044050 (2015).
stars with Brussels-Montreal functionals. I. Role of symmetry energy, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **481**(3), pp. 2994-3026 (2019).
4. A. Y. Potekhin et.al., Analytical representations of unified equations of state for neutron-star matter, *Astronomy and Astrophysics* **560**, A48 (2013).

КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В ТЕОРИИ ХОРНДЕНСКИ С МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Р.К. Мухарьямов¹, Ш.О.А. Башир²

¹ rmukhar@mail.ru; Казанский федеральный университет, кафедра теории относительности и гравитации Института физики

² sheharbashir@gmail.com; Казанский федеральный университет, кафедра теории относительности и гравитации Института физики, аспирант

Развивается метод реконструкции в теории Хорндески, ранее рассмотренный в работах [1], [2] и [3]. Отличительной чертой данного исследования от предыдущих [1–3] является наличие в моделях магнитного поля, которое неминимально взаимодействует со скалярным полем. Введение неминимальной связи полей увеличивает количество степеней свободы системы полевых уравнений, что позволяет получить серию космологических точных решений. Исследуются свойства анизотропных космологических моделей, полученные в рамках теории Хорндески с магнитным полем.

Литература

1. Muharlyamov, R. K. Reconstruction method in the kinetic gravity braiding theory with shift-symmetric // R. K. Muharlyamov, T.N. Pankratyeva // *European Physical Journal Plus*. – 2021. – Vol. 136, No. 5. – DOI 10.1140/epjp/s13360-021-01607-5

2. Muharlyamov, R. K. Reconstruction in the Horndeski theory within the scope of the Bianchi I cosmology / R. K. Muharlyamov, T. N. Pankratyeva // Modern Physics Letters A. – 2022. – Vol. 37, No. 17. – P. 2250108. – DOI 10.1142/S0217732322501085
3. Muharlyamov, R. K. The nonlinear anisotropic model of the Universe with the linear potential / R. K. Muharlyamov, T. N. Pankratyeva // Indian Journal of Physics. – 2023. – Vol. 97, No. 7. – P. 2239 – 2245. – DOI 10.1007/s12648-022-02556-0

ИМЕЮТ ЛИ ТЕОРЕМЫ ПЕНРОУЗА-ХОКИНГА ОТНОШЕНИЕ К РЕАЛЬНОЙ ВСЕЛЕННОЙ?

И.С. Нурғалиев¹

¹ ildus58@mal.ru; член редколлегии журнала «Пространство, время и фундаментальные взаимодействия»

Обсуждаются результаты, впервые опубликованные в журнале «Пространство, время и фундаментальные взаимодействия». (https://stfi.ru/journal/STFI_2017_04/STFI_2017_04_1_Nurgaliev.pdf).

Обосновывается математически наглядно, что теоремы Пенроуза-Хокинга к реальной Вселенной отношения не имеют! Тем самым вера в неизбежность космологической сингулярности при ретроспективном прослеживании эволюции назад по времени эволюции Вселенной и прочная укорененность такой убежденности даже в профессиональных кругах является не более чем иллюстрация поговорки «Верую, ибо абсурдно». Помимо упомянутой статьи в журнале «Пространство, время и фундаментальные взаимодействия» данные выводы докладывались в многочисленных профессиональных отечественных и международных конференциях. В частности, фактически, в данной аудитории на в 2019 году на III Симпозиуме Ассоциации стран БРИКС по гравитации, астрофизике и космологии и были встречены одобрительно председательствующими на заседании, принявшими участие в обсуждении авторитетными коллегами А.А.Старобинским и С.В.Червоном. (https://kpfu.ru/portal/docs/F183437007/BRICS_2019.pdf). Сообщение о вечности Вселенной в рамках мероприятий БРИКС в будущем году в Казани могло бы быть уместным и своевременным вкладом гравитационистов Казанской школы, основанной Алексеем Зиновьевичем Петровым, а в более дальней ретроспективе – ректором Казанского Императорского университета российским математическим гением – Николаем Николаевичем Лобачевским. Вот и внесем казанские гравитационисты (<https://rt-online.ru/kazanskij-vklad-v-kosmologiyu-i-teoriyu-gravitatsii/>) еще более внятный вклад в освобождение научной мысли, по примеру М.В.Ломоносова, из лап западного невежества. Их невежества нам не надо. Своего хватает. Долгоживучесть указанного мифа о космологической сингулярности – религиозная востребованность, а также уважение нашим заслуженным британским коллегам. Поэтому имеет место упущение из внимания, что они пренебрегли завихренностью космологического потока.

ИНТЕГРИРУЕМОСТЬ ПО БИРКГОФУ РЕДУЦИРОВАННОЙ МИКСМАСТЕРНОЙ МОДЕЛИ ХОРАВЫ – ЛИВШИЦА

А.Е. Павлов¹

¹ alexpavlov60@mail.ru; Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Институт механики и энергетики, Москва, Россия

Миксмастерная модель определяется метрикой пространства-времени

$$ds^2 = -N^2(t)dt^2 + \gamma_1(t)\sigma_1^2 + \gamma_2(t)\sigma_2^2 + \gamma_3(t)\sigma_3^2,$$

где N – функция хода. Дифференциальные 1-формы задают группу изометрии $SU(2)$, пространственные слоения Σ_3 имеют топологию S^3 . Метрические коэффициенты определяются параметрами [1]

$$\gamma_1 = e^{2\Omega + \beta_+ + \sqrt{3}\beta_-}, \quad \gamma_2 = e^{2\Omega + \beta_+ - \sqrt{3}\beta_-}, \quad \gamma_3 = e^{2\Omega - 2\beta_+}.$$

Объем пространства параметризуется Ω , а β_+ , β_- задают меру неизотропности метрики. В окрестности космологической сингулярности динамика модели задается доминирующим квадратичным потенциалом [2]

$$V(\beta_+, \beta_-) = \frac{\alpha}{\kappa^2} \left[\left(\frac{\partial W}{\partial \beta_+} \right)^2 + \left(\frac{\partial W}{\partial \beta_-} \right)^2 \right],$$

где $\alpha > 0$, κ^2 – константы, суперпотенциал W определяется формулой

$$W = e^{3\beta_+} \left(\operatorname{ch}(3\sqrt{3}\beta_-) - \operatorname{ch}(\sqrt{3}\beta_-) \right) - \operatorname{ch}(2\sqrt{3}\beta_-) - e^{-3\beta_+} \operatorname{ch}(\sqrt{3}\beta_-) + \frac{1}{2} e^{-6\beta_+}.$$

Динамика модели исследовалась численными методами [3]. В отличие от эйнштейновской гравитации, где эволюция вблизи сингулярности демонстрирует хаотическое поведение со сменой казнеровских эпох, гравитация Хоравы – Лифшица описывается как движение частицы с энергией E между фиксированными потенциальными стенками. Для больших энергий модель хорошо описывается сменой казнеровских эпох. Для малых значений энергий проявляются гармонические осцилляции. Анализ стохастичности для промежуточных значений энергий требует проведения дальнейших исследований.

Применяются алгебраические и аналитические подходы к исследованию хаотического поведения вселенной в окрестности сингулярности. Хаотический характер приближения к космологической сингулярности исчезает в пространстве-времени с $d \geq 10$. Имеется неочевидное соответствие этого факта с алгебрами Каца – Муди [4]. Не существует гиперболических алгебр с рангом выше 10. Миксмастерная модель Луи Виттена ассоциирована с лоренцевой алгеброй Каца – Муди [5]. С гиперболическостью алгебры связан хаотический характер модели, а с лоренцевой – регулярность ее поведения.

В космологической модели Хоравы – Лифшица имеется 27 корневых векторов. В отличие от моделей Мизнера и Луи Виттена, они являются пространственноподобными. Поэтому, миксмастерная модель Хоравы – Лифшица относится к евклидовым цепочкам Тоды. Если система интегрируема по Биркгофу, то любые два ли-

нейно независимых максимальных вектора, принадлежащих спектру \mathbf{a}_i , $\mathbf{a}_j \in \Delta$ удовлетворяют условию

$$\frac{2\langle \mathbf{a}_i, \mathbf{a}_j \rangle}{\langle \mathbf{a}_i, \mathbf{a}_i \rangle} \in -\mathbb{Z}_+.$$

Этот критерий интегрируемости выполняется для космологической модели Хоравы – Лифшица. Матрица Картана, построенная на максимальных корневых векторах, отвечает аффинной алгебре Каца – Муди A_2^+ . Обобщенная евклидова цепочка Тоды является алгебраической вполне интегрируемой системой. Согласно теореме Лиувилля – Арнольда, фазовые траектории образуют обмотку двумерного тора в фазовом пространстве.

Литература

1. И. М. Халатников, А. Ю. Каменщик. Стахастическая космология, теория возмущений и гравитация Лифшица. УФН. **185** (2015) 948.
2. I. Bakas, F. Bourliot, D. Lüst, M. Petropoulos. The mixmaster universe in Hořava – Lifshitz gravity. Class. Quantum Grav. **27** (2010) 045013.
3. Y. Misonoh, Kei-ichi Maeda, T. Kobayashi. Oscillating Bianchi IX universe in Hořava – Lifshitz gravity. Phys. Rev. D **84** (2011) 064030.
4. V. Belinski, M. Henneaux. The Cosmological Singularity. Cambridge University Press. 2018.
5. А. Е. Павлов. Гамильтонова Динамика Гравитационных Систем. М. ЛЕНАНД, 2023.

ДЕФОРМАЦИИ РЕШЕНИЙ СУПЕРГРАВИТАЦИИ КОМПАКТНЫМИ ИЗОМЕТРИЯМИ

Т.А. Петров¹, Э.Т. Мусаев²

¹ petrov.ta@phystech.edu; Московский физико-технический институт

² musaev.et@phystech.edu; Московский физико-технический институт; Институт физики Казанского федерального университета

Нахождение новых теорий поля и решений уравнений движения уже существующих является неотъемлемой частью современной теоретической физики. Частью этой деятельности является поиск уравнений супергравитации на предмет новых решений. Для этого используется множество разнообразных методов, в число которых входит метод деформации уже существующих решений. Его суть в получении новых решений из уже существующих с помощью особым образом построенного нелинейного преобразования полей супергравитации [1]. Данное преобразование строится на основе внутренних скрытых симметрий супергравитации, а параметризуется тензорами различных рангов [2], в основном, для простоты вычислений, би- и три- векторами.

Расчёты показывают, что данные параметры не произвольны из-за особенностей геометрии пространств, на которых определяются теории, используемые для

построения искомого преобразования. Это влечёт наложение условий, описываемых уравнениями Янга-Бакстера - системами полиномиальных уравнений, определенных на алгебре Ли, для параметра деформации. Они определяются структурными константами алгебры изометрий деформируемого решения. Для бивекторной деформации эта система уравнений называется классическим уравнением Янга-Бакстера [3]. Для него существует теорема утверждающая, что в случае, если алгебра изометрий деформируемого решения компактна, то все решения натянуты на абелевую подалгебру [4]. Подобное сильно ограничивает число возможных параметризуемых бивекторами деформаций решений с компактным фоном, что также ограничивает возможные применения метода деформаций, к примеру в голографической дуальности. Показано, что деформация калибровочной теории, соответствующей начальному решению супергравитации, в случае, если деформация строилась на некомпактных изометриях, будет определена на многообразии с некоммутативными координатами, что лишь усложняет уже достаточно сложные теории. Однако, если деформировать начальное решение вдоль компактных изометрий, то деформация калибровочной теории сводится к прибавлению к изначальной калибровочной теории маргинальных операторов. Подобная простота делает деформации на компактных фонах предпочтительней некомпактных, тем самым увеличивая их важность [5].

Ранее считалось, что данная проблема бивекторных деформаций обобщалась и на тривекторные, параметры которой ограничивались обобщённым уравнением Янга-Бакстера. Однако, в процессе анализа удалось доказать обратное – был найден пример допустимой обобщённым уравнением Янга-Бакстера деформации вдоль компактных изометрий. В качестве примера ей были продеформированы некоторые простые решения 11-мерной супергравитации, для двух её компактных и некомпактных решений. Их наличие даёт надежду на более широкую область применимости метода деформаций.

Работа выполнена при поддержке фонда развития теоретической физики и математики «БАЗИС», грант № 21-1-2-3-1.

Литература

1. Bakhmatov I., Catal-Ozer A., Deger N. S., Gubarev K., and Musaev E. T., “Generalizing eleven-dimensional supergravity,” *Phys. Rev. D* 105 no. 8, (2022) L081904.
2. Bakhmatov I., Gubarev K., and Musaev E. T., “Non-abelian tri-vector deformations in $d = 11$ supergravity,” *JHEP* 05 (2020) 113.
3. Malek E., Sakatani Y., and Thompson D. C., “ $E_6(6)$ exceptional Drinfel’d algebras,” *JHEP* 01 (2021) 020.
4. Pop Iulia, Stolin Alexander, “Rational solutions of CYBE for simple compact real Lie algebras”, *Journal of Geometry and Physics*, Volume 57, Issue 5, 2007, ISSN 0393-0440.
5. R. G. Leigh and M. J. Strassler, “Exactly marginal operators and duality in four-dimensional $N=1$ supersymmetric gauge theory,” *Nucl. Phys. B* 447 (1995) 95–136.

ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ МАССЫ: АСТРОФИЗИКА И КОСМОЛОГИЯК.А. Постнов¹, Н.А. Митичкин², И.И. Чех³¹ *kpostnov@gmail.com*; ГАИШ МГУ² ; ГАИШ МГУ³ ; ГАИШ МГУ

Астрофизические кандидаты в черные дыры стали массово открываться в тесных рентгеновских двойных системах более 60 лет назад с началом эры рентгеновской астрономии. В настоящее время в Галактике известно почти сотня кандидатов в черные дыры, основными признаками которых является динамически оцененная масса невидимого компонента тесной двойной системы без признаков твердой поверхности (отсутствие магнитного поля и вспышечной активности накапливаемого на поверхности вещества). Известны также сверхмассивные черные дыры в ядрах галактик (СМЧД). Наиболее изученными СМЧД являются Sgr A* в центре Млечного Пути и M87* при наблюдениях РСДБ консорциумом Einstein Horizon Telescope. С 2015 года также наблюдаются гравитационно-волновые сигналы от сливающихся двойных ЧД с массами до 100 масс Солнца. ЧД дыры промежуточной массы (ЧДПМ) остаются гипотетическими объектами, которые могут находиться в центрах шаровых скоплений и ядрах карликовых галактик. Интерес к проблеме ЧДПМ возрастает в связи с обострившейся проблемой роста массы СМЧД до миллиардов масс Солнца на больших красных смещениях, требующих или физически маловероятного роста «затравочной» ЧД с массой около 100 масс Солнца с красных смещений 20-25, или существования «затравочной» ЧДПМ с массой 10^4 - 10^5 масс Солнца. Вопрос о происхождении таких ЧД открыт – они могли бы образоваться в плотных звездных скоплениях или иметь первичную природу (ПЧДПМ). Мы рассматриваем возможную модель образования ПЧДПМ из возмущений кривизны на стадии инфляции с дополнительным скалярным комплексным полем с барионным зарядом (модифицированный бариогенезис Афлека-Дайна, предложенный А.Д. Долговым и Дж. Силком в 1993 году). В этом сценарии после окончания инфляции на стадии КХД фазового перехода при температуре около 100 МэВ области с большим барионным зарядом становятся областями с большим возмущением плотности и могут превращаться в ПЧД с лог-нормальным спектром масс. Максимальная масса такой ПЧД может достигать 10^4 масс Солнца при разумных значениях температуры первичного разогрева. Мы рассматриваем возможность регистрации гравитационно-волнового сигнала от двойных ПЧДПМ в мГц диапазоне планируемыми космическими детекторами гравитационных волн (LISA, Taiji, TianQin), а также их возможную связь с популяцией двойных ПЧД, регистрируемых наземными детекторами гравитационных волн с наблюдаемым темпом и параметрами.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ПРЕДЕЛ БЕКЕНШТАЙНА-ХОКИНГА ДЛЯ ВСЕЛЕННОЙ И ЕГО ОТНОШЕНИЕ К ФИЗИЧЕСКИМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯМ И ЧАСТИЦАМ

Я.В. Рязанцев¹

¹ *yr@281.institute*; Научно-исследовательский институт № 281

Для целей данной работы достаточно классического понятия энергии свободной материальной точки - $H^{tot} = H^{rot} + H^{trans} = \frac{1}{2} (I_x \omega_x^2 + I_y \omega_y^2 + I_z \omega_z^2) + \frac{1}{2} m (v_x^2 + v_y^2 + v_z^2) = H(\psi)$, где $\psi = \{\omega_x, \omega_y, \omega_z, v_x, v_y, v_z\}$ - вектор динамического состояния точки. Под точкой можно понимать инфинитизимальный элемент физического пространства.

Случай стационарного наблюдаемого состояния $H^{tot} = const.$ соответствует изменениям состояния, которые представляют собой замкнутые петли на поверхности сферы S^5 . Различимые петли эквивалентны степеням свободы всех точек физического пространства. Для подсчета петель мы строим ортогональную 5-мерную решетку (изотропия поверхности делает неразличимыми петли при поворотах). Одномерные и двумерные петли тривиальны.

В случае трех измерений только 4 из 15-ти элементарных петель на решетке являются неприводимыми к более простым петлям. Общее число неприводимых петель (петлевого базиса) для пятимерия получается равным 281. Мы обнаружили, что существует определенная петлевая симметрия - петли длиной n , в которых переставлены местами базисные петли, не отличаются для наблюдателя. Таким образом, общее число различимых петель для всех $n \in \{1... \infty\}$ не превышает $N < \sum_{n=1}^{\infty} \frac{281^n}{n!} = e^{281} - 1 = 1.0883019687436065... \times 10^{122}$. Если учесть направление обхода петли - то мы должны заключить, что общее количество петель не должно превысить $2 \cdot e^{281}$. Мы выдвигаем гипотезу, что это число и есть аналитически рассчитанный энтропийный предел Бекенштайна-Хокинга для сферы Хаббла нашей Вселенной.

Элементарные частицы - это некие системы, у которых есть огромное число степеней свободы. Возьмем, для примера, электрон. Используя соотношение $\hbar = m_e c r_e / \alpha$, мы получаем массу покоя пары:

$$2m_e = \underbrace{2\pi\alpha \cdot M}_{\text{Масса электр. материи}} \quad / \quad \underbrace{e^{\frac{2}{3} \cdot 281}}_{\text{Общее число пар}}$$

Число $\Omega_e = 2\pi\alpha$ можно интерпретировать, как наблюдаемую долю массы всей Вселенной, приходящуюся на "электронную" материю (электрон-позитронные пары). Интересно, что величина $\Omega_e = 4.58506\%$ очень близка к наблюдаемой в эксперименте концентрации "барионной" материи во Вселенной. Теоретически полученный нами радиус Хаббла Вселенной будет равен: $R = r_e \cdot e^{\frac{281}{3}} = 1.345390211 \times 10^{26} \text{ м} = 14.230526025 \text{ св.лет}$

Мы выдвигаем гипотезу, что все элементарные частицы должны удовлетворять общему геометрическому правилу для любой размерности d (как минимум, $d \in \{1...5\}$): $(R/r_d)^d = e^{281}$. Если это так, то должна существовать частица для $d = 2$ с массой покоя $m_2 = \pi\alpha_2 M \cdot e^{-281/2}$. Для случая тотальной доминанции $\Omega_2 = \pi\alpha_2 = 1$ эта

масса становится $m_2 = 8.68224 \times 10^{-9}$ кг. Наша гипотеза состоит в следующем - 2-мерные частицы с “классическим радиусом” (средним расстоянием между нулями волновой функции) $r_2 = R \cdot e^{-281/2} = 1.28966 \times 10^{-35}$ м являются частицами темной материи. В ранней Вселенной такие частицы были источником мощных гравитационных волн. На масштабе $r_e/2$ потенциальная гравитационная энергия темной частицы достаточна для рождения электрон-позитронной пары: $Gm_D^2/r_e = \frac{\pi}{2} (2m_e c^2)$. Из этого выражения прямо следует, что $\alpha_2 = \sqrt{\alpha}$. Таким образом, видимая концентрация темной материи во Вселенной: $\Omega_D = \pi\sqrt{\alpha} = 26.836911714\%$, что практически совпадает с данными наблюдений темной материи. Масса покоя частиц темной материи может быть найдена по формуле: $m_D = \pi\sqrt{\alpha} \cdot M \cdot e^{-281/2} = 2.33004728 \times 10^{-9}$ кг.

В случае $d = 4$, “классический радиус” частицы будет равен $r_4 = R \cdot e^{-281/4} = 4.1654402579 \times 10^{-5}$ м. Это значит, что масса покоя 4-мерной частицы меньше массы электрона в ≈ 10 млрд. раз! Такие частицы должны быть крайне подвижны. Мы предлагаем гипотезу - частицы с $d > 3$ это нейтрино различных ароматов - все они очень легки. То, что их массы различны может объяснять природу осцилляций нейтрино.

В работе рассматривается механизм гравитации и делается вывод, что электромагнитное взаимодействие имеет гравитационную природу. Наша теория позволяет получить более точные значения некоторых физических констант, например, гравитационной постоянной: $G = 6.6750256278 \times 10^{-11} \text{ м}^3\text{кг}^{-1}\text{с}^{-2}$. Также, мы получили соотношение, связывающее космологический, “электронный”, “тёмный” и планковский масштабы: $r_e^3 = R \cdot r_D^2 = \frac{2}{\pi} \cdot R \cdot \ell_{Pl}^2$.

АСИМПТОТИЧЕСКИ-ПОЛИОДНОРОДНЫЕ ПРОСТРАНСТВА

В.А. Тайнов¹

¹ tainov@theor.jinr.ru; Объединенный институт ядерных исследований, Государственный университет «Дубна»

Около 60-ти лет назад Бонди, Сакс, Ньюмен и Пенроуз создали инструментарий для изучения гравитационного излучения на световой бесконечности будущего \mathcal{I}^+ . Однако, их подход, базирующийся на изучении решений уравнений Эйнштейна, содержал некоторые ограничения на свойства пространства-времени. Пространство-время считалось асимптотически плоским, и требовалось выполнение свойства о расщеплении тензора Вейля (peeling property). Более строго, расщепление тензора Вейля приводит к тому, что инварианты в подходе Ньюмена-Пенроуза имеют асимптотическое поведение $\Psi_i \sim r^{i-5}$, $i = 0, \dots, 4$ на \mathcal{I}^+ .

Свойство расщепления исторически связано с условием выходящего гравитационного излучения (outgoing radiation condition), которое может быть наложено на метрические функции. Бонди, Сакс и Пенроуз использовали это условие, чтобы избежать появления логарифмических вкладов в асимптотических разложениях метрических функций, т.к. считалось, что их присутствие связано с входящим гравитационным излучением.

Последующий анализ показал, что требование Бонди-Сакса-Пенроуза являет-

ся избыточно сильным и в общем случае решение уравнений Эйнштейна вблизи световой бесконечности допускает присутствие логарифмических вкладов вида $\ln^m r/r^n$. Такие пространства позднее назвали полиоднородными или логарифмически асимптотически плоскими.

Будет показано на конкретном примере, что полиоднородное пространство-время ослабляет свойство расщепления тензора Вейля и, как следствие, поведение скаляров Ньюмена-Пенроуза на световой бесконечности будущего. Оно также приводит к модификации формализма Бонди-Сакса – формула Бонди потери массы оказывается связана с логарифмическими вкладами в разложении метрики.

ГОЛОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ОБЪЕДИНЕННОЙ ДИССИПАТИВНОЙ МОДЕЛИ ТЕМНОЙ ЖИДКОСТИ С АКСИОННЫМ ПОЛЕМ

А.В. Тимошкин¹

¹ alex.timosh@rambler.ru; Томский государственный педагогический университет, Томск, Россия

Расширена модель аксионной $F(R)$ гравитации. С голографической точки зрения рассматривается единая модель ранней и поздней Вселенной в однородной и изотропной пространственно-плоской метрике Фридмана-Робертсона-Уокера. Предполагается, что Вселенная заполнена вязкой темной жидкостью в присутствии аксионной материи. Мы используем описание, основанное на обобщенной голографической темной энергии с инфракрасным отсечением, предложенное Ноджири и Одинцовым. Рассмотрены различные формы объемной вязкости, получены аналитические выражения для инфракрасного отсечения в терминах горизонта частиц. Уравнение сохранения энергии представлено на голографическом языке. Показана эквивалентность космологии вязкой жидкости и космологии голографической жидкости в обобщенной голографической модели Ноджири-Одинцова.

ВЕРИФИЦИРОВАННЫЕ МОДЕЛИ КОСМОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФЛЯЦИИ НА ОСНОВЕ СКАЛЯРНО-ТЕНЗОРНОЙ ТЕОРИИ ГРАВИТАЦИИ

И.В. Фомин¹, Е.С. Денцель²

¹ ingvor@inbox.ru; МГТУ им. Н.Э. Баумана, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1, г. Москва, 105005, Россия.
² edentsel@yandex.ru; МГТУ им. Н.Э. Баумана, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1, г. Москва, 105005, Россия.

Рассмотрены инфляционные модели на основе скалярно-тензорной гравитации со степенной параметризацией влияния неминимальной связи между скалярным полем и кривизной на космологическую динамику и параметры космологических возмущений.

В отличие от ранее рассмотренных моделей инфляции с квадратичной зависимостью функции неминимальной связи от параметра Хаббла [1, 2], в данном случае рассматривается обобщенный анализ для произвольной степенной зависимости данных параметров космологических моделей.

В качестве примера предложенного подхода рассматриваются космологические модели, основанные на физических потенциалах скалярного поля для различных типов неминимальной связи скалярного поля и кривизны.

Также, на основе наблюдательных ограничений на параметры космологических возмущений, дана оценка отклонений предложенных моделей от случая гравитации Эйнштейна.

Литература

1. I. V. Fomin, S. V. Chervon, A. V. Tsyganov. Generalized scalar–tensor theory of gravity reconstruction from physical potentials of a scalar field. *The European Physical Journal C*, 80(4), 2020
2. I. V. Fomin, S. V. Chervon, A. N. Morozov, I. S. Golyak. Relic gravitational waves in verified inflationary models based on the generalized scalar–tensor gravity. *The European Physical Journal C*, 82(7), 2022

ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ ОТ НУЛЕВЫХ СТРУН

Д.В. Фурсаев¹, Е.А. Давыдов²

¹ fursaev@theor.jinr.ru; Объединенный институт ядерных исследований

² davydov@theor.jinr.ru; Объединенный институт ядерных исследований, Государственный университет „Дубна“

Нулевые космические струны возмущают гравитационные поля массивных тел, вследствие чего возникает гравитационное излучение [1]. На примере прямой струны мы исследуем возмущение метрики точечного массивного источника, порожденное нетривиальными краевыми условиями на горизонте событий нулевой струны. Как известно, при пролете космической струны (как массивной, так и нулевой) между двумя наблюдателями, их скорости преобразуются таким образом, что они начнут двигаться по направлению друг к другу. Аналогичный эффект справедлив и для полей: их компоненты преобразуются соответствующим образом на горизонте событий струны. В частности, для прямой нулевой струны преобразование будет представлено подгруппой нулевых вращений группы Лоренца. В линейном приближении метрика $g_{\mu\nu}$ массивного точечного источника в пространстве-времени с прямой нулевой струной может быть представлена как сумма невозмущенной метрики источника $\hat{g}_{\mu\nu}$ в пространстве-времени без струны и некоторого малого возмущения $h_{\mu\nu}$, порожденного действием соответствующего преобразования на $\hat{g}_{\mu\nu}$ на горизонте струны.

Наличие зависящих от времени возмущений метрики $h_{\mu\nu}$ приводит к излучению гравитационных волн, полная энергия которых определяется формулой

$$E = \frac{1}{8\pi G} \int_{-\infty}^{+\infty} dU \int d\Omega N_{AB} N^{AB} . \quad (1)$$

Здесь x^A — координаты на единичной сфере, $U = t - r$ — запаздывающее время, Ω — телесный угол, симметричный бесследовый тензор N_{AB} — аналог тензора новостей

Бонди. Он описывает динамику угловых компонент метрики на светоподобной бесконечности:

$$N_{AB}(U, \Omega) = \lim_{r \rightarrow \infty} \frac{1}{2r} \partial_U g_{AB} . \quad (2)$$

Формула (1) является аналогом известной формулы Бонди для потери массы вследствие гравитационного излучения.

Из полученных аналитических выражений для компонент тензора новостей следует, что гравитационное излучение имеет выраженный пик, ширина которого определяется прицельным расстоянием между струной и источником. Предполагая, что текущие астрофизические ограничения на линейную плотность энергии одинаково применимы для массивных и нулевых струн, можно оценить верхнюю границу средней мощности гравитационного излучения при пролете нулевой струны вблизи компактного массивного источника. Она оказалась сопоставимой с мощностью излучения систем двойных пульсаров и может достигать 10^{27} Вт.

Литература

1. D. V. Fursaev, E. A. Davydov, I. G. Pirozhenko and V. A. Tainov, *Gravitational Waves Generated by Null Cosmic Strings*, e-Print: 2311.01863 [gr-qc].

НЕКОТОРЫЕ КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ СКАЛЯРНО-ТОРСИОННОЙ ГРАВИТАЦИИ С ПОЛЕМ САМОДЕЙСТВИЯ ГАЛИЛЕОННОГО ТИПА

С.В. Червон¹, И.В. Фомин², Т.И. Чаадаева³

¹ *chervon.sergey@gmail.com*; УлГПУ им. И.Н. Ульянова, Ульяновск, Россия

² *ingvor@inbox.ru*; МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

³ *majorova.tatyana@mail.ru*; УлГПУ им. И.Н. Ульянова, Ульяновск, Россия

Рассматривается скалярно-торсионная гравитация вида [1]

$$S = \int d^4 x e \left[\frac{M_{pl}^2}{2} F(\phi) T + P(\phi, X) - G(\phi, X) \square \phi \right], \quad (1)$$

где $F = \left(\frac{H}{\lambda}\right)^n$, $P = -\omega X + V$, $G = \gamma X$, $X := \frac{1}{2} \dot{\phi}^2$, T - скаляр кручения, $M_{pl}^2 = (8\pi G)^{-1}$, $\gamma, \lambda n = const$. В рамках модели функция F задается выражением $F = \left(\frac{H}{\lambda}\right)^n$. В метрике Фридмана-Робертсона-Уокера уравнения модели можно свести к двум уравнениям:

$$V = \frac{3}{2} H \dot{\phi}^3 \gamma + 3 H^2 M_{pl}^2 \left(\frac{H}{\lambda}\right)^n + \frac{1}{2} \dot{\phi}^2 \ddot{\phi} \gamma + \dot{H} M_{pl}^2 \left(\frac{H}{\lambda}\right)^n + H M_{pl}^2 \frac{n \dot{H}}{\lambda} \left(\frac{H}{\lambda}\right)^{n-1}, \quad (2)$$

$$\omega \dot{\phi}^2 - 3 H \dot{\phi}^3 \gamma + \dot{\phi}^2 \ddot{\phi} \gamma + 2 \dot{H} M_{pl}^2 \left(\frac{H}{\lambda}\right)^n + 2 H M_{pl}^2 \frac{n \dot{H}}{\lambda} \left(\frac{H}{\lambda}\right)^{n-1} = 0. \quad (3)$$

Потенциал V не зависит от ω . Решения модели строятся путём выбора постоянной n и параметра Хаббла H . В докладе приводятся примеры для $n = 0, 1, 2$ и параметра Хаббла $H = const$, степенного вида $H = \frac{m}{t}$.

Литература

1. Gonzalez-Espinoza M., Otalora G., Videla N. et al. Slow-roll inflation in generalized scalar-torsion gravity. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*. 2019. vol. 2019. n. 08. p. 029. DOI: 10.1088/1475-7516/2019/08/029

ГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ ДУАЛЬНОСТЬ И ИНТЕГРИРУЕМОСТЬ

А.А. Юрова¹, А.В. Юров²

¹ aiurova@kantiana.ru; Балтийский Федеральный Университет Иммануила Канта, физико-технический институт, ул. А. Невского 14, Калининград, 236041, Россия; Калининградский Государственный Технический Университет, Кафедра прикладной математики и информационных технологий, Советский пр. 1, Калининград, 236000, Россия

² aiurov@kantiana.ru; Балтийский Федеральный Университет Иммануила Канта, физико-технический институт, ул. А. Невского 14, Калининград, 236041, Россия

AdS/CFT дуальность устанавливает эквивалентность теории в балке с гравитацией и суперсимметричной калибровочной теории Янга-Миллса на границе. Можно ли установить некий голографический аналог для dS вселенной? Направление мысли, заданное, в частности, в [1] основано на метастабильности всех вакуумов с положительной плотностью в ландшафте, что вкуче с инфляцией приводит к заселению инфлюирующего вакуума более низкоэнергетичными, как следствие квантового туннелирования, и за счет эффекта инстантонов Коулмена-Лючии. Инстантоны обладают симметрией двумерной конформной группы (изоморфной $SO(3,1)$), что позволило авторам [1] предположить, что весь ландшафт закодирован в C_2 (двумерная конформная группа — бесконечномерна). Так возникает идея dS/CFT.

Мы развиваем эту идею, используя нетривиальный факт: двумерная конформная группа тесно связана с интегрируемыми иерархиями, допускающими представление нулевой кривизны. Например, используя калибровочные потенциалы из $SL(2, R)$, можно построить нелинейное уравнение Шрёдингера (NLS), уравнения Кортевега-де Фриза (КдФ) и синус-Гордон, а также уравнения Дэви-Стюартсона (DS) и Кадомцева-Петвиашвили (КП) (см. например [2], [3]), в то время как из $SL(3, R)$ выводится уравнение Буссинеска. Благодаря процитированным работам стало известно, что представления нулевой кривизны можно получить из самодуального уравнения Янга-Миллса (ЯМ). В частности, КП (и DS) можно получить из самодуального ЯМ с группой $SL(2, R)$ в пространстве $3+3$. Значит, если компактифицировать два «лишних времени», то получается фактически $1+3$ ЯМ (метод компактификации, при котором компактное индефинитное многообразие не приводит к кинетическим отрицательным членам на массовой оболочке, был развит И.А. Филановским в работе [4]). Таким образом, идея состоит в использовании не просто двумерной конформной теории поля, а теории интегрируемых иерархий для реализации соответствия dS/CFT, причем dS оказывается дуально самодуальному уравнению Янга-Миллса (без гравитации), но только более высокой размерности, в отличие от AdS/CFT.

Очевидная проблема в реализации этой идеи заключается в том, что число интегрируемых иерархий вообще говоря бесконечно, количество же dS вакуумов —

наоборот, конечно. Это означает, что описанная кодировка ландшафта интегрируемыми иерархиями теоретически осуществима, если существуют нетривиальные связи, позволяющие унифицировать большую часть интегрируемых моделей. Мы показываем, что это возможно, в частности, впервые демонстрируя наличие новых и неожиданных симметрий между, казалось бы, прекрасно и исчерпывающе изученными иерархиями Абловица-Каупа-Ньюелла-Сегюра (AKNS) и КР.

Литература

1. Ben Freivogel, Yasuhiro Sekino, Leonard Susskind, Chen-Pin Yeh, “A Holographic Framework for Eternal Inflation”, *Phys.Rev.D* **74**:086003 (2006)
2. J. C. Brunelli, Ashok Das, “Davey-Stewartson Equation from a Zero Curvature and a Self-Duality Condition”, *Mod. Phys. Lett. A* **9**, 1267–1272 (1994)
3. Ashok Das, C. A. P. Galvao, “Self-Duality and the KdV Hierarchy”, *Mod. Phys. Lett. A* **8**, 661–666 (1993).
4. Филиановский И.А. “Обобщенная размерная редукция и конформная суперсимметрия”. *Вестник Ленинградского университета* **10**, 5–11 (1983).

GALACTIC MICROLENSING BY CHARGED KIM AND LEE WORMHOLES

G.F. Akhtaryanova¹, R.Kh. Karimov², R.N. Izmailov³, K.K. Nandi⁴

¹ *akht_gul@mail.ru*; Zel'dovich International Center for Astrophysics, M. Akmullah Bashkir State Pedagogical University, 3A, October Revolution Street, Ufa 450008, RB, Russia

² *karimov_ramis_92@mail.ru*; Zel'dovich International Center for Astrophysics, M. Akmullah Bashkir State Pedagogical University, 3A, October Revolution Street, Ufa 450008, RB, Russia

³ *izmailov.ramil@gmail.com*; Zel'dovich International Center for Astrophysics, M. Akmullah Bashkir State Pedagogical University, 3A, October Revolution Street, Ufa 450008, RB, Russia

⁴ *kamalnandi1952@rediffmail.com*; Zel'dovich International Center for Astrophysics, M. Akmullah Bashkir State Pedagogical University, 3A, October Revolution Street, Ufa 450008, RB, Russia

We shall present here a novel application of Kim and Lee charged wormholes [1] as lenses treated as dark matter halo objects in Galactic microlensing. We find a remarkable feature that both the wormholes have zero ADM masses. We shall consider for illustration the simplest case $\beta = -1$ which, for the scalar charge $\alpha < b_0^2$ and electric charge $Q = 0$ respectively, *formally* resemble the well known massless Ellis-Bronnikov wormhole metric. The arbitrary parameter $Q \neq 0$ can be treated as providing an extra degree of freedom that keeps the wormhole massless yet distinct from the Ellis-Bronnikov wormhole. In the present work, we investigate the influence of Q on the microlensing observables comparing them with the Ellis-Bronnikov wormhole lensing. Compared to the Schwarzschild black hole light curves, those by the wormhole lenses show gutters immediately outside the times the source takes in crossing the Einstein ring. The optical depths and event rates are calculated assuming the wormhole lens to be bound and unbound to the Galactic Bulge and to the Large Magellanic Cloud that contain the lensed stars. Future experiments on galactic microlensing are expected to impose observational constraints on Q .

This work was supported by the Russian Science Foundation under grant no. 23-22-00391, <https://rscf.ru/en/project/23-22-00391/>.

References

1. S.-W. Kim and H. Lee, Phys. Rev. D **63**, 064014 (2001).

DYNAMIC AETHER AS A TRIGGER FOR SPONTANEOUS SPINORIZATION IN EARLY UNIVERSE

A.B. Balakin¹, A. Efremova²

¹ *alexander.balakin@kpfu.ru*; General Relativity and Gravitation, Institute of Physics, Kazan Federal University, Kremlevskaya str. 16a, Kazan 420008, Russia

² *anna.efremova131@yandex.ru*; General Relativity and Gravitation, Institute of Physics, Kazan Federal University, Kremlevskaya str. 16a, Kazan 420008, Russia

1. We presented an exactly integrable phenomenological model according to which the dynamic aether coupled to the spinor field opens a window for the spontaneous growth of the fermion number in the early Universe. Our purpose was to show explicitly that the function $S(t) = \psi * \bar{\psi}$, which is usually associated with the number density of the spinor particle, can grow, can reach some maximal value and then monotonically decrease under the influence of the Universe expansion.

2. We put forward a hypothesis that in analogy with the thermodynamic approach, the specific spinor particles can appear as the individual ones, when their masses (predicted by the quantum theory) coincide with the effective mass $\langle M \rangle$. Based on the solutions obtained for two exactly integrable models we can notice that the effective spinor mass $\langle M \rangle$ as the function of cosmological time starts from the value m at $t = t^*$, reaches the maximal value (h_0 , if $\xi = 0$ and $\frac{1}{2} * h_0$, if $\xi = \frac{1}{2}$), and then tends to zero.

3. The idea of spontaneous spinorization assumes that during the interval of the cosmological time $t^* < t < t^{**}$ a significant growth of the spinor number density S takes place. This idea is confirmed by the exact solutions for different ξ .

4. We think that the energy required to increase the number of fermions is drawn from the energy reserve of the gravitational field. The presence of the term $mS + \beta$ in the right-hand side of the equation hints us that the energy can be effectively redistributed between the gravitational and spinor fields, when the aether opens a window for this process.

EINSTEIN-YANG-MILLS-AETHER THEORY WITH NONLINEAR AXION FIELD: DECAY OF COLOR AETHER AND THE DARK MATTER PRODUCTION

A.B. Balakin¹, G.B. Kiselev²

¹ *alexander.balakin@kpfu.ru*; Department of General Relativity and Gravitation, Institute of Physics, Kazan Federal University, Kremlevskaya str. 18, Kazan 420008, Russia

² *kiselev.gleb.97@gmail.com*; Department of General Relativity and Gravitation, Institute of Physics, Kazan Federal University, Kremlevskaya str. 18, Kazan 420008, Russia

Based on the introduction of a unit time-like vector field, the aetheral theory is closely related to the speed of some cosmic substrate - the dynamic ether. Later, after the creation of the theory of interaction of the dynamic ether with the electromagnetic field, the SU(N) - symmetric ether theory of Einstein-Yang-Mills was proposed as a generalization of U(1) - the symmetric ether model of Einstein-Maxwell. It was assumed that in the history of the Universe there is a critical moment of time when the SU(N) symmetric colored dynamic ether is transformed into U(1) symmetric dynamic ether, and the result of this process is the formation of a pseudoscalar (axion) field?. In fact, the concept of a colored dynamic ether was formulated, based on the analysis of a multiplet of vector and pseudoscalar fields.

The process of transition from a symmetric color ether to a dynamic one looks like a spontaneous color polarization, which is accompanied by the alignment of the multiplet of vector fields along a selected direction in the color space and the appearance of a pseudoscalar (axion) field. This process has the character of a second-order phase transition.

In this investigation we study a nonlinear version of the SU(N)-symmetric theory, which self-consistently describes the interaction between gravitational, gauge, vector, and pseudoscalar (axion) fields. In the context of this theory, the SU(N)-symmetric multiplet of vector fields is associated with the colored ether, whose decay in the early Universe gave rise to the canonical dynamic ether and axion dark matter. The SU(N)-symmetric Yang-Mills field associated with the colored ether forms a source that transfers the energy of the decaying colored ether to the axion field. The next question is connected with the intensity of the coupling between axion and gauge fields. The non-linear modification of the model explicitly imposes the requirement of discrete symmetry, given by the axion field. It is based on an analogy with a nonlinear physical pendulum. We show that within this non-linear regular model, the axion field can grow to an arbitrarily large value, which explains the abundance of axion dark matter in the Universe.

References

1. Mattingly D., Jacobson T. Relativistic gravity with a dynamical preferred frame //arXiv preprint gr-qc/0112012. - 2001.
2. Balakin A. B.; Kiselev G. B. Spontaneous Color Polarization as A Modus Originis of the Dynamic Aether // Universe, 2020. - V.6. - P. 95. DOI:10.3390/universe6070095
3. Balakin, A.B.; Kiselev, G.B. Einstein-Yang-Mills-Aether Theory with Nonlinear Axion Field: Decay of Color Aether and the Axionic Dark Matter Production. Symmetry 2022, 14, 1621. <https://doi.org/10.3390/sym14081621>

SOLUTIONS IN SCALAR-TORSION GRAVITY FOR POWER-LAW EVOLUTION OF THE SCALAR FIELD

K.A. Bolshakova¹, S.V. Chervon², I.V. Fomin³

¹ *bolshakova.ktrn@gmail.com*; USPU, Ulyanovsk, Russia

² *chervon.sergey@gmail.com*; USPU, Ulyanovsk, Russia; BMSTU, Moscow, Russia; KFU, Kazan, Russia

³ *ingvor@inbox.ru*; BMSTU, Moscow, Russia

We consider generalized scalar-torsion gravity [1]

$$S = \int \left[\frac{M_{pl}^2}{2} F(\phi) T + P(\phi, X) - G(\phi, X) \square \phi \right] \quad (1)$$

with parameters $P = -\omega X + V$, $G = 0$, $F \neq 0$, where ω , P , F are arbitrary functions of ϕ and/or X , and $X = -\frac{1}{2} \partial_\mu \phi \partial^\mu \phi$.

The search for solutions is carried out in the Friedan-Robertson-Walker metric $ds^2 = -dt^2 + a^2 \delta_{ij} dx^i dx^j$ with superimposed standard homogeneous and isotropic background geometry $e_\mu^A = \text{diag}\{1, a, a, a\}$. For this model, background equations are written and solutions are found based on the choice of a function of the following form $F = \left(\frac{H}{\lambda}\right)^n$, where λ , n are arbitrary constants. Thus, in this case, the system of equations takes the following form:

$$V = \frac{H^n}{\lambda^n} (3H^2 + \dot{H}(1+n)) \quad (2)$$

$$\omega(\phi) \dot{\phi}^2 = -2 \left(\frac{H}{\lambda}\right)^n \dot{H}(n+1) \quad (3)$$

In this paper, we set the function $\omega(\phi) = 1$ and explore other inflation scenarios in which the scalar field is defined as $\phi = Ct^k$, where $C, k = \text{const}$. Cosmological parameters have been found for our model that align it with observational data.

References

1. Manuel Gonzalez-Espinoza, a Giovanni Otalora, a Nelson Videla and Joel Saavedra Slow-roll inflation in generalized scalar-torsion gravity

POSSIBLE WORMHOLES IN A FRIEDMANN UNIVERSE

K.A. Bronnikov¹, P.E. Kashargin², S.V. Sushkov³

¹ *kb20@yandex.ru*; Center of Gravitation and Fundamental Metrology, VNIIMS, Ozyornaya St. 46, Moscow 119361, Russia; Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russia; National Research Nuclear University "MEPhI", Kashirskoe sh. 31, Moscow 115409, Russia

² *pkashargin@mail.ru*; Institute of Physics, Kazan Federal University, Kremliovskaya St. 16a, Kazan 420008, Russia

³ *sergey_sushkov@mail.ru*; Institute of Physics, Kazan Federal University, Kremliovskaya St. 16a, Kazan 420008, Russia

We study the properties of evolving wormholes able to exist in a closed Friedmann dust-filled universe and described by a particular branch of the well-known Lemaître-Tolman-Bondi solution to the Einstein equations and its generalization with a nonzero cosmological constant and an electromagnetic field. Most of the results are obtained with pure dust solutions. The junction between a wormhole region and a Friedmann universe is described using the Darmois-Israel conditions. Explicit examples of wormhole solutions and the corresponding numerical estimates are presented. The traversability of the wormholes under study is shown by a numerical analysis of radial null geodesics. It has been shown, in particular, that the lifetime of a wormhole throat is much shorter than that of the whole wormhole region in the universe (which coincides with the lifetime of the universe as a whole), and that the density of matter near the boundary of a wormhole region is a few times smaller than the mean density of matter in the universe, which resembles the observable large-scale cosmic voids [1].

References

1. K.A. Bronnikov, P.E. Kashargin, S.V. Sushkov, *Universe* **7**, 419 (2021), arXiv: 2109.12670; *Universe* **9**, 465 (2023), arXiv: 2309.03166.

FALSIFICATION OF GRAVITY THEORIES FROM THE FORM OF DARK SPOTS ON BLACK HOLE IMAGES

V.I. Dokuchaev¹, K.E. Prokopenko²

¹ *dokuchaev@inr.ac.ru*; Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences, prospekt 60-letiya Oktyabrya 7a, 117312, Moscow, Russia; Moscow Institute of Physics and Technology, 9 Institutskiy per., Dolgoprudny, Moscow Region, 141700 Russia

² *prokopenko.ke@phystech.edu*; Moscow Institute of Physics and Technology, 9 Institutskiy per., Dolgoprudny, Moscow Region, 141700 Russia

Visual images of supermassive black holes M87* and SgrA* have been successfully registered recently by the international collaboration Event Horizon Telescope. This registration opens the unique possibility for verification (or falsification) of modified gravity theories in the strong field limit when gravitational field is dominated over astrophysical

factors. This verification is crucially important for physical interpretation of astrophysical and cosmological observations of the Universe and for understanding the physical origin of enigmatic dark matter and dark energy.

The observed dark spots are always projected inside the awaited position of the classical black hole shadow at the celestial sky, which is the capture cross-section of photons in the black hole gravitational field.

The accuracy of Event Horizon Telescope is sufficient for demonstration of the qualitative agreement of the obtained dark spot images of both black holes with the General Relativity prediction. In particular, the forms of dark spots on the Event Horizon Telescope images correspond to the fast black hole rotation of the supermassive black holes M87* and SgrA*.

Meantime, the Event Horizon Telescope accuracy is insufficient for the verification of modified gravity theories. In the observable future this verification would be possible in realization of the international project of the Space Observatory Millimetron, which angular resolution in few orders of magnitude exceeds the corresponding one of the Event Horizon Telescope.

ON THE QUASI-DE SITTER SOLUTION IN $f(T, (\nabla T)^2)$ TELEPARALLEL GRAVITY

V.V. Fedotov¹, S.V. Chervon²

¹ *prokopeck@mail.ru*; USPU, Ulyanovsk, Russia

² *chervon.sergey@gmail.com*; USPU, Ulyanovsk, Russia; BMSTU, Moscow, Russia; KFU, Kazan, Russia

The work [1] is devoted to new version of teleparallel gravity with higher derivatives: the first and second order on torsion scalar. The general equations in a flat Friedmann - Robertson - Walker spacetime are represented. Cosmological dynamics for two special cases are considered by qualitative analysis of differential equations of the model $f(T, (\nabla T)^2, \square T)$.

We consider truncated version $f(T, (\nabla T)^2)$ and study quasi-de Sitter solution of the form $H(t) = h - 2\epsilon t$, where $h = H(0) = \text{const.}$, $\epsilon \ll h$. The choice of the function f is: $f(T, (\nabla T)^2) = AT^n + \omega(T)X$ where $X = \nabla_\mu T \nabla^\mu T$. The energy-momentum tensor of perfect fluid is considered as the source of gravity. We investigate background and first order on ϵ approximated equations. The form and values of model's parameters (A, ω) are adjusted with perfect fluid and its perturbation.

References

1. G. Otalora, E.N. Saridakis. Modified teleparallel gravity with higher-derivative torsion term. arXiv:1605.04599 (2016).

COSMOLOGICAL MODELS BASED ON SCALAR-TORSION GRAVITY

I.V. Fomin¹

¹ *ingvor@inbox.ru*; Bauman Moscow State Technical University, Russia

This report discusses cosmological models based on scalar-torsional gravity with a non-minimal coupling between torsion and the scalar field, which determines modifications of the teleparallel equivalent of General Relativity. To assess the influence of the non-minimal coupling, a power-law parameterization of modifications of the teleparallel equivalent of General Relativity is used in the form of a certain connection between the non-minimal coupling function and the Hubble parameter. This connection is considered as the source of deviations in the dynamics of the early universe from exponentially accelerated expansion. Based on this approach, models of cosmological inflation are analyzed and the influence of the non-minimal coupling between the scalar field and torsion on the values of the parameters of cosmological perturbations is considered.

ANALYSIS OF THE HIGH-FREQUENCY RELIC GRAVITATIONAL WAVES DETECTION POSSIBILITY BY PHOTON-GRAVITON CONVERSION

I.V. Fomin¹, G.D. Manucharyan²

¹ *fomin_iv@bmstu.ru*; Bauman Moscow State Technical University, ul. Baumanskaya 2-ya, 105005 Moscow, Russia

² *gevorgbek.manucharyan@gmail.com*; Sternberg Astronomical Institute, Lomonosov Moscow State University, Universitetsky pr. 13, 119234 Moscow, Russia

Various modified gravitational theories are evaluated in this research, including the impact of different models on the spectrum of relic gravitational waves. Specifically, this study examines the influence of the Gauss-Bonnet scalar in the Einstein-Hilbert action on cosmological dynamics and the spectrum of relic gravitational waves, as well as the spectrum of relic gravitational waves in scalar-tensor gravity theories with a particular parametrization, among others. These theories are analyzed regarding the potential for experimental direct observation of relic gravitational wave radiation using various ground-based and space detectors in the high-frequency range.

References

1. Fomin I. Gauss-Bonnet term corrections in scalar field cosmology //The European Physical Journal C. - 2020. - V. 80. - No. 12. - P. 1145.
2. Fomin, Igor V., et al. Relic gravitational waves in verified inflationary models based on the generalized scalar-tensor gravity. The European Physical Journal C 82.7 (2022): 642.
3. Manucharyan G. D., Fomin I. V. Corrections to standard inflationary models induced by Gauss-Bonnet scalar. Space, Time and Fundamental Interactions, 2022, no. 40, pp. 119-131.

ON CHARACTERISTIC CAUCHY PROBLEM AND EM WAVES GENERATED BY NULL COSMIC STRINGS

D.V. Fursaev¹, I.G. Pirozhenko²

¹ fursaev@jinr.jinr; Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, Joint Institute for Nuclear Research, 141 980, Dubna, Moscow Region, Russia

² pirozhen@theor.jinr.ru; Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, Joint Institute for Nuclear Research, 141 980, Dubna, Moscow Region, Russia; Dubna State University, Universitetskaya st. 19

We have studied electrodynamics in a the space-time with a straight null cosmic string. Perturbations generated by the strings are solutions to a characteristic Cauchy problem where the initial data are set on the string horizon \mathcal{H} and take into account the planar supertranslations.

We considered two cases of point-like sources crossing the string horizon: sources with an electric charge and sources with a magnetic moment. We have shown that null cosmic strings disturb electric fields of charged sources and produce electromagnetic (EM) pulses.

We develop an analytic approximation for asymptotic of the EM waves at the future null infinity and calculate radiation fluxes for sources of the both types. For magnetic-dipole-like sources the radiation flux depends on orientation of the magnetic moment with respect to the string. Estimates show that the peak power of the radiation can be quite large for null strings moving near pulsars and considerably large in case of magnetars. The string generated variations of the luminosities of stars can be used as a potential experimental signature of null cosmic strings.

An analogous effect exists in gravity: perturbations of gravitational fields of massive sources caused by null cosmic strings are radiated away in a form of gravitational wave pulses. Near the future null infinity the resulting geometry, sourced by the string and a point-like mass, belongs to a class of so called polyhomogeneous spacetimes.

Based on the papers:

D.V. Fursaev, I.G. Pirozhenko, *Electromagnetic Waves from Pulsars Generated by Null Cosmic Strings* e-Print:arXiv:2309.01272, 2023

D.V. Fursaev, I.G. Pirozhenko, *Electrodynamics under the action of null cosmic strings* Phys. Rev. **D 107** (2023) 2, 025018, e-Print: 2212.05564 [gr-qc].

ANISOTROPIC COSMOLOGICAL MODELS OF BIANCHI TYPE I, V, IX IN THEORY OF GRAVITY WITH NON-MINIMAL DERIVATIVE COUPLING

R.G. Galeev¹, S.V. Sushkov²

¹ rafggaleev@stud.kpfu.ru; Kazan Federal University, Institute of Physics

² sergey_sushkov@mail.ru; Kazan Federal University, Institute of Physics

In this work we analyze behaviour of anisotropy in cosmological models of Bianchi type I, V, IX in gravity theory with non-minimal kinetic coupling. Deriving background equations from non-minimally coupled action, we obtain generalized system of equations.

Further, we numerically analyze the solutions of this system, considering the anisotropy on early and late stages of universe evolution.

As a result we show behaviour of Hubble parameter H^2/H_0^2 with numeric methods on early and late stages. We provide also the behaviour of mean scale factor a from time t for all models. Moreover we present the comparison of Universe evolution in isotropic and anisotropic cases for Hubble parameter H^2/H_0^2 and mean scale factor a .

WORMHOLES SUPPORTED BY MISNER STRINGS

D.V. Gal'tsov¹

¹ *galtsov@phys.msu.ru*; Department of Theoretical Physics, Faculty of Physics, Moscow State University, 119899, Moscow, Russia; Kazan Federal University, 420008 Kazan, Russia

In the parameter space of asymptotically locally flat solutions of the Einstein-Maxwell equations with magnetic mass (the NUT parameter), there are regions corresponding to wormholes. The Einstein-Maxwell Lagrangian satisfies a weak energy condition, so it would seem that wormholes are possible without violating this condition. However, it can be shown that the condition is violated by Misner strings arising in solutions with the NUT parameter. Using dimensional reduction, one can find that the Ricci tensor in these solutions has a delta-like singularity, for which the energy-momentum tensor violates the weak energy condition [1]. At the same time, it turns out that solutions with the NUT parameter are not solutions of the pure Einstein-Maxwell theory, but are also supported by additional exotic matter localized on the symmetry axis.

References

1. G. Clément and D. Gal'tsov, "Rotating traversable wormholes in Einstein-Maxwell theory," *Phys. Lett. B* **838** (2023), 137677.

PROPERTIES OF DOUBLE-EXPONENTIAL NONLINEAR ELECTRODYNAMICS

D.E. Groshev¹, R.I. Kinzibaev²

¹ *groshevdmitri1@mail.ru*; General Relativity and Gravitation, Institute of Physics, Kazan Federal University, Kremlevskaya str. 16a, Kazan 420008, Russia

² *11123family32111@gmail.com*; General Relativity and Gravitation, Institute of Physics, Kazan Federal University, Kremlevskaya str. 16a, Kazan 420008, Russia

We considered a model of nonlinear electrodynamics with two exponents: $\mathcal{L} = -\gamma_1 \mathcal{F} e^{\lambda_1 \mathcal{F}} - \gamma_2 (e^{\lambda_2 \mathcal{G}^2} - 1)$, where $\mathcal{F} = \frac{1}{4} F_{ik} F^{ik}$ $\mathcal{G} = \frac{1}{4} F_{ik} F^{*ik}$. The theory has 4 parameters: $\gamma_1, \gamma_2, \lambda_1, \lambda_2$. We find weak deflection angle Ω of light, using Gauss-Bone theorem and optical metric: $\Omega = \frac{1}{2} \int_0^\pi \int_\infty^{b/\sin\varphi} R \sqrt{g} dr d\varphi \approx c_0 + c_{11} \lambda_1 + c_{21} \lambda_2 + c_{12} \lambda_1^2 + c_{22} \lambda_2^2 + c_{1121} \lambda_1 \lambda_2$.

References

1. Gibbons, G.W.; Werner, M.C. Applications of the Gauss-Bonnet theorem to gravitational lensing. *Class. Quant. Grav.* 2008, 25, 235009.
2. Yashmitha Kumaran; Ali Övgün Deflection Angle and Shadow of the Reissner-Nordström Black Hole with Higher-Order Magnetic Correction in Einstein-Nonlinear-Maxwell Symmetry 2022, 14, 2054

TIMING EFFECTS IN KERR-SEN SPACETIME

R.Kh. Karimov¹, R.R. Zinnatullin²

¹ *karimov_ramis_92@mail.ru*; Zel'dovich International Center for Astrophysics, M. Akmullah Bashkir State Pedagogical University, 3A, October Revolution Street, Ufa 450008, RB, Russia

² *m-var@list.ru*; Zel'dovich International Center for Astrophysics, M. Akmullah Bashkir State Pedagogical University, 3A, October Revolution Street, Ufa 450008, RB, Russia

In this work we consider realistic finite lensing system and raised a question of principle associated with the estimation of pulse arrival times after they pass by a companion spinning BH. To do that, we integrated null geodesics and analytically calculated the time delay of light propagation in the equatorial plane of Kerr-Sen black hole up to third order. The calculated propagation time (also called as Shapiro delay) required for a pulse to travel from an arbitrary source point r to the observer point on the opposite sides of a spinning Kerr-Sen lens can be presented by

$$\Delta t(r, b, \xi) = 2 \left[(1 + \xi) t_{\text{flat}}(r, b) + t_{\text{mass}}(r, b, \xi) \pm t_{\text{fd}}(r, b, \xi) \right], \quad (1)$$

where ξ is the Kerr-Sen metric parameter, t_{flat} is the time delay in flat space, t_{mass} is the time delay caused by the mass of the black hole and t_{fd} is the leading order of the time delay caused by the frame-dragging effect of inertial frames, containing the rotational parameter. The beam's closest approach distance is determined by the black hole's mass and angular momentum. The signal arrival time delay obtained in equation (1) is the coordinate time delay. However, the coordinate time delay is immeasurable in a gravitational field, so the actual measurement using a clock must give a delay only in terms of the proper time for two-way motion, which is given by [3]

$$\Delta \tau(r, b, \xi) = \sqrt{g_{tt}(r, \xi)} \Delta t(r, b, \xi), \quad (2)$$

where g_{tt} is the time component of the Kerr-Sen metric. As a practical application, we assume an idealized situation in which the signal originates in the central gravitational field of the Earth, and after being reflected from the Moon, returns along the same path to its origin on Earth. Thus, we assess the influence of the Kerr-Sen parameter on the gravitational time advancement and time delay.

This work was supported by the Russian Science Foundation under grant no. 23-22-00391, <https://rscf.ru/en/project/23-22-00391/>.

References

1. K. Wang and W. Lin, Gen. Relativ. Gravit. **46**, 1740 (2014).
2. A. Sen, Phys. Rev. Lett. **69**, 1006 (1992).
3. G.Y. Tulegenova et al., Eur. Phys. J. Plus **138**, 94 (2023).

ON THE KALB-RAMOND MODIFIED LORENTZ VIOLATING HAIRY BLACK HOLES AND THORNE'S HOOP CONJECTURE

K.K. Nandi¹, R.N. Izmailov², R.Kh. Karimov³

¹ kamalnandi1952@rediffmail.com; Zel'dovich International Center for Astrophysics, M. Akmullah Bashkir State Pedagogical University, 3A, October Revolution Street, Ufa 450008, RB, Russia

² izmailov.ramil@gmail.com; Zel'dovich International Center for Astrophysics, M. Akmullah Bashkir State Pedagogical University, 3A, October Revolution Street, Ufa 450008, RB, Russia

³ karimov_ramis_92@mail.ru; Zel'dovich International Center for Astrophysics, M. Akmullah Bashkir State Pedagogical University, 3A, October Revolution Street, Ufa 450008, RB, Russia

Recently, a class of static spherically symmetric power law corrected Lorentz violating (LV) Schwarzschild black holes in the Kalb-Ramond model have been derived and studied [1] in the specific range of LV parameters ($0 < \lambda \leq 2$, $\Upsilon \geq 0$) that correspond to energy condition preserving ($\rho > 0$) source. On the other hand, there exist well known black holes that do not preserve the energy conditions. In this paper, we shall therefore relax energy conditions and numerically explore the horizon patterns of the enlarged class of LSMA black holes. Four generic types of LV corrected black holes emerge, which interestingly include the analogue of the *braneworld* black hole ($\rho < 0$) lending to Υ a new interpretation of "tidal charge" known as an imprint from the $5d$ bulk in the Randall-Sundrum scenario. We shall then show that Thorne's hoop conjecture, $\mathcal{H} \leq 1$, where \mathcal{H} is the Hod function [2], consistently holds for three types and their generalizations. However, intriguingly, it turns out that, for the remaining type (viz., Schwarzschild-de Sitter and its generalizations), the hoop conjecture does *not* hold. It is also shown that braneworld tidal charge black holes increases the LV correction to planetary perihelion advance in contrast to the decrease due to ordinary black holes thereby providing a qualitative distinction between them.

*This work was supported by the Russian Science Foundation under grant no. 23-22-00391,
<https://rscf.ru/en/project/23-22-00391/>.*

References

1. L.A. Lessa, J.E.G. Silva, R.V. Maluf and C.A.S. Almeida, Eur. Phys. J. C **80**, 335 (2020).
2. S. Hod, Eur. Phys. J. C **80**, 982 (2020).

GEODESIC LINES IN THE THEORY OF INDUCED GRAVITATION

Nestor Njiya¹

¹ *nestornjiya@gmail.com*; Institute of Mathematics and Mechanics, Kazan Federal University, Kremlyovskaya 18 Str., Kazan, 420008, Russia

Here we study the influence of dark matter and dark energy on the trajectory followed by a particle in the universe. Our model is based on the theory of induced gravity in which we introduced in the initial Einstein Hilbert action a quadratic field $Y = (X, X) = X^A X^B \eta_{AB}$, which induces gravitational and cosmological constants. $A^A = X(\sigma^\mu) \mu$ takes the integers Numbers 0, 1, 2 ... $n - 1$, n is the dimension of the riemannian manifold. The effective cosmological and gravitational Constance are linked to Y by the following formula: $\Lambda_{eff} = \frac{c^2 \omega}{8Y h \xi}$; $G_{eff} = \frac{1}{2Y \xi} (U_{eff} - B)$. h is the plank Constance, B links the dark energy witch some Constance of theory. $B = \frac{B_0(n-2)}{2-\omega \varepsilon_\nu}$, where ε_ν is the energy of vacuum fluctuation B_0 , ξ , ω are Constance. We will see below that the fluctuation of B is the cause of the oscillation of the cosmological parameter.

PRIMORDIAL BLACK HOLES IN MODIFIED GRAVITY

E.O. Pozdeeva¹

¹ *pozdeeva@www-hep.sinp.msu.ru*; Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University

At present, there is a big interest to creation of primordial black holes (PBH) (see for example [1–4]). Large peaks in amplitude of perturbations during inflation can leads to PBH formation. In [5], the potential leading to the large peaks in the amplitude of perturbation during inflation was suggested within the framework of general relativity¹. We suggest the modified gravity model with a scalar field leading to analogical potential and different kinetic term in the Einstein frame. The differences in evolution equations don't destroy the large peaks in amplitude of perturbations at the late stages of inflation. We suppose that the obtained modified gravity model allows to describe possible PBH creation².

References

1. A. Dolgov and K. Postnov, "Globular Cluster Seeding by Primordial Black Hole Population," JCAP **04** (2017) 036 [arXiv:1702.07621 [astro-ph.CO]].
2. B. Carr and F. Kuhnel, "Primordial Black Holes as Dark Matter: Recent Developments," Ann. Rev. Nucl. Part. Sci. **70** (2020) 355-394 [arXiv:2006.02838 [astro-ph.CO]].
3. O. Özsoy and G. Tasinato, Universe **9** (2023) no.5, 203 doi:10.3390/universe9050203 [arXiv:2301.03600 [astro-ph.CO]].

¹ In some particular choice of parameters the suggested potential can be reduced to potential of hybrid inflation

² This study was conducted within the scientific program of the National Center for Physics and Mathematics, section 5 'Particle Physics and Cosmology'. Stage 2023-2025.

4. A. D. Dolgov, “Tension between HST/JWST and Λ CDM Cosmology, PBH, and Antimatter in the Galaxy,” [arXiv:2310.00671 [astro-ph.CO]].
5. M. Braglia, A. Linde, R. Kallosh and F. Finelli, JCAP **04** (2023) 033 [arXiv:2211.14262 [astro-ph.CO]].

INFLATION WITH MONOMIAL POTENTIALS IN EINSTEIN-GAUSS-BONNET GRAVITY

E.O. Pozdeeva¹, M.A. Skugoreva², A.V. Toporensky³, S.Yu. Vernov⁴

¹ *pozdeeva@www-hep.sinp.msu.ru*; Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory 1, 119991, Moscow, Russia

² *masha-sk@mail.ru*; Kazan Federal University, Kremlevskaya 18, Kazan, 420008, Russia

³ *atopor@rambler.ru*; Kazan Federal University, Kremlevskaya 18, Kazan, 420008, Russia; Sternberg Astronomical Institute, Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991, Russia

⁴ *svernov@theory.sinp.msu.ru*; Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory 1, 119991, Moscow, Russia

We investigate the inflationary models in Einstein-Gauss-Bonnet gravity with the monomial scalar field potential and the nonminimal coupling to the Gauss-Bonnet term. The several numerical scenarios are found, which agree good with the observations. We show that the standard slow-roll approximation used earlier are not suitable for the calculation of the inflation parameters in these models and we obtain the new approximation formulas giving us the results, which closely enough to the numerical and the observational ones.

EINSTEIN’S LIMIT OF SOME MODIFIED THEORIES OF GRAVITY

A.A. Popov¹

¹ *arkady_popov@mail.ru*; Kazan Federal University, 18 Kremlyovskaya street, Kazan, Russian Federation

The report discusses static spherically symmetric solutions of some modified theories of gravity in a 4-dimensional subspace of $4 + n$ dimensional Riemannian space. It is assumed that the additional n -dimensional subspace is compact (with a characteristic scale less than 10^{-18} cm). In the region of small curvatures of the 4-dimensional subspace, such solutions are compared with the Schwarzschild (the Schwarzschild-de Sitter) solution, which makes it possible to determine the existence of the Einstein (and, accordingly, Newtonian) limit of the modified theory of gravity. The speed of propagation of gravitational waves in the framework of such theories of gravity is also discussed.

PBH AS MANIFESTATION OF FLEXIBLE EXTRA DIMENSIONS

A.A. Popov¹, S.G. Rubin², A.S. Sakharov³

¹ *arkady_popov@mail.ru*; N.I. Lobachevsky Institute of Mathematics and Mechanics, Kazan Federal University, Kremlyovskaya ulitsa 18, Kazan 420008, Russia

² *sergeirubin@list.ru*; N.I. Lobachevsky Institute of Mathematics and Mechanics, Kazan Federal University, Kremlyovskaya ulitsa 18, Kazan 420008, Russia; National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Kashirskoe shosse 31, Moscow 115409, Russia

³ ; Physics Department, Manhattan College 4513 Manhattan College Parkway, Riverdale, NY 10471, United States of America; Experimental Physics Department, CERN, CH-1211 Gen'ève 23, Switzerland

We consider cosmological manifestations of compact extra dimensions. In particular, it is possible that the formation of primordial black holes at the ultra-early stages of the Universe evolution is possible. In addition, it is shown that changes of the metric of the extra space inevitably lead to variations of cosmological constants in causally unbound universes.

We assume the existence of extra spatial dimensions and discuss fluctuations of fields during inflation. The fate of field fluctuations in this inner space is fundamentally different from that described above. Earlier, in [1], it was established that stationary distributions of fields form continuum set. After the end of inflation, the asymptotic distribution of the field in the inner space turns out to be different in causally unrelated regions due to random fluctuations during inflation.

A distinction between these two types of fluctuations is as follows. The first, standard kind of fluctuations under horizon is characterized by a decrease of their energy density ρ at the FRW stage and their decay into matter particles. The energy density of the second kind, ρ_Λ , associated with scalar field distribution in the internal space, does not decay into particles. It depends on the Hubble parameter and changes more slowly. It is shown that the model parameters satisfy the inequality $\rho \gg \rho_\Lambda$, so the influence of the field distribution in the inner space on the rate of inflation could be neglected.

After the end of inflation, the energy density ρ decreases, tending to the present-day value $\rho(t_0)$. At the same time, the space fluctuation $\rho_\Lambda(H)$. The latter can form a black hole when its scale cross the horizon.

References

1. P. Petriakova, A. A. Popov and S. G. Rubin, Eur. Phys. J. C **83**, no.5, 371 (2023) doi:10.1140/epjc/s10052-023-11542-7 [arXiv:2303.04785 [gr-qc]].

LINEAR PERTURBATIONS OF OSCILLATING SCALAR FIELDS

V.A. Popov¹

¹ *vladipopov@mail.ru*; Institute of Physics, Kazan Federal University, Kremlevskaya str. 18, Kazan 420008, Russia

Coherently oscillating scalar fields in the spatially flat Friedmann Universe act as the cold dark matter because the effective pressure vanishes. This is true in regard to both real

and complex scalar fields. The main difference between the real and complex scalar fields is that the real scalar field oscillates around its zero value while the complex field has a non-zero average. Dynamics of spatial inhomogeneities in the scalar fields is considered in the linear approximation. At the matter dominated stage of the Universe evolution the long-wave scalar perturbations of the real field follow the result for the cold dark matter whereas the perturbations of the complex field grow more slowly.

MODIFIED GRAVITY APPROACH TO PRODUCTION OF PRIMORDIAL BLACK HOLES AFTER STAROBINSKY INFLATION

S. Saburov¹, S.V. Ketov²

¹ *saburovsultan0@gmail.com*; Tomsk State University (Russia)

² ; Tokyo Metropolitan University (Japan)

A new (improved) model of inflation and primordial black hole (PBH) formation is proposed by combining the Starobinsky model of inflation, Appleby-Battye-Starobinsky (ABS) model of dark energy, and a quantum correction in the modified $F(R)$ gravity. The energy scale parameter in the ABS model is taken to be close to the inflationary scale, in order to describe double inflation instead of dark energy. The quantum correction is given by the term quartic in the space-time scalar curvature R with a negative coefficient (0σ) in the $F(R)$ function. It is demonstrated that very good agreement (within 1σ) with current measurements of the cosmic microwave background (CMB) radiation can be achieved by choosing the proper value of δ , thus solving the problem of low values of the tilt of CMB scalar perturbations in the earlier proposed ABS model. A large (by a factor of 10^7 against CMB) enhancement in the power spectrum of scalar perturbations is achieved by fine tuning the parameters of the model. It is found by numerical analysis that it can lead to formation of asteroid-size PBHs with masses up to $10^{20}g$, which may form dark matter in the current universe.

INTERACTING SPINOR AND ELECTROMAGNETIC FIELDS IN COSMOLOGY

B. Saha¹

¹ *bijan@jinr.ru*; Laboratory of Information Technologies, Joint Institute for Nuclear Research, 141980 Dubna, Moscow region, Russia; Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya Street, Moscow, Russian Federation

Within the scope of a Bianchi type-I (BI) cosmological model we study the interacting system of spinor and electromagnetic fields. In some earlier studies it was found that the nonlinear spinor field in BI space-time automatically becomes massless and linear or leads to the isotropization of space-time in question. Whereas, in case pure electromagnetic field with induced nonlinearity there occurs severe restrictions on the components of vector potential. The motivation for considering the interacting system was to see whether such generalization can remove the restrictions mentioned above. The corresponding system of Maxwell, Dirac and Einstein equations are obtained and solved. It

was found that under such generalization nonlinear and massive spinor field can exist in a general BI space-time and give rise to different type of solutions depending on the choice of nonlinear and interacting terms.

THE EXTENDED EINSTEIN-MAXWELL-AETHER-AXION THEORY: EFFECTIVE METRIC AS AN INSTRUMENT OF THE AETHERIC CONTROL OVER THE AXION DYNAMICS

A.F. Shakirzyanov¹

¹ *shamirf@mail.ru*; Department of General Relativity and Gravitation, Institute of Physics, Kazan Federal University

In the framework of the Einstein-Maxwell-aether-axion theory we consider the self-consistent model based on the concept of a two-level control, which is carried out by the dynamic aether over the behavior of the axionically active electrodynamic system. The Lagrangian of this model contains two guiding functions, which depend on four differential invariants of the aether velocity [1]: the scalar of expansion of the aether flow, the square of the acceleration four-vector, the squares of the shear and vorticity tensors. The guiding function of the first type is an element of the effective aetheric metric; this effective metric is involved in the formulation of kinetic terms for the vector, pseudoscalar and electromagnetic fields and predetermines features of their evolution. The guiding function of the second type is associated with the distribution of axions and describes its vacuum average value [2]; basically, this function appears in the potential of the axion field and predetermines the position and depth of its minima. The self-consistent set of coupled master equations of the model is derived [3]. The example of the static spherically symmetric system is considered as an application.

References

1. Jacobson, T.; Mattingly, D. Gravity with a dynamical preferred frame. *Phys. Rev. D.* **2001**, *64*, 024028.
2. Peccei, R.D.; Quinn, H.R. CP conservation in the presence of instantons. *Phys. Rev. Lett.* **1977**, *38*, 1440–1443.
3. Balakin, A.B.; Shakirzyanov, A.F. The extended Einstein-Maxwell-aether-axion theory: Effective metric as an instrument of the aetheric control over the axion dynamics. *arXiv* **2023**, arXiv:2311.04249.

CONFORMAL SYMMETRY, RENORMALIZATION, AND ANOMALY

I.L. Shapiro¹

¹ *ilyashapiro2003@ufff.br*; Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Minas Gerais, Brazil

Conformal symmetry and, correspondingly, the trace anomaly belong to the most relevant manifestations of quantum field theory in curved spacetime. We report on new

results concerning representations of anomaly-induced effective action of gravity, low-energy limit, and the new renormalizable model in 4D, where the guiding symmetry is local conformal symmetry.

NEW DEVELOPMENTS AND TRENDS IN THE INFLATIONARY SCENARIO

A.A. Starobinsky¹

¹ *alstar@landau.ac.ru*; Landau Institute for Theoretical Physics RAS, Chernogolovka, Moscow region, Russia

The present upper limit on the amount of tensor perturbations (primordial gravitational waves) generated during inflation, the tensor-to-scalar ratio $r < 0.028$ [1], excludes many inflationary models popular in the past, like those with a power-law inflaton potential ('chaotic inflation'). Still a number of inflationary models remain viable including the three simplest and most predictive one-parametric models: the pioneer $R + R^2$ (Starobinsky) one, the Higgs and the mixed R^2 -Higgs models which predictions for the power spectra parameters n_s and r are the same in terms of the number of e-folds N from the end of inflation with $r = 3(1 - n_s)^2 = 0.004$. New developments and trends in the inflationary scenario considered from the phenomenological point of view, apart from exclusion of more and more previously proposed inflationary models basing on better observational data on n_s and r and thoughts about pre-inflationary history of our Universe (purely theoretical at this moment), are mostly related, first, to the development of more complicated inflationary models with transient breaking of the inflaton slow-roll behaviour during inflation in order to produce localized peaks in the primordial scalar power spectrum – to be prepared for possible discovery of PBHs – and/or peaks in the primordial GW power spectrum (that requires at least two new fundamental cosmological parameters), and second, to the investigation of different possible processes after inflation including various channels of the inflaton decay with creation and subsequent thermalization of usual matter. I consider one possibility of relating the purely geometrical $R + R^2$ model to realistic baryogenesis after inflation by adding three families of right-handed Majorana neutrinos with a large mass to the matter sector of the Standard Model [2]. In the course of the inflaton decay after the end of inflation, it is important not to produce too much gravitons that presents a serious problem, e.g., for inflationary models with sufficiently stiff equation of state during it. I show how this requirement leads to the lower limit on an energy scale of non-locality in possible non-local modifications of gravity at sub-Planckian curvatures which have the inflationary stage similar to that in the $R + R^2$ model and produce the correct observational result for n_s [3].

References

1. G. Galloni et al., JCAP 04 (2023) 062; arXiv:2208.00188.
2. H. Jeong, K. Kamada, A. A. Starobinsky and J. Yokoyama, JCAP 11 (2023) 023; arXiv:2305.14273.
3. A. S. Koshelev, A. A. Starobinsky and A. Tokareva, Phys. Lett. B 838, 137686 (2023); arXiv:2211.02070.

COSMOLOGICAL MODELS WITH ARBITRARY SPATIAL CURVATURE IN THE THEORY OF GRAVITY WITH NON-MINIMAL DERIVATIVE COUPLING

S.V. Sushkov¹

¹ *sergey_sushkov@mail.ru*; Institute of Physics, Kazan Federal University, Kremliovskaya St. 16a, Kazan 420008, Russia

We investigate isotropic and homogeneous cosmological scenarios in the scalar-tensor theory of gravity with non-minimal derivative coupling of a scalar field to the curvature given by the term $(\zeta/H_0^2)G^{\mu\nu}\nabla_\mu\phi\nabla_\nu\phi$ in the Lagrangian. In general, a cosmological model is determined by six dimensionless parameters: the coupling parameter ζ , and density parameters Ω_0 (cosmological constant), Ω_2 (spatial curvature term), Ω_3 (non-relativistic matter), Ω_4 (radiation), Ω_6 (scalar field term), and the universe evolution is described by the modified Friedmann equation. In the case $\zeta = 0$ (no non-minimal derivative coupling) and $\Omega_6 = 0$ (no scalar field) one has the standard Λ CDM-model, while if $\Omega_6 \neq 0$ – the Λ CDM-model with an ordinary scalar field. As is well-known, this model has an initial singularity, the same for all k ($k = 0, \pm 1$), while its global behavior depends on k . The universe expands eternally if $k = 0$ (zero spatial curvature) or $k = -1$ (negative spatial curvature), while in case $k = +1$ (positive spatial curvature) the universe expansion is changed to contraction, which is ended by a final singularity. The situation is crucially changed when the scalar field possesses non-minimal derivative coupling to the curvature, i.e. when $\zeta \neq 0$. Now, depending on model parameters, (i) There are three qualitatively different initial state of the universe: an *eternal kinetic inflation*, an *initial singularity*, and a *bounce*. The bounce is possible for *all* types of spatial geometry of the homogeneous universe; (ii) For *all* types of spatial geometry, the universe goes inevitably through the *primary quasi-de Sitter* (inflationary) epoch when $a(t) \propto e^{h_{dS}(H_0 t)}$ with the de Sitter parameter $h_{dS}^2 = 1/9\zeta - 8\zeta\Omega_2^3/27\Omega_6$. The mechanism of primary or *kinetic inflation* is provided by non-minimal derivative coupling and needs no fine-tuned potential; (iii) There are *cyclic* scenarios of the universe evolution with the non-singular bounce at a minimal value of the scale factor, and a turning point at the maximal one; (iv) There is a natural mechanism providing a *change* of cosmological epochs.

$F(R)$ GRAVITY MODELS WITH A SCALAR FIELD

S.Yu. Vernov¹

¹ *svernov@theory.sinp.msu.ru*; Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory 1, Moscow 119991, Russia

The $F(R)$ gravity models [1–3], in which F is an arbitrary function of the Ricci scalar R , are popular generalizations of the general relativity. The conformal transformation of the metric allows to obtain from $F(R)$ gravity models the General Relativity models with a minimally coupled standard scalar field, called models in the Einstein frame. In the case of the $F(R)$ gravity models with scalar fields, one gets chiral cosmological models in the Einstein frame. This transformation is possible if and only if $F_{,R} \equiv \frac{dF(R)}{dR} > 0$. So,

solutions, on which $F_{,R}$ changes its sign, have no analogues in the Einstein frame. At the same time, such smooth solutions exist in the isotropic and homogenous universe.

It has been shown in [4] that $F(R)$ gravity models without scalar fields have anisotropic instabilities associated with the crossing of the hypersurface $F_{,R} = 0$. Therefore, the solutions in the spatially flat Friedmann–Lemaître–Robertson–Walker (FLRW) metric can be smooth, whereas solutions in the Bianchi I metric should have singularities. A similar problem has been discussed for the FLRW and Bianchi I models with a non-minimally coupled scalar field [5] (see also [6, 7]).

We consider a pure R^2 model with a massless scalar field, described by the following action:

$$S_R = \int d^4x \sqrt{-g} \left[F_0 R^2 - \frac{\varepsilon_\psi}{2} \tilde{g}^{\mu\nu} \nabla_\mu \psi \nabla_\nu \psi \right], \quad (1)$$

where F_0 is a positive constant, ψ is a scalar field or a phantom scalar field in dependence of the sign of $\varepsilon_\psi = \pm 1$. The general solution in the case of the FLRW metric has been found in [8]. Also, smooth particular solutions, on which $F_{,R} = F_0 R$ changes its sign, have been found.

In Ref. [9], we study this problem for R^2 gravity model with a scalar field, described by action (1). We have shown that the evolution equations have a singular point at $R = 0$ if the anisotropy is not equal to zero. So, we do not lose smooth solutions if put an additional condition $R > 0$. Using this condition, we get the corresponding Einstein frame model by a conformal metric transformation, find a general solution for this model and get the corresponding solutions for the initial R^2 model by an inverse conformal transformation. By this way, we have found Bianchi I solutions for R^2 with a scalar field [9]. We also analyzed which types of solutions can exist in the case of the phantom scalar field χ only. The general solution in the Einstein frame has been found in terms of elementary functions. This general solution gives explicitly the general solution for the initial R^2 model in a parametric time. Solutions in the cosmic time for this model have been constructed in quadratures.

The talk is based on Ref. [9] and the resent research¹.

References

1. T.P. Sotiriou and V. Faraoni, " $f(R)$ Theories of Gravity," Rev. Mod. Phys. **82**, 451 (2010), arXiv:0805.1726.
2. A. De Felice and S. Tsujikawa, " $f(R)$ theories", Living Rev. Rel. **13**, 3 (2010), arXiv:1002.4928.
3. S. Capozziello and M. De Laurentis, "Extended Theories of Gravity", Phys. Rept. **509**, 167 (2011), arXiv:1108.6266.
4. M. F. Figueiro and A. Saa, "Anisotropic singularities in modified gravity models," Phys. Rev. D **80**, 063504 (2009), arXiv:0906.2588.
5. A. A. Starobinskii, "Can the Effective Gravitational Constant Become Negative", Sov. Astron. Lett. **7**, 36 (1981).
6. A. Yu. Kamenshchik, E. O. Pozdeeva, S. Yu. Vernov, A. Tronconi and G. Venturi, "Bianchi-I cosmological model and crossing singularities," Phys. Rev. D **95**, 083503 (2017), arXiv:1702.02314.

¹ The resent study of $F(R)$ gravity a with scalar field was conducted within the scientific program of the National Center for Physics and Mathematics, section 5 "Particle Physics and Cosmology". Stage 2023-2025.

7. A. Yu. Kamenshchik, E. O. Pozdeeva, A. A. Starobinsky, A. Tronconi, G. Venturi and S. Yu. Vernov, “Induced gravity, and minimally and conformally coupled scalar fields in Bianchi-I cosmological models,” *Phys. Rev. D* **97**, 023536 (2018), arXiv:1710.02681.
8. V. R. Ivanov and S. Yu. Vernov, “Integrable cosmological models with an additional scalar field,” *Eur. Phys. J. C* **81**, 985 (2021), arXiv:2108.10276.
9. V. R. Ivanov and S. Yu. Vernov, “Anisotropic solutions for R^2 gravity model with a scalar field,” arXiv:2301.06836.

BLACK HOLE IMAGE IN NONLINEAR ELECTRODYNAMICS

A.V. Vorohov¹, D.E. Groshev²

¹ alexei.vorohov@yandex.ru; Department of General Relativity and Gravitation, Institute of Physics, Kazan Federal University

² groshevdmitri@mail.ru; Department of General Relativity and Gravitation, Institute of Physics, Kazan Federal University

The fusion of theoretical modeling of compact objects with the development of observational techniques over the years of research led us to the fact that black holes, from just an abstract theoretical idea, turned into databases [1] of specific astronomical objects, that believed to be a BHs. In the long term, the number of such observations and the volume of evidence for them will continue to grow, providing a rich source of information for testing cutting-edge physical theories like nonlinear electrodynamics.

This study examines modifications of the Reissner-Nordström black hole by two classical models of nonlinear electrodynamics - Euler-Heisenberg and Born-Infeld. We have implemented a mixed approach to analyze solutions, employing the Hamilton-Jacobi formalism, similar to the reference [2], and direct integration of the geodesic equation for photons. By numerical simulations we obtained radiation intensity profiles and an image of a black hole in a thin disk accretion model. The calculations were performed in *Python* using the parallelization capabilities provided by the *torch* automatic differentiation library.

The comparison of images and intensity profiles for different model parameters revealed that perturbations of the Reissner-Nordström black hole by nonlinear electrodynamics are only clearly distinguishable for unrealistically large values of the interaction constants.

References

1. Bentz M. C., Katz S. The AGN black hole mass database //Publications of the Astronomical Society of the Pacific. - 2015. - V. 127. -№. 947. - P. 67.
2. Dokuchaev V. I., Nazarova N. O. Silhouettes of invisible black holes //Physics-Uspekhi. - 2020. - V. 63. -№. 6. - P. 583.

ACCRETION PROCESSES IN THE SPACE-TIME OF A CHARGED NONSINGULAR BLACK HOLE

R.M. Yusupova¹

¹ *yu.rose@mail.ru*; Institute of Molecule and Crystal Physics, Ufa Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia; Zel'dovich International Center for Astrophysics, M. Akmullah Bashkir State Pedagogical University, 3A, October Revolution Street, Ufa 450008, RB, Russia

A class of solutions for a spherically symmetric and charged nonsingular black hole was obtained by L. Balart and E.S. Vagenas (BV). This class represents solutions of the Einstein field equation with nonlinear electrodynamics as the source with the Lagrangian $L(F)$ where $F = 1/4 F^{\mu\nu} F_{\mu\nu}$ [1].

The work examines the properties of thin accretion disks near a nonsingular charged BV black hole based on the Novikov-Thorne model [2] and the Michel-Bondi accretion process [3] showing the influence of a nonlinear electromagnetic charge on these processes. The kinematic (angular velocity and angular momentum of particles) and electromagnetic (temperature and luminosity) properties of the disks were analyzed.

The profiles of angular velocity, density and accretion rate through flows of phantom and non-phantom matter with the barotropic equation of state $p = \omega\rho$ are analyzed. It has been shown that in the case of phantom energy accretion, the mass of the black hole decreases.

This work was supported by the Russian Science Foundation under grant no. 23-22-00391, <https://rscf.ru/en/project/23-22-00391/>.

References

1. L. Balart, E.S. Vagenas, Phys. Rev. D 90, 124045 (2014).
2. D.N. Page, K.S. Thorne, Astrophys. J. 191, 499 (1974).
3. F.C. Michel, Astrophys. Space Sci. 15, 153 (1972).

APPLICATION OF THE ABEL EQUATION TO COSMOLOGICAL MODELS WITH AND WITHOUT PHANTOMS

V. Yurov¹

¹ *vayt37@gmail.com*; I. Kant Baltic federal university, 14 A. Nevskogo ul., Kaliningrad, 236041, Russia

One of the most intriguing concepts in contemporary cosmology is a hypothesis that the dark energy, which governs the observed accelerated expansion of the universe [1], [2], might be *phantom* in nature. Originally proposed by R. Caldwell in [3], it soon proved to be a fertile ground for mathematical explorations, yielding rather startling results, such as the predictions of Big Rip singularities and the Big Trip phenomena [4], [5], [6], [7], [8], [9] (see also [10]). An interest in the field has been further boosted by the discovery of a “phantom zone crossing”, which implied that there might exist natural transition from

an ordinary cosmological evolution to the characteristically phantom one. However, one of the serious problems that impedes the research in this area lies in the nonlinearity of the Friedman-Robertson-Walker-Lemaître cosmological equations; while it is not difficult to solve them for the phantom models with a simple equation of state $p/c^2 = w\rho$ (where ρ and p are the density and pressure of a dominant field of matter, and the constant parameter of state $w < -1$) [3], it is altogether a different matter to study the general models of a phantom universe filled with a scalar field $\phi = \phi(t)$ with some known potential $V(\phi)$. One of interesting (albeit somewhat circumspect) approaches to this problem was the development of a *superpotential* method, where one postulates the form of a superpotential $W = W(\phi)$, which is identified with the density function ρ , and then reduces the problem to solving a few simple equations [12]. This overall rather powerful method contains but a little snag: for many physically important models we do not possess the knowledge of the form $W(\phi)$, and it is instead the shape of the potential $V(\phi)$ that is given (e.g., the classical massive field potential $V = m\phi^2/2$). In these situation an additional method is required that would allow to extract the shape of superpotential $W(\phi)$ from the known function $V(\phi)$. Such a method for the flat universe models has been developed in [13], [14], in which it has been demonstrated that the problem can be reduced to solving a single first-order O.D.E. called the *Abel equation of 1st kind*:

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{1}{2}(y^2 - 1)(\kappa - \chi'y), \quad (1)$$

where $\kappa = \pm 1$, $\chi = V'/V$ and the independent variable $x = 4\sqrt{3\pi}/M_{\text{P}}\phi$ [15]. Once the solution of this equation $y(x)$ has been uncovered, the superpotential W is retrieved automatically using the simple relationship:

$$W(x) = V(x) \frac{y^2}{y^2 - 1}, \quad (2)$$

This reduction allows to easily study a number of interesting problems such as the problem of the end of inflation for various physically important models [16]. However, it is possible to show that if the universe is going through the phantom regime, it actually changes the structure of the Abel equation:

$$\frac{dy}{d\xi} = \frac{1}{2}(y^2 + 1)(\kappa - \tilde{\chi}'y), \quad (3)$$

as well as the relationship between the superpotential W and the scalar field potential V :

$$\tilde{W} = \tilde{V} \frac{y^2}{y^2 + 1}, \quad (4)$$

where $\xi = ix$ and the potential $\tilde{V}(\xi)$ must satisfy the condition $\tilde{V}(\xi) = V(i\xi) : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^+$ for at least some ξ in order for a universe to successfully enter the phantom zone. We will explain how to obtain this interesting result as well as demonstrating it working for a number of phantom models.

References

1. S. Perlmutter *et al.*, "Discovery of a supernova explosion at half the age of the Universe", *Nature* **391**, 51–54 (1998).

2. A. G. Riess *et al.*, “Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant”, *Astron. J.* **116**, 1009–1038 (1998).
3. R. R. Caldwell, “A Phantom Menace? Cosmological consequences of a dark energy component with super-negative equation of state”, *Phys. Lett. B* **545**, 23–29 (2002).
4. R. R. Caldwell, M. Kamionkowski and N. N. Weinberg, “Phantom Energy: Dark Energy with $w < -1$ Causes a Cosmic Doomsday”, *Phys. Rev. Lett.* **91**, 071301 (2003).
5. P. F. González-Díaz, “ K -essential Phantom Energy: Doomsday Around the Corner?”, *Phys. Lett. B* **586**, 1 (2004).
6. P. F. González-Díaz, “Axion phantom energy”, *Phys. Rev. D* **69**, 063522 (2004).
7. P. F. González-Díaz and J. A. Jiménez-Madrid, “Phantom inflation and the ”Big Trip””, *Phys. Lett. B* **596**, 16–25 (2004).
8. S. M. Carroll, M. Hoffman and M. Trodden, “Can the dark energy equation-of-state parameter w be less than -1 ?”, *Phys. Rev. D* **68**, 023509 (2003).
9. S. Nojiri and S. D. Odintsov, “Final state and thermodynamics of a dark energy universe”, *Phys. Rev. D* **70**, 103522 (2004).
10. A. V. Astashenok, A. V. Yurov and V. A. Yurov, “The big trip and Wheeler-DeWitt equation”, *Astrophysics and Space Science* **342**, 1–7 (2012).
11. A. V. Yurov, “Phantom scalar fields result in inflation rather than Big Rip”, *arXiv:astro-ph/0305019* (2003); *Eur. Phys. J. Plus* **126**, 132 (2011).
12. A. V. Yurov, V. A. Yurov, S. V. Chervon, M. Sami, “Total energy potential as a superpotential in integrable cosmological models”, *Theoretical and Mathematical Physics* **166**, 299–311 (2011).
13. V. A. Yurov, “An application of Abel’s equation of first kind to the search of solutions of Friedman’s equations”, *Bulletin of Russian State University of I. Kant* **4**, 43–47 (2010).
14. A. V. Yurov, V. A. Yurov, “Friedman vs. Abel: A connection unraveled”, *Journal of Mathematical Physics* **51**, 082503:1–17 (2010).
15. S. Chervon, I. Fomin, A. Yurov and V. Yurov, “Scalar Fields in Cosmology: New Methods and Approaches”, World Scientific Publishing Co., ISBN 978-981-120-507-1 (2019)
16. Artyom V. Yurov, Anna V. Yaparova, Valerian A. Yurov, “Application of Abel Equation of 1st kind to inflation analysis for non-exactly solvable cosmological models”, *Gravitation and Cosmology* **20**, 106–115 (2014)

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ/AUTHOR INDEX

А	Катанаев М.О. 18
Абраров Д.Л. 7	Кауц В.Л. 9
Алексеев С.О. 16	Кашаргин П.Е. 27
Анемподистов П.А. 7	Каютенко А.В. 9
Б	Королев Р.В. 26
Байдерин А.А. 16	Л
Баранов А.М. 8	Лебедев А.А. 27
Башир Ш.О.А. 28	М
Бочко В.А. 13	Манучарян Г.Д. 9
Г	Митичкин Н.А. 33
Гатин Х.А. 8	Мусаев Э.Т. 31
Гладышев В.О. 9	Мухарлямов Р.К. 28
Грунская Л.В. 9, 10	Н
Губарев К.А. 12	Немтинова А.В. 16
Д	Николаев П.П., 9
Давыдов Е.А. 37	Нургалиев И.С. 29
Даишев Р.А. 19	П
Денцель Е.С. 36	Павлов А.Е. 30
Долгова Д. 13	Павлов Б.П. 19
Ж	Панасенко Л.А. 13
Журавлев В.М. 14	Петров Т.А. 31
З	Постнов К.А. 33
Зарипов Ф.Ш. 15	Р
Зенин О.И. 16	Рязанцев Я.В. 34
И	С
Игнатъев Ю.Г. 17	Савельев Е.В. 8
Исакевич В.В. 9, 10	Сушков С.В. 8, 18, 26, 27
Исакевич Д.В. 9, 10	Т
Ишкаева В.А. 18	Тайнов В.А. 35
К	Тимошкин А.В. 36
Козырев С.М. 19	Ф
Колганов Н.М. 21, 24	Фомин И.В. 9, 36, 38

Фурсаев Д.В.	37	К	
Х		Karimov R.Kh.	40, 49, 50
Хасанов Ф.М.	24	Kashargin P.E.	44
Ч		Ketov S.V.	54
Чаадаева Т.И.	38	Kinzibaev R.I.	48
Червон С.В.	38	Kiselev G.B.	42
Чех И.И.	33	М	
Ш		Manucharyan G.D.	46
Шарандин Е.А.	9	Н	
Ю		Nandi K.K.	40, 50
Юров А.В.	39	Nestor Njiya.	51
Юрова А.А.	39	Р	
А		Pirozhenko I.G.	47
Akhtaryanova G.F.	40	Popov A.A.	52, 53
В		Popov V.A.	53
Balakin A.B.	41, 42, 45	Pozdeeva E.O.	51, 52
Bolshakova K.A.	43	Prokopev K.E.	44
Bronnikov K.A.	44	Р	
С		Rubin S.G.	48
Chervon S.V.	43, 45	С	
Д		Saburov S.	54
Dokuchaev V.I.	44	Saha B.	54
Е		Sakharov A.S.	48
Efremova A.	41	Shakirzyanov A.F.	55
Ф		Shapiro I.L.	55
Fedotov V.V.	45	Skugoreva M.A.	52
Fomin I.V.	43, 46	Starobinsky A.A.	56
Fursaev D.V.	47	Sushkov S.V.	44, 47, 57
Г		Т	
Galeev R.G.	47	Toporensky A.V.	52
Gal'tsov D.V.	48	В	
Groshev D.E.	48, 59	Vernov S.Yu.	52, 57
И		Vorohov A.V.	59
R.N. Izmailov.	40, 50		

Y

Yusupova R.M. 60

Yurov V. 60

Z

Zinnatullin R.R. 49

УДК 530.12+521

VI Международная зимняя школа-семинар по гравитации, космологии и астрофизике «Петровские чтения-2023». Тезисы докладов международной научной школы-семинара. — Казань: Изд-во КФУ, 2023. — 66 с.

Сборник содержит тезисы докладов участников VI Международной зимней школы-семинара по гравитации, космологии и астрофизике «Петровские чтения-2023». В материалах представлены работы ведущих специалистов и начинающих исследователей из научных центров России, ближнего и дальнего зарубежья, посвящённые исследованиям в ОТО и модифицированных теориях гравитации, теоретической и наблюдательной космологии, релятивистской астрофизике. Международная зимняя школа-семинар проходила в Казанском университете с 27 ноября по 1 декабря 2023 года.

Сборник адресован научным работникам, аспирантам и молодым ученым, специализирующимся в области теории гравитации, космологии и астрофизики, а также для студентов старших курсов естественнонаучных направлений.

Школа-семинар «Петровские чтения-2023» проводится за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

УДК 530.12+521

© Казанский университет, 2023
© Коллектив авторов, 2023